

**UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI**  
**Școala Doctorală “Inginerie Mecanică și Civilă”**

**Cu titlu de manuscris**  
**C.Z.U.: 628.32:004 (043.2)**

**VÎRLAN VASILI**

**TEHNOLOGII AVANSATE ÎN STAȚIILE DE EPURARE  
BIOLOGICĂ A APELOR UZATE**

**211.03 – REȚELE INGINEREȘTI ÎN CONSTRUCȚII**

Teză de doctor în științe tehnice

Conducător științific:

Ungureanu Dumitru, dr. șt. teh., prof. univ.

Autor:

**CHIȘINĂU, 2021**

## **FOAIA PRIVIND DREPTURILE DE AUTOR**

**© Vîrlan Vasili, 2021**

## CUPRINS

ADNOTARE.....	6
АННОТАЦИЯ.....	7
ABSTRACT.....	8
LISTA TABELELOR.....	9
LISTA FIGURILOR.....	12
LISTA ABREVIERILOR.....	17
INTRODUCERE.....	18
1. SINTEZA BIBLIOGRAFICĂ.....	24
1.1. Caracteristicile calitative ale apelor uzate menajere.....	24
1.1.1. Caracteristici fizice.....	24
1.1.2. Caracteristici chimice.....	25
1.1.3. Caracteristici bacteriologice.....	27
1.1.4. Caracteristici biologice.....	28
1.2. Caracteristicile apelor uzate menajere provenite de la colectivități mici.....	28
1.3. Caracteristica regimurilor de mișcare.....	28
1.4. Scurt istoric din domeniul epurării apelor uzate.....	30
1.5. Epurarea biologică naturală.....	31
1.5.1. Câmpuri de irigare și filtrare.....	32
1.5.2. Filtre de nisip.....	32
1.5.3. Iazuri biologice.....	33
1.5.4. Fitofiltre (zone umede construite).....	34
1.6. Epurarea biologică artificială.....	35
1.6.1. Procedee clasice de epurare biologică a apelor uzate.....	35
1.6.2. Procedeu cu culturi hibride de microfloră (elemente/suporturi pentru fixarea biomasei).....	37
1.6.3. Procedeu de epurare biologică cu ajutorul nămolului granular aerob.....	39
1.6.4. Procedeu de epurare biologică cu membrane.....	40
1.6.5. Procedeu de epurare biologică în bioreactoare secvențiale ciclice.....	40
1.7. Scheme tehnologice pentru eliminarea azotului și fosforului.....	41
1.7.1. Tehnologii biologice de eliminare a azotului.....	42
1.7.2. Tehnologii biologice de eliminare a fosforului.....	44

1.7.3. Tehnologii biologice de eliminare combinată a azotului și fosforului.....	45
1.8. Stații de epurare în care se folosește procedeul hibrid (nămol activ și peliculă biologică).....	49
1.8.1. Stație de epurare tip hibrid Aqua System Plus (România).....	49
1.8.2. Stație de epurare tip hibrid Valrom (România).....	49
1.8.3. Stație de epurare tip hibrid Arges Treatment Machinery (Turcia).....	50
1.9. Concluzii.....	51
<b>2. PROGRAMUL ȘI METODICA INVESTIGAȚIILOR CERCETĂRILOR ȘTIINȚIFICE ALE EPURĂRII APELOR UZATE CU SUPPORT SOLID MOBIL (PROCEDEUL HIBRID).....</b>	
2.1. Avantajele epurării apei uzate menajere prin procedeul hibrid.....	52
2.2. Instalația-pilot de epurare a apelor uzate menajere.....	53
2.2.1. Schema tehnologică a instalației pilot propusă pentru cercetare.....	54
2.2.2. Calculul de dimensionare a instalației-pilot de epurare biologică a apelor uzate.....	55
2.3. Descrierea instalației-pilot de epurare a apelor uzate menajere.....	65
2.4. Algoritmul efectuării experimentelor în instalația-pilot de epurare a apelor uzate menajere.....	70
2.4.1. Regimul de tranzit al apei uzate neepurate brute, în lipsa procesului de epurare (studiul hidrodinamic/hidraulic).....	70
2.4.2. Regimul de funcționare a instalației-pilot cu nămol activ.....	70
2.4.3. Regimul de funcționare în prezența suportului solid mobil.....	71
2.4.4. Regim de funcționare stabilizată de lungă durată a instalației-pilot în sistem cu microfloră hibridă (cu suport solid mobil).....	71
2.5. Metode analitice de analiză a compoziției apei uzate brute.....	72
2.5.1. Determinarea temperaturii.....	72
2.5.2. Determinarea turbidității.....	72
2.5.3. Determinarea materiilor solide în suspensie.....	73
2.5.4. Determinarea consumului chimic de oxigen.....	73
2.5.5. Determinarea consumului biochimic de oxigen.....	74
2.5.6. Determinarea fosforului total prin metoda spectrofotometrică.....	75
2.5.7. Determinarea azotului de amoniu.....	75
2.6. Metode de măsurare a eficienței epurării.....	76
2.7. Studiul componenței apei uzate menajere brute.....	77

2.8. Concluzii.....	79
3. STUDIUL REGIMULUI HIDRODINAMIC ÎN REACTOARELE BIOLOGICE.....	80
3.1. Tipuri de reactoare biologice.....	80
3.2. Reactoare biologice cu mișcare ideală a fluxului de apă uzată menajeră.....	83
3.2.1. Reactorul discontinuu (bioreactor secvențial ciclic - BSC).....	85
3.2.2. Reactorul cu amestecare completă (RAC).....	87
3.2.3. Reactorul tip piston (RTP).....	89
3.3. Bazele mișcării neideale a fluxului de apă uzată menajeră.....	92
3.3.1. Distribuția timpului de retenție (DTR).....	92
3.3.2. Curba E, distribuția vârstei fluidului, distribuția timpului de retenție (DTR).....	93
3.3.3. Metode experimentale (non-chimice) pentru obținerea curbei E.....	94
3.3.4. Relația dintre curbele F și E.....	98
3.4. Modelul de dispersie.....	101
3.4.1. Alegerea modelelor de dispersie.....	101
3.4.2. Modelul de dispersie pentru dimensiuni mici, $D/uL < 0,01$ .....	103
3.4.3. Deviația mare de la tipul piston, $D/uL > 0,01$ .....	105
3.5. Concluzii.....	107
4. REZULTATE ȘI APLICAȚII ALE INVESTIGAȚIILOR ÎN PRACTICĂ.....	108
4.1. Influența suportului solid mobil/încărcăturii flotante asupra eficienței epurării.....	108
4.2. Rezultatele obținute la studiul apei uzate menajere brute.....	110
4.3. Calcule și rezultate obținute în reactorul biologic experimental/pilot.....	115
4.4. Regimul hidrodinamic asupra performanțelor procesului de epurare.....	118
4.4.1. Metoda experimentală pentru stabilirea regimului hidrodinamic.....	118
4.4.2. Calculul modelului de dispersie, $D/uL$ .....	133
4.4.3. Obținerea curbei E, distribuția timpului de retenție.....	138
4.5. Concluzii.....	144
CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI.....	146
BIBLIOGRAFIE.....	147
ANEXE.....	152
DECLARAȚIA PRIVIND ASUMAREA RĂSPUNDERII.....	153
CV.....	154

## ADNOTARE

Vîrlan Vasili, „**Tehnologii avansate în stațiile de epurare biologică a apelor uzate**”, doctor în științe tehnice, Chișinău, 2021. Teza de doctor include: adnotare în limbile română, rusă și engleză, lista tabelor, lista figurilor, lista abrevierilor, introducere, patru capitole, concluzii generale și recomandări, bibliografie din 71 titluri, 6 anexe, 122 pagini de text de bază, inclusiv 101 figuri și 56 tabele, declarația privind asumarea răspunderii, CV-ul autorului. Rezultatele obținute sunt publicate în 11 articole științifice. Pe baza rezultatelor obținute s-a obținut un brevet de invenție.

**Cuvinte cheie:** epurarea apei uzate, reactor biologic, film biologic, regim hidrodinamic, instalație-pilot de epurare, mișcarea apei tip piston, suport solid mobil, epurare hibridă, traser.

**Domeniul de studiu:** 211.03 – Rețele inginerești în construcții.

**Scopul lucrării:** obținerea unui procedeu și a unei instalații moderne de epurare a apelor uzate menajere și industriale cu caracteristicile poluanților apropiate de cele menajere, obținerea unui reactor biologic cu un volum mic și cu mișcare de tip piston a fluidului cu cantități minime a nămolului în exces și consum redus de energie.

**Obiectivele cercetării:** studierea metodelor de epurare biologică, studiul componenței apei uzate brute, studiul privind regimul hidrodinamic în diferite reactoare biologice, elaborarea unui reactor biologic experimental și respectarea algoritmului cercetărilor științifice ale epurării apelor uzate menajere cu ajutorul suportului solid mobil, obținerea rezultatelor pozitive privind regimul hidrodinamic și calitatea apei uzate epurate în reactorul biologic experimental.

**Noutatea și originalitatea științifică:** în premieră în Republica Moldova s-au efectuat studii privind regimul hidrodinamic a apei uzate în reactorul biologic. Obținerea fluxului apei uzate – aer în reactorul biologic apropiat de cel piston.

**Rezultatele obținute care contribuie la soluționarea unei probleme științifice importante:** a fost propus micșorarea timpului de retenție a apei uzate în reactorul biologic de tip hibrid (MBBR). Prin diferite experimente (experimental) s-a demonstrat că dispersia apei uzate – aer este foarte mică și se apropie de tip piston.

**Semnificația teoretică:** pe baza experimentelor au fost obținute noi cunoștințe cu privire la mișcarea apei uzate – aer în reactorul de epurare biologică de tip hibrid (MBBR) și eficiența mai înaltă a reactoarelor tip piston precum și a microflorei hibride.

**Valoarea aplicativă a lucrării:** obținerea unui grad înalt de epurare a apei uzate.

**Implementarea rezultatelor științifice:** prin rezultatele obținute s-a propus implementarea stațiilor de epurare a apelor uzate menajere și industriale tip Vavibloc în baza brevetului obținut. Pentru acest tip de stații de epurare s-a obținut aviz sanitar, aviz ecologic și evaluare tehnică.

## АННОТАЦИЯ

Вырлан Василий, „**Передовые технологии в установках биологической очистки сточных вод**”, доктор технических наук, Кишинёв, 2021. Диссертация состоит из: аннотацией на румынском, русском и английском, список таблиц, список рисунков, список сокращений, введение, четырёх глав, общие выводы и рекомендации, библиография из 71 названий, 6 приложений, 122 страниц основного текста, в том числе 101 рисунок и 56 таблиц, заявление об ответственности, резюме автора. Результаты опубликованы в 11 научных статьях. На основании полученных результатов был разработан патент.

**Ключевые слова:** очистка сточных вод, биологический реактор, биологическая плёнка, гидродинамический режим, экспериментальная очистная установка, движение воды идеального вытеснения, подвижная биозагрузка, гибридная очистка, трассер.

**Область исследования:** 211.03 – Инженерные сети в строительстве.

**Цель диссертацией:** получение современной технологического процесса и установки очистки бытовых и промышленных сточных вод с характеристиками загрязняющих веществ близких к бытовых, получение биореактора с небольшим объемом и идеального вытеснения с минимальным количеством избыточного ила и низким энергопотреблением.

**Задачи исследования:** изучение методов биологической очистки, исследование состава сточных вод, исследование гидродинамического режима в различных биореакторах, разработка экспериментального биореактора и соблюдение алгоритма научных исследований очистки бытовых сточных вод с помощью мобильная биозагрузка, получение положительных результатов по гидродинамическому режиму и качеству очищенных сточных вод в экспериментальном биореакторе.

**Научная новизна и оригинальность:** впервые в Молдове были проведены исследования гидродинамического режима сточных вод в биологическом реакторе и получение потока сточной воды - воздуха идеального вытеснения.

**Решенная научная задача:** было предложено сократить время удерживания сточных вод в гибридном биологическом реакторе (MBBR). Посредством различных экспериментов было показано очень маленькая дисперсия сточных вод – воздуха, которая приближается к идеального вытеснения типу.

**Теоретическая значимость:** в результате экспериментов были получены новые знания о движении сточных вод - воздуха в биореакторе очистки гибридного типа (MBBR).

**Практическая важность работы:** высокая степени очистки сточных вод.

**Внедрение научных результатов:** благодаря полученным результатам было предложено внедрение очистных сооружений бытового и промышленного типа Вавиблок, для которых было получено санитарное, экологическое и техническая заключение.

## ABSTRACT

Vîrlan Vasili, „Advanced technologies in biological wastewater treatment plants”, PhD thesis in technical sciences, Chisinau, 2021. The thesis comprises: abstract in romanian, russian and english, list of tables, list of figures, list of abbreviations, introduction, four chapters, general conclusions and recommendations, bibliography of 71 titles, 6 annexes, 122 pages of basic text, including 101 figures and 56 tables, the statement of liability, author CV. The research results were published in 11 scientific papers. Based on the results obtained, has been developed a patent.

**Keywords:** wastewater treatment, biological reactor, biological film, hydrodynamic regime, experimental treatment plant, plug flow water movement, fluidized packing material, hybrid treatment, tracer.

**Research field:** 211.03 – Engineering networks in construction.

**Aim of the thesis:** obtaining a process and a modern installation for domestic and industrial with characteristics of pollutants close to those of the domestic wastewater treatment, obtaining a biological reactor with a small volume and with plug flow movement of the fluid with minimal excess sludge and low energy consumption.

**Objectives:** study of biological treatment methods, study of the composition of wastewater, study on the hydrodynamic regime in different bioreactors, elaboration of an experimental bioreactor and observance of the algorithm of scientific researches of domestic wastewater treatment with the help of solid support, obtaining positive results regarding the hydrodynamic regime and the quality of the treated wastewater in the experimental bioreactor.

**Scientific novelty and originality:** for the first one in the Republic of Moldova have been developed studies on the hydrodynamic regime of wastewater in the biological reactor. Obtaining the flow of wastewater - air in the biological reactor near the plug flow.

**The solved scientific problem:** it has been proposed to reduce the retention time (RTD) of wastewater in the hybrid biological reactor (MBBR). Through different experiments it has been shown that the dispersion of wastewater - air is very small and approaches the plug flow.

**The theoretical significance:** based on the experiments, new knowledge was obtained regarding the movement of wastewater - air in the hybrid biological treatment reactor (MBBR).

**Applicative value of the work:** obtaining a high degree of wastewater treatment.

**The implementation of scientific results:** through the obtained results it was proposed the implementation of the Vavibloc type wastewater treatment plants for domestic and industrial wastewater. For this type of treatment plants (Vavibloc) was obtained sanitary opinion, ecological opinion and technical evaluation.



## LISTA TABELELOR

Tabelul 1.1. Valori maxime admisibile pentru apele uzate menajere și apele uzate epurate.....	27
Tabelul 1.2. Încărcarea organică (Cantitatea) specifică de poluanți, g/om-zi.....	28
Tabelul 1.3. Coeficienții de neuniformitate zilnică în funcție de gradul de dotare cu instalații de apă rece, caldă și canalizare.....	29
Tabelul 1.4. Coeficienții de variație orară.....	30
Tabelul 2.1. Concentrațiile obținute conform calculelor pentru dimensionarea instalației-pilot..	56
Tabelul 2.2. Rezultatele calculelor pentru dimensionarea instalației-pilot de epurare a apelor uzate.....	61
Tabelul 2.3. Variația componenței apei uzate brute în timpul zilei – luna ianuarie.....	77
Tabelul 2.4. Variația componenței apei uzate brute în timpul zilei – luna februarie.....	77
Tabelul 2.5. Variația componenței apei uzate brute în timpul zilei – luna martie.....	77
Tabelul 2.6. Variația componenței apei uzate brute în timpul zilei – luna aprilie.....	77
Tabelul 2.7. Variația componenței apei uzate brute în timpul zilei – luna mai.....	78
Tabelul 2.8. Variația componenței apei uzate brute în timpul zilei – luna iunie.....	78
Tabelul 2.9. Variația componenței apei uzate brute în timpul zilei – luna iulie.....	78
Tabelul 2.10. Variația componenței apei uzate brute în timpul zilei – luna august.....	78
Tabelul 2.11. Variația componenței apei uzate brute în timpul zilei – luna septembrie.....	78
Tabelul 2.12. Variația componenței apei uzate brute în timpul zilei – luna octombrie.....	79
Tabelul 2.13. Variația componenței apei uzate brute în timpul zilei – luna noiembrie.....	79
Tabelul 2.14. Variația componenței apei uzate brute în timpul zilei – luna decembrie.....	79
Tabelul 3.1. Aplicațiile principale ale tipurilor de reactoare utilizate pentru epurarea apelor uzate.....	83
Tabelul 4.1. Variația componenței apei uzate brute în timpul anului.....	111
Tabelul 4.2. Rezultatele obținute după epurarea apei uzate, fără suport solid mobil.....	116
Tabelul 4.3. Rezultatele obținute după epurarea apei uzate, cu suport solid mobil.....	116
Tabelul 4.4. Rezultatele gradului de epurare obținute după epurarea apei uzate, fără suport solid mobil.....	116
Tabelul 4.5. Rezultatele gradului de epurare obținute după epurarea apei uzate, cu suport solid mobil.....	117
Tabelul 4.6. Rezultatele obținute, condiția cu suport solid mobil, regim de durată, cu debitul de epurare $1,25 \text{ m}^3/\text{h}$ , debitul recirculat $3,75 \text{ m}^3/\text{h}$ .....	117

Tabelul 4.7. Rezultatele gradului de epurare obținut după epurarea apei uzate, cu suport solid mobil, regim de durată, cu debitul de epurare 1,25 m <sup>3</sup> /h, debitul recirculat 3,75 m <sup>3</sup> /h.....	117
Tabelul 4.8. Regimul de tranzit al apei uzate cu debitul de 0,5 m <sup>3</sup> /h. Condițiile: fără suport solid mobil, fără aerare și fără recirculare.....	120
Tabelul 4.9. Regimul de tranzit al apei uzate cu debitul de 1,0 m <sup>3</sup> /h. Condițiile: fără suport solid mobil, fără aerare și fără recirculare.....	120
Tabelul 4.10. Regimul de tranzit al apei uzate cu debitul de 2,0 m <sup>3</sup> /h. Condițiile: fără suport solid mobil, fără aerare și fără recirculare.....	120
Tabelul 4.11. Regimul de tranzit al apei uzate cu debitul de 0,5 m <sup>3</sup> /h. Condițiile: fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, fără recirculare.....	120
Tabelul 4.12. Regimul de tranzit al apei uzate cu debitul de 1,0 m <sup>3</sup> /h. Condițiile: fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, fără recirculare.....	121
Tabelul 4.13. Regimul de tranzit al apei uzate cu debitul de 2,0 m <sup>3</sup> /h. Condițiile: fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, fără recirculare.....	121
Tabelul 4.14. Regimul de tranzit al apei uzate cu debitul de 0,5 m <sup>3</sup> /h, debit recirc. 1,0 m <sup>3</sup> /h. Condițiile: fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare.....	121
Tabelul 4.15. Regimul de tranzit al apei uzate cu debitul de 0,5 m <sup>3</sup> /h, debit recirc. 1,5 m <sup>3</sup> /h. Condițiile: fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare.....	121
Tabelul 4.16. Regimul de tranzit al apei uzate cu debitul de 1,0 m <sup>3</sup> /h, debit recirc. 2,0 m <sup>3</sup> /h. Condițiile: fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare.....	121
Tabelul 4.17. Regimul de tranzit al apei uzate cu debitul de 1,0 m <sup>3</sup> /h, debit recirc. 3,0 m <sup>3</sup> /h. Condițiile: fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare.....	121
Tabelul 4.18. Regimul de tranzit al apei uzate cu debitul de 2,0 m <sup>3</sup> /h, debit recirc. 4,0 m <sup>3</sup> /h. Condițiile: fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare.....	122
Tabelul 4.19. Regimul de tranzit al apei uzate cu debitul de 2,0 m <sup>3</sup> /h, debit recirc. 6,0 m <sup>3</sup> /h. Condițiile: fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare.....	122
Tabelul 4.20. Regimul de tranzit al apei uzate cu debitul de 0,5 m <sup>3</sup> /h. Condițiile: cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, fără recirculare.....	127
Tabelul 4.21. Regimul de tranzit al apei uzate cu debitul de 1,0 m <sup>3</sup> /h. Condițiile: cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, fără recirculare.....	127
Tabelul 4.22. Regimul de tranzit al apei uzate cu debitul de 2,0 m <sup>3</sup> /h. Condițiile: cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, fără recirculare.....	127
Tabelul 4.23. Regimul de tranzit al apei uzate cu debitul de 0,5 m <sup>3</sup> /h, debit recirc. 1,0 m <sup>3</sup> /h.	

Condițiile: cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare.....	128
Tabelul 4.24. Regimul de tranzit al apei uzate cu debitul de 0,5 m <sup>3</sup> /h, debit recirc. 1,5 m <sup>3</sup> /h.	
Condițiile: cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare.....	128
Tabelul 4.25. Regimul de tranzit al apei uzate cu debitul de 1,0 m <sup>3</sup> /h, debit recirc. 2,0 m <sup>3</sup> /h.	
Condițiile: cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare.....	128
Tabelul 4.26. Regimul de tranzit al apei uzate cu debitul de 1,0 m <sup>3</sup> /h, debit recirc. 3,0 m <sup>3</sup> /h.	
Condițiile: cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare.....	128
Tabelul 4.27. Regimul de tranzit al apei uzate cu debitul de 2,0 m <sup>3</sup> /h, debit recirc. 4,0 m <sup>3</sup> /h.	
Condițiile: cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare.....	128
Tabelul 4.28. Regimul de tranzit al apei uzate cu debitul de 2,0 m <sup>3</sup> /h, debit recirc. 6,0 m <sup>3</sup> /h.	
Condițiile: cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare.....	129
Tabelul 4.29. Rezultatele modelului de dispersie obținute pentru condiția numărul 1.	
Fără suport solid mobil - debite 0,5; 1,0; 2,0 m <sup>3</sup> /h.....	134
Tabelul 4.30. Rezultatele modelului de dispersie obținute pentru condiția numărul 2.	
Cu suport solid mobil - debite 0,5; 1,0; 2,0 m <sup>3</sup> /h.....	135
Tabelul 4.31. Rezultatele obținute pentru condiția numărul 1.	
Fără suport solid mobil, fără aerare și fără recirculare - debitul 1,0 m <sup>3</sup> /h.....	139
Tabelul 4.32. Rezultatele obținute pentru condiția numărul 1.	
Fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, fără recirculare - debitul 1,0 m <sup>3</sup> /h.....	139
Tabelul 4.33. Rezultatele obținute pentru condiția numărul 1. Fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare - debitul 1,0 m <sup>3</sup> /h, debitul recirculat 2,0 m <sup>3</sup> /h.....	139
Tabelul 4.34. Rezultatele obținute pentru condiția numărul 1. Fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare - debitul 1,0 m <sup>3</sup> /h, debitul recirculat 3,0 m <sup>3</sup> /h.....	140
Tabelul 4.35. Rezultatele obținute pentru condiția numărul 2. Cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, fără recirculare - debitul 1,0 m <sup>3</sup> /h.....	142
Tabelul 4.36. Rezultatele obținute pentru condiția numărul 2. Cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare - debitul 1,0 m <sup>3</sup> /h, debitul recirculat 2,0 m <sup>3</sup> /h.....	142
Tabelul 4.37. Rezultatele obținute pentru condiția numărul 2. Cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare - debitul 1,0 m <sup>3</sup> /h, debitul recirculat 3,0 m <sup>3</sup> /h.....	143

## LISTA FIGURILOR

Figura 1.1. Stația de epurare din or. Timișoara, România, anul 1912.....	31
Figura 1.2. Schema tehnologică de epurare a apelor uzate cu ajutorul câmpurilor de irigare și filtrare.....	32
Figura 1.3. Schema sistemelor de epurare prin filtre cu nisip: secțiune transversală și vedere în plan.....	33
Figura 1.4. Procesul biologic de epurare a apelor uzate cu ajutorul iazurilor biologice.....	34
Figura 1.5. Fitofiltru cu flux vertical.....	35
Figura 1.6. Tipurile principale de bazine de aerare cu nămol activ: bazin tip piston (neomogen) (a) și tip amestec complet (omogen) (b).....	36
Figura 1.7. Schema tehnologică de epurare a apelor uzate folosită la instalațiile hibride (MBBR).....	38
Figura 1.8. Tipuri de suport solid mobil utilizat la instalațiile biologice de tip hibrid (MBBR)...	38
Figura 1.9. Diferența dintre nămolul activ clasic sub formă de flocoane și nămolul granular aerob (sub formă de granule). a. nămol activ sub formă de flocoane (clasic); b. nămol granular aerob.....	39
Figura 1.10. Principiul de funcționare a bioreactorului cu membrană.....	40
Figura 1.11. Schema tehnologică de funcționare a bioreactorului secvențial cu funcționare ciclică (BSC) (Sequencing Batch Reactor - SBR).....	41
Figura 1.12. Schema de epurare Ludzack-Ettinger.....	42
Figura 1.13. Schema de epurare Ludzack-Ettinger modificată.....	43
Figura 1.14. Schema de epurare cu mișcare fracționată.....	43
Figura 1.15. Schema de epurare cu treapta unică cu nămol.....	44
Figura 1.16. Schema de epurare Bardenpho în 4 trepte.....	44
Figura 1.17. Schema A/O de eliminare pe cale biologică a fosforului.....	45
Figura 1.18. Schema Phostrip de eliminare pe cale biologică a fosforului.....	45
Figura 1.19. Schema A <sup>2</sup> /O de eliminare a azotului și fosforului.....	46
Figura 1.20. Schema Bardenpho de eliminare a azotului și fosforului.....	47
Figura 1.21. Schema UCT de eliminare a azotului și fosforului.....	48
Figura 1.22. Schema VIP de eliminare a azotului și fosforului.....	49
Figura 1.23. Stație de epurare tip Aqua System Plus.....	49
Figura 1.24. Schema tehnologică utilizată la stațiile de epurare Valrom.....	50

Figura 1.25. Stație de epurare Arges.....	51
Figura 2.1. Schema tehnologică propusă pentru cercetare în cadrul instalației-pilot.....	55
Figura 2.2. Instalația-pilot de epurare a apelor uzate propusă pentru cercetare.....	61
Figura 2.3. Instalația-pilot de epurare a apelor uzate asupra căreia au loc experimentele. De la dreapta la stânga: bioreactor anoxic, bioreactor aerob, bioreactor aerob, decantor lamelar.....	67
Figura 2.4. Instalația-pilot de epurare a apelor uzate asupra căreia au avut loc experimentele. Bioreactoarele aerobe în funcțiune fără suport solid mobil.....	67
Figura 2.5. Instalația-pilot de epurare a apelor uzate asupra căreia au avut loc experimentele. Bioreactoarele aerobe în funcțiune cu suport solid mobil.....	68
Figura 2.6. Sistemul de aerare din inox.....	68
Figura 2.7. Suflanta de aer.....	69
Figura 2.8. Probe de apă la intrarea și la ieșirea în/din instalația-pilot de epurare a apelor uzate.	69
Figura 3.1. Tipurile de reactoare biologice folosite pentru epurarea apelor uzate. (a) reactor discontinuu, (b) reactor cu amestec complet, (c, d) reactoare tip piston, (e) reactoare cu amestec complet în serie, (f, g) reactoare cu umplură biologică fixă (filtre biologice), (h) reactor cu umplură biologică în mișcare.....	82
Figura 3.2. Trei tipuri de reactoare ideale. (a) reactor discontinuu sau BSC, (b) reactor tip piston – RTP, (c) reactor cu amestecare completă – RAC.....	84
Figura 3.3. Prezentarea reactorului cu amestecare completă.....	89
Figura 3.4. Notarea reactorului tip piston.....	90
Figura 3.5. Modele de fluxuri neideale care pot exista în echipamentul de proces.....	93
Figura 3.6. Curba de distribuție a vârstei de ieșire $E$ pentru fluidul care curge printr-un reactor, denumită și distribuția timpului de retenție sau DTR.....	94
Figura 3.7. Diferite modalități de studiere a fluxului în reactor. De la stânga la dreapta, introducere a traserului cu: impuls-răspuns, continuu, periodic, aleatoriu.....	95
Figura 3.8. Informațiile utile care pot fi obținute din experimentul de urmărire a impulsurilor..	96
Figura 3.9. Transformarea unei curbe experimentale $C_{impuls}$ într-o curbă $E$ .....	96
Figura 3.10. Transformarea unei curbei $E$ în curba $E_0$ .....	97
Figura 3.11. Informații obținute dintr-un experiment de urmărire tip introducere a traserului continuu.....	97
Figura 3.12. Transformarea unei curbe experimentale $C$ într-o curbă $F$ .....	98
Figura 3.13. Relația dintre curbele $E$ și $F$ .....	99
Figura 3.14. Proprietățile curbelor $E$ și $F$ pentru diferite fluxuri de mișcare a fluidului.	

Curbele sunt desenate în termeni de unități de timp obișnuite și fără dimensiuni.....	100
Figura 3.15. Răspândirea traserului conform modelului de dispersie.....	102
Figura 3.16. Deosebirea curbei la variație mare și variație mică.....	103
Figura 3.17. Relația dintre $D/uL$ și curba $E$ adimensionată, curbă pentru extinderi foarte mici de dispersie.....	104
Figura 3.18. Curbele de răspuns ale traserului pentru reactoare închise și abateri mari de la fluxul de mișcare tip piston.....	106
Figura 3.19. Curbele de răspuns ale traserului pentru reactoare deschise și abateri mari de la fluxul de mișcare tip piston.....	107
Figura 4.1. Procesele fizice, chimice și biologice din pelicula biologică.....	109
Figura 4.2. Variația componentei apei uzate brute în timpul zilei (luna ianuarie).....	111
Figura 4.3. Variația componentei apei uzate brute în timpul zilei (luna februarie).....	111
Figura 4.4. Variația componentei apei uzate brute în timpul zilei (luna martie).....	112
Figura 4.5. Variația componentei apei uzate brute în timpul zilei (luna aprilie).....	112
Figura 4.6. Variația componentei apei uzate brute în timpul zilei (luna mai).....	112
Figura 4.7. Variația componentei apei uzate brute în timpul zilei (luna iunie).....	113
Figura 4.8. Variația componentei apei uzate brute în timpul zilei (luna iulie).....	113
Figura 4.9. Variația componentei apei uzate brute în timpul zilei (luna august).....	113
Figura 4.10. Variația componentei apei uzate brute în timpul zilei (luna septembrie).....	114
Figura 4.11. Variația componentei apei uzate brute în timpul zilei (luna octombrie).....	114
Figura 4.12. Variația componentei apei uzate brute în timpul zilei (luna noiembrie).....	114
Figura 4.13. Variația componentei apei uzate brute în timpul zilei (luna decembrie).....	115
Figura 4.14. Variația componentei apei uzate brute în timpul anului.....	115
Figura 4.15. Schema de mișcare a fluidului în reactorul biologic – pilot/experimental.....	119
Figura 4.16. Curba $C_{impuls}$ pentru debitul pompat de $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile – fără suport solid mobil, fără aerare și fără recirculare.....	122
Figura 4.17. Curba $C_{impuls}$ pentru debitul pompat de $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile – fără suport solid mobil, fără aerare și fără recirculare.....	122
Figura 4.18. Curba $C_{impuls}$ pentru debitul pompat de $2,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile – fără suport solid mobil, fără aerare și fără recirculare.....	123
Figura 4.19. Curba $C_{impuls}$ pentru debitul pompat de $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile – fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, fără recirculare.....	123
Figura 4.20. Curba $C_{impuls}$ pentru debitul pompat de $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile – fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, fără recirculare.....	123

Figura 4.21. Curba $C_{impuls}$ pentru debitul pompat de $2,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile – fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, fără recirculare.....	124
Figura 4.22. Curba $C_{impuls}$ pentru debitul pompat de $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ , debitul recirculat $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile – fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare.....	124
Figura 4.23. Curba $C_{impuls}$ pentru debitul pompat de $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ , debitul recirculat $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile – fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare.....	124
Figura 4.24. Curba $C_{impuls}$ pentru debitul pompat de $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , debitul recirculat $2,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile – fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare.....	125
Figura 4.25. Curba $C_{impuls}$ pentru debitul pompat de $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , debitul recirculat $3,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile – fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare.....	125
Figura 4.26. Curba $C_{impuls}$ pentru debitul pompat de $2,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , debitul recirculat $4,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile – fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare.....	125
Figura 4.27. Curba $C_{impuls}$ pentru debitul pompat de $2,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , debitul recirculat $6,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile – fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare.....	126
Figura 4.28. Grafic centralizator pentru curba $C_{impuls}$ fără SSM pentru următoarele condiții: 1, 2, 3 - fără aerare și fără recirculare debitele $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ , $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , $2,0 \text{ m}^3/\text{h}$ ; 4, 5, 6 - cu aerare, cu mixare, fără recirculare debitele $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ , $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , $2,0 \text{ m}^3/\text{h}$ ; 7 - 12 - cu aerare, cu mixare, cu recirculare debitele $0,5/1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , $0,5/1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ , $1,0/2,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , $1,0/3,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , $2,0/4,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , $2,0/6,0 \text{ m}^3/\text{h}$ .....	126
Figura 4.29. Curba $C_{impuls}$ pentru debitul pompat de $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile – cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, fără recirculare.....	129
Figura 4.30. Curba $C_{impuls}$ pentru debitul pompat de $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile – cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, fără recirculare.....	129
Figura 4.31. Curba $C_{impuls}$ pentru debitul pompat de $2,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile – cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, fără recirculare.....	130
Figura 4.32. Curba $C_{impuls}$ pentru debitul pompat de $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ , debitul recirculat $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile – cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare.....	130
Figura 4.33. Curba $C_{impuls}$ pentru debitul pompat de $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ , debitul recirculat $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile – cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare.....	130
Figura 4.34. Curba $C_{impuls}$ pentru debitul pompat de $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , debitul recirculat $2,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile – cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare.....	131
Figura 4.35. Curba $C_{impuls}$ pentru debitul pompat de $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , debitul recirculat $3,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile – cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare.....	131
Figura 4.36. Curba $C_{impuls}$ pentru debitul pompat de $2,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , debitul recirculat $4,0 \text{ m}^3/\text{h}$ ,	

cu condițiile – cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare.....	131
Figura 4.37. Curba $C_{impuls}$ pentru debitul pompat de $2,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , debitul recirculat $6,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile – cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare.....	132
Figura 4.38. Grafic centralizator pentru curba $C_{impuls}$ cu SSM pentru următoarele condiții: 1, 2, 3 - cu aerare, cu mixare, fără recirculare, debitele $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ , $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , $2,0 \text{ m}^3/\text{h}$ ; 4 - 9 - cu aerare, cu mixare, cu recirculare, debitele $0,5/1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , $0,5/1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ , $1,0/2,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , $1,0/3,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , $2,0/4,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , $2,0/6,0 \text{ m}^3/\text{h}$ .....	132
Figura 4.39. Variația timpului de retenție fără SSM pentru următoarele condiții: 1 - fără aerare și fără recirculare; 2 - cu aerare, cu mixare, fără recirculare; 3, 4 - cu aerare, cu mixare, cu recirculare.....	135
Figura 4.40. Gradul de dispersie $D/uL$ fără SSM pentru următoarele condiții: 1 - fără aerare și fără recirculare; 2 - cu aerare, cu mixare, fără recirculare; 3, 4 - cu aerare, cu mixare, cu recirculare.....	135
Figura 4.41. Variația timpului de retenție cu SSM pentru următoarele condiții: 1 - cu aerare, cu mixare, fără recirculare; 2, 3 - cu aerare, cu mixare, cu recirculare.....	136
Figura 4.42. Gradul de dispersie $D/uL$ cu SSM pentru următoarele condiții: 1 - cu aerare, cu mixare, fără recirculare; 2, 3 - cu aerare, cu mixare, cu recirculare.....	137
Figura 4.43. Curba $E_\theta$ pentru debitul pompat de $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile - fără suport solid mobil, fără aerare și fără recirculare.....	140
Figura 4.44. Curba $E_\theta$ pentru debitul pompat de $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile - fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, fără recirculare.....	141
Figura 4.45. Curba $E_\theta$ pentru debitul pompat de $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile - fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare, debitul recirculat $2,0 \text{ m}^3/\text{h}$ .....	141
Figura 4.46. Curba $E_\theta$ pentru debitul pompat de $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile - fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare, debitul recirculat $3,0 \text{ m}^3/\text{h}$ .....	142
Figura 4.47. Curba $E_\theta$ pentru debitul pompat de $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile - cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, fără recirculare.....	143
Figura 4.48. Curba $E_\theta$ pentru debitul pompat de $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile – cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare, debitul recirculat $2,0 \text{ m}^3/\text{h}$ .....	144
Figura 4.49. Curba $E_\theta$ pentru debitul pompat de $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile - cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare, debitul recirculat $3,0 \text{ m}^3/\text{h}$ .....	144



## LISTA ABREVIERILOR

- RM – Republica Moldova;
- UE – Uniunea Europeană;
- URSS – Uniunea Republicilor Sovietice Socialiste;
- CSI – Comunitatea Statelor Independente;
- CBO<sub>5</sub> – Consumul biochimic de oxigen în 5 zile;
- CCO-Cr – Consumul chimic de oxigen;
- MS – Materii în suspensie;
- COT – Carbon organic total;
- GE – Gradul de epurare;
- LE – Locuitori echivalenți, (Locuitori convenționali - LC);
- NCM – Normativ în construcții moldovenesc;
- TGL – Technischen Normen, Gütevorschriften und Lieferbedingungen (normativ de proiectare german);
- СНП – Строительные нормы и правила (normativ de proiectare sovietic);
- SM – Standard moldovenesc;
- SR – Standard românesc;
- EN – Standard european;
- ISO – Standard internațional;
- MBBR – Mobile Bed Biofilm Reactor (tehnologie de epurare a apei uzate tip hibrid);
- SBR – Sequencing Batch Reactor (BSC – bioreactor secvențial cu funcționare ciclică);
- BANA – Bazin de aerare cu nămol activ;
- RAC – Reactor cu amestec complet;
- RTP – Reactor tip piston;
- HG – Hotărâre de Guvern;
- °C – Grade Celsius;
- SSM – Suport solid mobil;
- DTR – Distribuția timpului de retenție;
- D/uL – Modelul (gradul) de dispersie.

## INTRODUCERE

Strategia Republicii Moldova de aderare la Uniunea Europeană implică necesitatea rezolvării problemelor de protejare a mediului prin modernizarea tehnologiilor existente, prin realizarea și punerea în funcțiune a unor instalații noi, performante și prin oferirea unor servicii adaptate exigențelor normelor de mediu.

Prin realizarea de mini stații de epurare, sub formă compactă, cu funcționare autonomă, se urmărește reducerea impactului asupra mediului a activităților umane sau industriale în zone rurale și izolate unde nu există posibilitatea colectării apelor uzate și epurarea acestora în stații de epurare comunale. Prin utilizarea unor tehnologii moderne de epurare se poate obține reducerea semnificativă a cantității de nămol rezultate în urma epurării, utilizarea eficientă a spațiilor libere existente, creșterea fiabilității și simplificarea operațiilor de întreținere.

În Europa, s-au făcut eforturi considerabile pentru epurarea apelor uzate și pentru reducerea apelor uzate deversate. Progresul realizat până acum s-a datorat investițiilor de capital și unor forme avansate de epurare. Tendințele de viitor arată că poluarea apelor urmare deversării apelor uzate va fi în continuare redusă, în special în țările din UE, cu sprijin din partea fondurilor speciale. Evoluția din ultimii 20 de ani a politicilor privind epurarea apelor uzate arată că investițiile în instalațiile de epurare, combinate cu stimulente economice reale pentru reducerea poluării la sursă, oferă cea mai eficientă metodă de a reduce acest tip de poluare.

Studiul tehnologiilor aplicate în cadrul stațiilor de epurare de capacitate mică este impus de obiectivele asumate de țara noastră față de Uniunea Europeană. Conform ultimilor estimări în Republica Moldova se observă o creștere pentru „Extinderea și modernizarea sistemelor de alimentare cu apă și canalizare” și are ca obiective: asigurarea serviciilor de apă și canalizare la tarife accesibile, asigurarea calității corespunzătoare a apei potabile în toate localitățile, îmbunătățirea calității cursurilor de apă, îmbunătățirea gradului de gospodărire a nămolurilor provenite de la stațiile de epurare a apelor uzate.

Epurarea apelor uzate reprezintă diferite procese, procedee și tehnologii folosite în stațiile de epurare compacte de capacitate mică și pune accentul pe reținerea compușilor de azot și fosfor din apele uzate în vederea obținerii unor performanțe deosebite în privința calității efluenților.

Folosirea stațiilor de epurare compacte este impusă de necesitatea epurării apelor uzate produse în folosințe cu un număr mic de LE (LC) cum sunt: școli, tabere, hoteluri, stații de alimentare, zone de agrement, case particulare, parcuri industriale, localități până la 10.000 locuitori și care nu sunt încorporate unor aglomerări care dispun de stații de epurare comunale.

Stațiile mici de epurare se bazează pe epurarea mecano-biologică. Epurarea biologică în stațiile compacte se realizează fie cu masă biologică în suspensie (nămol activ) fie cu masă biologică fixată (peliculă biologică). În treapta de epurare biologică se urmărește îndepărtarea substanțelor organice (CBO-ului), a azotului prin procese de nitrî-denitrificare și a fosforului prin procese biologice.

Avantajele folosirii stațiilor de epurare compacte sunt:

- ocupă o suprafață mică de teren, de la 10 m<sup>2</sup> până la 600 m<sup>2</sup>;
- timp de utilizare (ciclu de viață) îndelungat, datorită materialului de construcție (inox, PVC, PP, etc);
- instalațiile sunt preuzinate și asamblate containerizat și necesită perioade reduse de implementare și execuție;
- consum redus de energie, între (0,45 – 1,45) kW/m<sup>3</sup> apă uzată epurată;
- complex automatizat;
- necesită personal redus de exploatare;
- integrare peisagistică a stației.

Dezavantajele folosirii stațiilor de epurare compacte sunt:

- costuri de investiții pentru 1 m<sup>3</sup> apă uzată mai mare decât la stațiile de capacitate mare;
- pentru stațiile de epurare de o capacitate mai mică nu este avantajos, din punct de vedere economic, să se prevadă deshidratarea nămolului. În lipsa deshidratării nămolului (primar, secundar), acesta este îndepărtat din stație prin vidanjare.

În Republica Moldova există o clasificare a stațiilor de epurare conform capacităților acestora, care este în funcție de soluțiile instalațiilor-tip, unificate propuse de instituțiile de specialitate în domeniul proiectării și cercetărilor științifice din fosta URSS și moștenite în tot spațiul CSI.

Astfel, stațiile de epurare se grupează conform capacității lor în modul următor:

- individuale, cu intervalul de debite 0,1 – 12 m<sup>3</sup>/zi;
- locale (sau de întreprinderi mici), cu intervale de debite 12 – 100 m<sup>3</sup>/zi;
- mici, cu intervale de debite de 100 – 4.200 m<sup>3</sup>/zi;
- medii, cu intervale de debite de 4.200 – 50.000 m<sup>3</sup>/zi;
- urbane, cu intervale de debite de 50.000 – 100.000 m<sup>3</sup>/zi;
- regionale, cu intervale de debite de 100.000 – 280.000 m<sup>3</sup>/zi;
- mari, cu intervale de debite de peste 280.000 m<sup>3</sup>/zi.

Stațiile trebuie astfel proiectate și executate în rezultatul funcționării căruiora să se evite prezența următorilor factori:

- zgomotul;
- mirosuri;
- spumă;
- materii grosiere.

La proiectarea acestor stații de epurare trebuie să se țină seama de accesibilitatea lor în orice moment pentru supraveghere, întreținere și menținere în stare de funcționare.

Acestea nu se fabrică în țară și sunt importate de la firme producătoare din Ucraina, Cehia, Germania, Italia, Ungaria, Lituania, etc.

S-a constatat că în stațiile de epurare care funcționează pe baza tehnologiilor de epurare convenționale cu nămol activ, în treptele de epurare biologică, rezultă cantități mari de nămol în exces care trebuie vidanțat des sau care necesită linii tehnologice de îngroșare, condiționare, deshidratare și mineralizare. Acestea măresc costurile echipamentelor, a apei epurate, măresc volumele stațiilor, micșorează fiabilitatea și mentenabilitatea și presupun personal specializat, dublând sau triplând costurile stațiilor mici de epurare a apelor uzate.

Din aceste considerente, apare ca necesară realizarea în țară de tehnici de epurare performante, prin folosirea tehnologiilor de vârf în procesul de epurare biologică a apei uzate, care să ducă la reducerea suprafețelor active ocupate, la reducerea dimensiunilor stațiilor de epurare și a cantității nămolului format, precum și la micșorarea consumurilor energetice.

Stațiile de epurare compacte sunt echipamente pentru epurarea apelor uzate menajere provenite de la comunități de 5 – 1.000 LE (LC) (locuitori echivalenți/convenționali). Sistemele își găsesc aplicabilitatea oriunde nu există rețea de canalizare sau costurile de racordare la canalizare sunt prea ridicate. Apele epurate de sistem pot fi deversate în orice emisar (pârâu, râu, lac, etc.) deoarece se încadrează în normele europene și în normele naționale (HG nr. 1141 din 10.10.2008). Ele reprezintă cea mai modernă și eficientă soluție de protecție a apelor freatice și de suprafață. Prin epurarea imediată și nu doar stocarea lor într-un bazin prin care se pot infiltra în sol (este cazul foselor septice), se înlătură pericolul contaminării pânzei freatice cât și a mediului ambiant în general.

Prin eliminarea necesității de a vidanța săptămânal sau lunar (este cazul foselor septice, în funcție de încărcare), mini stațiile de epurare aduc beneficiarilor economii importante. Ele sunt construcții compacte din materiale rezistente, cu deosebite proprietăți fizico-chimice.

Se elimină pericolul contaminării pânzei freatice prin infiltrarea dejecțiilor prin pereții sau radierul foselor septice. Rezervorul se instalează direct în sol, fără a mai necesita construcții suplimentare. Suprafața ocupată este minimă și este în funcție de spațiul disponibil. Costurile de exploatare sunt minime și se compun din costul energiei electrice consumate și cel al vidanșării anuale. Consumurile de electricitate variază între 0,3 kWh pentru stația de 5 LE (LC) și 8 kWh pentru cea de 500 LE (LC) comparativ cu fosele septice la care operația de vidanșare trebuie efectuată săptămânal, mini stațiile de epurare, prin procesul biologic de epurare utilizat, necesită doar vidanșare anuală.

Motivul constă în faptul că tehnologia de epurare este mecano-biologică și nu necesită adaos de substanțe chimice, microorganismele care se dezvoltă în stație hrănindu-se cu materiile organice prezente în apa uzată. Apa care iese din stație este perfect clară și inodoră, fără depuneri sau suspensii. Nu degajă mirosuri neplăcute. Funcționarea stației nu necesită supraveghere ci doar o inspecție periodică de rutină. Poate fi instalată fără restricții în curți, în vecinătatea clădirilor sau chiar în subsolul acestora.

Folosirea de tehnologii avansate și echipamente performante în instalațiile de epurare a apelor uzate duce la protecția bazinelor hidrografice, un domeniu tot mai important în asigurarea cantitativă și calitativă a hranei populației, o prioritate în plan național, european și internațional.

**Scopul tezei urmărește** obținerea unui procedeu și a unei instalații moderne de epurare a apelor uzate menajere și industriale cu caracteristicile poluanților apropiate de cele menajere, obținerea unui reactor biologic cu un volum mic și cu mișcare de tip piston a fluidului cu cantități minime a nămolului în exces și consum redus de energie.

**Obiectivele principale** sunt:

- studierea metodelor de epurare biologică;
- studiul componenței apei uzate brute;
- studiul privind regimul hidrodinamic în diferite reactoare biologice;
- elaborarea/construcția unui reactor biologic experimental (instalație-pilot) și respectarea algoritmului cercetărilor științifice ale epurării apelor uzate menajere cu ajutorul suportului solid mobil (procedeu hibrid);
- obținerea rezultatelor pozitive privind regimul hidrodinamic și calitatea apei uzate epurate în reactorul biologic experimental.

**Noutatea și originalitatea științifică:** în premieră în Republica Moldova s-au efectuat studii privind regimul hidrodinamic a apei uzate în reactorul biologic. Obținerea fluxului apei uzate – aer în reactorul biologic apropiat de cel piston.

**Rezultatele obținute care contribuie la soluționarea unei probleme științifice importante:** a fost propus micșorarea timpului de retenție a apei uzate în reactorul biologic de tip hibrid (MBBR). Prin diferite experimente (experimental) s-a demonstrat că dispersia apei uzate – aer este foarte mică și se apropie de tip piston.

**Semnificația teoretică:** pe baza experimentelor au fost obținute noi cunoștințe cu privire la mișcarea apei uzate – aer în reactorul de epurare biologică de tip hibrid (MBBR) și eficiența mai înaltă a reactoarelor tip piston precum și a microflorei hibride.

**Valoarea aplicativă a lucrării:** obținerea unui grad înalt de epurare a apei uzate.

**Implementarea rezultatelor științifice:** prin rezultatele obținute s-a propus implementarea stațiilor de epurare a apelor uzate menajere și industriale tip Vavibloc în baza brevetului obținut. Pentru acest tip de stații de epurare s-a obținut aviz sanitar, aviz ecologic și evaluare tehnică.

**Ipoteza de cercetare.** Pentru efectuarea diferitor experimente a fost confecționată și montată o instalație-pilot de epurare biologică a apelor uzate menajere.

Tehnologia/procesul/procedeu de epurare în această instalație-pilot este de tip piston cu biomasa hibridă, adică atât cu biomasa suspendată (nămol activ) cât și cu biomasa fixată care crește pe piesele/elementele permanente în mișcare (suportul solid mobil) – MBBR.

Instalația-pilot este confecționată din tablă metalică cu dimensiunile 4,5 x 1,0 x 3,0 m (L x b x h),  $H_{ap\bar{a}}=2,8$  m, împărțită în 4 compartimente: bioreactor anoxic – bioreactor aerob – bioreactor aerob – decantor lamelar.

Instalația-pilot în afară de componentele de bază: pompă submersibilă de alimentare a instalației-pilot de epurare biologică, sistem de aerare, suflantă de aer, mixer submersibil, mai conține și o mulțime de alte componente secundare necesare pentru efectuarea experimentelor.

**Programul, metodologia de cercetare și justificarea metodelor de cercetare alese.** Pentru efectuarea tuturor experimentelor în cadrul instalației-pilot de epurare a apei uzate a fost propus un program special. Descrierea programului este prezentată mai jos:

- regimul de tranzit al apei uzate neepurate brute, în lipsa procesului de epurare (studiul hidrodinamic/hidraulic):
  - determinarea/studiul distribuției timpului de retenție (DTR) în domeniul de variație a debitului pompat (0,5; 1,0; 2,0) m<sup>3</sup>/h;
  - studiul componenței apei uzate brute (variația în timpul zilei/lunii);
- regimul de funcționare a instalației-pilot cu nămol activ;
- regimul de funcționare în prezența suportului solid mobil;

- regim de funcționare stabilizată de lungă durată a instalației-pilot în sistem cu microfloră hibridă (cu suport solid mobil).

**Prezenta teză conține 4 capitole de bază, și anume:**

Sinteza bibliografică. În acest capitol sunt descrise caracteristicile calitative ale apelor uzate menajere și industriale, caracteristicile apelor uzate provenite de la colectivități mici, caracteristica regimurilor de mișcare a apelor uzate. Este prezentat un scurt istoric privind epurarea apelor uzate. Totodată au fost studiate metodele și procedeele actuale de epurare a apelor uzate.

Programul și metodica investigațiilor cercetărilor științifice ale epurării apelor uzate cu suport solid mobil (procedeul hibrid). Acest capitol prezintă scopul și obiectivele prezentei teze. Tot aici este descrisă detaliat instalația-pilot cu ajutorul căreia au fost efectuate experimentele necesare. De asemenea capitolul dat descrie detaliat programul efectuării experimentelor în instalația-pilot de epurare a apelor uzate. Totodată au fost descrise metodele analitice de analiză a compoziției apei uzate brute și metodele de măsurare a eficienței epurării apei.

Studiul regimului hidrodinamic în reactoarele biologice. Acest capitol prezintă tipurile de reactoare biologice utilizate pentru epurarea apelor uzate. Sunt prezentate reactoarele biologice cu mișcare ideală a fluxului de apă cât și bazele mișcării neideale ale fluxului de apă uzată. O atenție deosebită este prezentată asupra modelului de dispersie și distribuția timpului de retenție.

Rezultate și aplicații ale investigațiilor în practică. Acest capitol prezintă rezultatele obținute în urma experimentelor pe baza instalației-pilot. Aici este descrisă influența suportului solid mobil asupra eficienței epurării apei. Sub formă grafică sunt prezentate rezultatele studiului apei uzate brute. Sunt prezentate rezultatele obținute în urma epurării biologice a apei uzate pentru diferite debite cu diferite condiții. Totodată sunt prezentate calcule și rezultate asupra regimului hidrodinamic în reactorul biologic.

# 1. SINTEZA BIBLIOGRAFICĂ

## 1.1. Caracteristicile calitative ale apelor uzate menajere

Caracteristicile calitative ale influentului (apele uzate brute care sunt admise în stația de epurare) se stabilesc astfel:

- pe baza studiilor hidrochimice efectuate înainte de proiectarea stațiilor noi;
- prin analiza bazei de date (rezultatele rapoartelor de monitorizare), pentru stațiile de epurare existente, care necesită extindere sau retehnologizare;
- prin asimilarea valorilor, indicatorilor de calitate înregistrați la alte stații de epurare care deserveșc localitățile cu sistem de canalizare, dotări edilitare, activități sociale și industriale similare și un număr apropiat de locuitori;
- prin calculul principalilor indicatori de calitate pe baza încărcărilor specifice de poluant, conform normativelor de proiectare (mg/om-zi).

Substanțele poluante care se găsesc în apele uzate determină caracteristicile calitative ale acestora. Principalii indicatori de calitate sunt clasificați în 4 categorii:

- fizice;
- chimice;
- bacteriologice;
- biologice.

### 1.1.1. Caracteristici fizice

Caracteristicile fizice ale apelor uzate sunt:

- turbiditatea;
- culoarea;
- mirosul;
- temperatura.

**Turbiditatea** apelor uzate indică în mod grosier conținutul de materii în suspensie. Turbiditatea se exprimă în grade germane sau mg/l a concentrației de diferite materii din apa uzată aflate în diferite stări. Turbiditatea nu este o analiză curentă a apelor uzate.



**Culoarea** apelor uzate proaspete este gri deschis, apele uzate în care substanțele organice au intrat în fermentație au culoarea gri închis. Apele uzate care au culori diferite de cele de mai sus, indică pătrunderea unor cantități importante de ape uzate industriale, care pot da culori diferite apei, în funcție de natura și proveniența impurificatorilor.

**Mirosul** apelor uzate proaspete este un miros specific aproape insesizabil. Mirosul de ouă clocite (datorită  $H_2S$ ) sau alte mirosuri indică că materia organică din apa uzată a intrat în descompunere anaerobă sau existența unor substanțe chimice din ape uzate industriale.

**Temperatura** este caracteristica fizică cea mai importantă care influențează cele mai multe reacții chimice și biologice care se produc în apele uzate. Temperatura apelor uzate este de obicei mai ridicată decât a apelor de alimentare cu 2 – 3 °C. La temperaturi mai mari, viteza de descompunere (eliminare) a substanțelor organice este mai mare, pe de altă parte, odată cu creșterea temperaturii conținutul de oxigen scade și respectiv procesele de descompunere își încetinesc ritmul (viteza) [25, pag. 12].

### ***1.1.2. Caracteristici chimice***

Caracteristicile chimice sunt diferite de la o localitate la alta, acestea trebuie să fie determinate pentru fiecare locație prin analize de detaliu. Principalele caracteristici chimice ale apelor uzate sunt:

- materiile solide totale;
- oxigenul dizolvat;
- consumul biochimic de oxigen ( $CBO_5$ );
- consumul chimic de oxigen ( $CCO-Cr$ );
- carbonul organic total (COT);
- detergenți, uleiuri, grăsimi, ș.a.

**Materiile solide totale** precum și cele două componente ale acestora: materiile solide în suspensie și materiile solide dizolvate, sunt caracteristici importante, care servesc la stabilirea eficienței procesului de epurare în diferite etape. Materiile solide în suspensie pot fi:

- separabile prin decantare (sedimentabile și plutitoare) ( $>100 \mu$ );
- materii coloidale (1 – 100  $\mu$ ).

Materiile solide în suspensie separabile prin decantare constituie nămolul din decantoarele primare. Materiile organice coloidale sunt eliminate în instalațiile de epurare biologică.

**Oxigenul dizolvat.** Apele uzate conțin oxigen dizolvat în cantități reduse. Când sunt proaspete sau după epurarea biologică pot conține 1 – 2 mg/l.

**Consumul biochimic de oxigen** ( $CBO_5$ ) al apei uzate este cantitatea de oxigen consumată pentru descompunerea biochimică în condiții aerobe a materiilor organice biodegradabile la temperatura și timpul standard. Timpul standard se consideră 5 zile, iar temperatura 20 °C.

**Consumul chimic de oxigen** (CCO-Cr) sau oxidabilitatea apei, reprezintă cantitatea de oxigen, în mg/l, necesară pentru oxidarea chimică a tuturor substanțelor organice oxidabile.

CCO-Cr reflectă consumul de oxigen al unei ape uzate, pentru oxidarea aproape în totalitate a substanțelor organice solubile în apă, cu excepția unei serii de compuși ai azotului și a unor hidrocarburi puțin solubile în apă.

**Carbonul organic total** (COT) pune în evidență cantitatea de materii organice din apele uzate prin conversia lor în dioxid de carbon. Metoda este simplă și rapidă (durează câteva minute) și constă în oxidarea substanțelor organice la  $CO_2$ , într-un aparat special prevăzut cu un tub de combustie, urmată de determinarea cantitativă a gazului format.

Pentru apele uzate urbane, valorile principalilor indicatori, în mg/l, variază astfel:

- $CBO_5$  – (100 – 400)  $mgO_2/l$ ;
- CCO-Cr – (250 – 1000)  $mgO_2/l$ ;
- COT – (80 – 290)  $mgO_2/l$ .

Conform normativelor în construcție este precizat că din totalul substanțelor organice determinate prin CCO, numai o anumită fracțiune este reprezentată de substanțele organice biodegradabile ( $CBO_5$ ), fapt pentru care raportul concentrațiilor  $CBO_5/CCO-Cr$  reprezintă o primă și importantă informație a aplicării epurării biologice.

Astfel:

- dacă raportul  $CBO_5/CCO-Cr < 0,2 \Rightarrow$  apa uzată este netratabilă sau cu tratabilitate biologică (biodegradabilitate) slabă;
- dacă raportul  $CBO_5/CCO-Cr = 0,2 - 0,4 \Rightarrow$  apa uzată este cu tratabilitate (biodegradabilitate) medie;
- dacă  $CBO_5/CCO-Cr > 0,4 \Rightarrow$  apa uzată este ușor tratabilă biologic.

Niciun proces biologic nu este capabil să reducă, în totalitate, impuritățile organice, o parte din acestea sunt rezistente la atacul microorganismelor, iar în procesul de biodegradare este posibil să se formeze o serie de metaboliți persistenți [25, pag. 13].

Indicatorii de calitate ai apelor uzate evacuate în rețelele de canalizare publice sunt stabiliți în normativul de proiectare NCM G.03.02.2015 [51, pag. 36], iar cei ai apelor uzate epurate care se evacuează în resursele de apă sunt stabiliți în legi și hotărâri de guvern, HG 90 din 19.02.2020 [49, anexa 2], indicatori reprezentați în tabelul 1.1.

**Tabelul 1.1. Valori maxime admisibile pentru apele uzate menajere și apele uzate epurate**

Nr.	Indicatorii de calitate	U.M.	Valori maxime admisibile la intrarea în SE [49]	Valori maxime admisibile la ieșirea din SE [49]
1	Temperatura	°C	8 - 30	30
2	pH		6,5÷8,5	6,5÷8,5
3	Materii în suspensie	mg/l	350	35
4	Consumul biochimic la 5 zile (CBO <sub>5</sub> )	mgO <sub>2</sub> /l	225	25
5	Consum chimic de oxigen (CCO)	mgO <sub>2</sub> /l	500	125
6	Azot de amoniu (N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	mg/l	30	2,0
7	Fosfor total (P)	mg/l	5,0	2,0
8	Cianuri totale (CN)	mg/l	1,0	0,4
9	Sulfuri și hidrogen sulfurat S <sup>2-</sup>	mg/l	1,0	0,5
10	Sulfizi (SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )	mg/l	2,0	1,0
11	Sulfați (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/l	400	400
12	Fenoli antrenabili cu vapori de apă	mg/l	3,0	0,3
13	Agenti de suprafață anionici	mg/l	2,5	0,5
14	Plumb (Pb <sup>2+</sup> )	mg/l	0,2	0,12
15	Cadmiu (Cd <sup>2+</sup> )	mg/l	0,2	0,1
16	Crom total (Cr <sup>3+</sup> + Cr <sup>6+</sup> )	mg/l	1,5	1,0
17	Crom hexavalent (Cr <sup>6+</sup> )	mg/l	0,2	0,1
18	Cupru (Cu <sup>2+</sup> )	mg/l	0,2	0,1
19	Nichel (Ni <sup>2+</sup> )	mg/l	0,8	0,5
20	Zinc (Zn <sup>2+</sup> )	mg/l	1,0	0,5
21	Clor rezidual liber (Cl <sub>2</sub> )	mg/l	0,5	0,2

### 1.1.3. Caracteristici bacteriologice

Stabilirea caracteristicilor bacteriologice ale apelor uzate are scopul de a determina genul, numărul și condițiile de dezvoltare a bacteriilor în efluentul stației de epurare și în emisar.

În apele uzate se deosebesc următoarele categorii de bacterii:

- „banale” care nu sunt dăunătoare organismelor vii;
- „coliforme”, care în număr redus sunt inofensive, dar în număr mare indică murdărirea (poluarea) apei cu reziduuri umane sau animale;
- bacterii patogene, care sunt dăunătoare organismului uman și care produc boli hidrice (febra tifoidă, holera, dizenterie) [25, pag. 15].

### 1.1.4. Caracteristici biologice

În apele uzate se întâlnesc diferite organisme, de regulă microscopice. Dintre acestea amintim virusuri, bacterii, ciuperci, protozoare, rotifere, larve de insecte, viermi, etc.

Absența organismelor din apă poate indica prezența unor substanțe toxice. Varietatea organismelor în apele uzate influente în stația de epurare este mult mai redusă decât în treapta de epurare biologică unde se creează condiții prielnice de dezvoltare pentru unele dintre acestea (bacterii saprofite, protozoare și rotifere) [25, pag. 16].

### 1.2. Caracteristicile apelor uzate menajere provenite de la colectivități mici

Apele uzate de la folosințele temporare (zone turistice, tabere, stații de alimentare, sanatorii, etc.), prezintă în general caracteristici diferențiate, în funcție de tipul folosinței și de gradul de confort. Se constată că această încărcare organică are valori cuprinse între 10 g CBO<sub>5</sub>/om-zi (campinguri pentru corturi) și 100 g CBO<sub>5</sub>/om-zi (tabere, spitale, sanatorii).

Poluanții specifici pentru obiectele turistice alpine (montane) prezintă variații mari, concentrația de CBO<sub>5</sub> g/om-zi, fiind de la 5 – 150 g CBO<sub>5</sub>/om-zi, în funcție de perioada de ședere și gradul de confort al locațiilor [25, pag. 16]. Caracteristicile apelor uzate provenite de la reședințe individuale din localități mici sunt prezentate în tabelul 1.2.

**Tabelul 1.2. Încărcarea organică (Cantitatea) specifică de poluanți, g/om-zi [51, pag. 35]**

Nr.	Parametrii	Încărcarea specifică, (g/om-zi) Cantitatea
1	Consumul biochimic de oxigen (CBO <sub>5</sub> )	60
2	Materii în suspensii (MS)	65
3	Consumul chimic de oxigen (CCO-Cr)	120
4	Azot de amoniu (N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	6
5	Fosfați (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	3,3

### 1.3. Caracteristica regimurilor de mișcare

La proiectarea rețelelor de canalizare și respectiv, a instalațiilor de epurare a apelor uzate trebuie să fie luată în considerație neuniformitatea evacuării apelor uzate. În practică aceasta se realizează cu ajutorul coeficienților de neuniformitate zilnice ( $K_{zi}$ ) conform [56, pag. 2] și orare ( $K_{or}$ ) conform [51, pag. 10]. În unele cazuri pentru determinarea debitului de calcul a apelor uzate se folosește coeficientul total de neuniformitate ( $K_{tot}=K_{zi} \cdot K_{or}$ ), mărimea căreia se

stabilește în funcție de debitul mediu de ape uzate [51, pag. 10]. Conform recomandărilor, coeficientul total de neuniformitate,  $K_{tot}$ , se determină cu formula:

$$K_2 = K_{tot} = 1,35 + \frac{0,31}{Q_{med}^2} \quad (1.1)$$

unde:

$Q_{med}$  – debitul mediu orar de ape uzate,  $m^3/h$ ;

Datele obținute prin formula 1.1 sunt mai mici decât cele recomandate de normativul de proiectare moldovenesc [51]. La timpul său N. Fiodorov a propus pentru determinarea coeficientului total de neuniformitate următoarea formulă [15, pag. 33]:

$$K_2 = K_{tot} = \frac{2,69}{q_{med}^{0,121}} \quad (1.2)$$

unde:

$q_{med}$  – debitul mediu,  $l/s$ ;

La debitul zilnic mediu mai mic de  $50 m^3/zi$  valoarea coeficientului,  $K_{tot}$ , obținută cu ajutorul formulei lui N. Fiodorov este mai mare decât cea recomandată de NCM G.03.02.2015, iar la debitele mai mari de  $50 m^3/zi$ , respectiv sunt mai mici.

În normele de proiectare a sistemelor de canalizare din România, coeficienții de neuniformitate se determină conform tabelelor 1.3 și 1.4 [63].

**Tabelul 1.3. Coeficienții de neuniformitate zilnică în funcție de gradul de dotare cu instalații de apă rece, caldă și canalizare [63, tabelul 1]**

Nr.	Zone sau localități diferențiate în funcție de gradul de dotare cu instalații de apă rece, caldă și canalizare	$q_s(i)$ l/om-zi	$K_{zi}(i)$
1	Zone în care apa se distribuie prin cișmele amplasate pe străzi fără canalizare	50	1,50/2,00
2	Zone în care apa se distribuie prin cișmele amplasate în curți fără canalizare	50 - 60	1,40/1,80
3	Zone cu gospodării având instalații interioare de apă rece, caldă și canalizare, cu preparare individuală a apei calde	100 - 120	1,30/1,40
4	Zone cu gospodării având instalații interioare de apă rece, caldă și canalizare, cu preparare centralizată a apei calde	150 - 180	1,20/1,35

**Tabelul 1.4. Coeficienții de variație orară [63, tabelul 3]**

Nr.	Numărul total de locuitori ai localității	$K_{or}(i)$
1	$\leq 10.000$	2,00 – 3,00
2	15.000	1,30 – 2,00
3	25.000	1,30 – 1,50
4	50.000	1,25 – 1,40
5	100.000	1,20 – 1,30
6	$\geq 200.000$	1,15 – 1,25

În Germania conform [58] debitul maxim orar la stațiile de epurare este egal cu 1/10 de la debitul zilnic sau  $K_{or}^{max}=2,40$ .

În Franța în practica calculelor hidraulice a stațiilor de epurare coeficientul de neuniformitate se determină conform formulei:

$$K_{tot} = 1,50 + \frac{2,50}{\sqrt{Q_{med}}} \quad (1.3)$$

unde:

$Q_{med}$  – debitul mediu momentan l/s, însă coeficientul determinat prin formula aceasta nu trebuie să fie mai mare de 3.

Experiența arată că apele uzate provenite din localități mici sunt admise la stația de epurare între orele 14,0 – 18,0, ce are o importanță deosebită pentru instalațiile în care timpul de retenție este mic. Analiza graficelor de evacuare a apelor uzate arată că debitul minim de ape uzate este admis la stație între orele 0 – 4,0, iar debitul maxim, dimineața de la 7,0 – 9,0 și seara până la 22,00.

Coeficientul total de neuniformitate a evacuării apelor uzate din localitățile rurale cu gradul de amenajare înalt este mai mare decât în localitățile cu gradul de amenajare redus. Pentru calcule se recomandă ca  $K_{tot}^{max}$  să fie adoptat la valoare cu probabilitatea de 97%, iar pentru  $K_{tot}^{min}$  – de 15 %. Pentru localitățile rurale cu debitul mediu zilnic de la 10 până la 100 m<sup>3</sup>/zi cu alimentarea centralizată a apei calde  $K_{tot}^{max}=(2,50 - 3,0)$ , iar  $K_{tot}^{min}=(0,40 - 0,50)$  [33, pag. 17].

#### 1.4. Scurt istoric din domeniul epurării apelor uzate

Preocupările oamenilor pentru asigurarea cantităților de apă atât de necesare comunităților organizate datează din timpuri preistorice. Cele mai vechi mențiuni despre

epurarea apei sunt în învățătura medicală sanscrită (anul 2000 î.e.n. ) și pe inscripțiile zidurilor egiptene (secolele XV și XIII î.e.n ). În aceste înscriseri se menționează modurile de epurare ale apelor uzate prin fierberea acestora în cazane de aramă și răcirea în vase de pământ, expunerea la lumina solară sau filtrarea ei prin mangal – cărbune din lemn. Cele mai vechi aparate cunoscute pentru epurarea apelor uzate, reprezentând utilizarea sifonului în operații de limpezire, apar pictate pe zidurile egiptene (secolele XV – XIII î.e.n) [67].

Începutul secolului al XX-lea aduce modificări importante în concepția stațiilor de tratare, echipate cu filtre rapide cu nisip, a rețelelor de distribuție a apei potabile, a canalizărilor centralizate și a construirii primelor stații de epurare a apelor uzate.

Primele stații de epurare a apelor uzate au apărut în Anglia în secolul XIX [67]. Abia atunci s-a trecut la realizarea stațiilor de epurare. Tot în Anglia s-au pus bazele monitoringului pentru stațiile de epurare.

În Germania prima stație de epurare a fost construită în orașul Frankfurt în anul 1887 [7, pag. 52].

În România prima stație de epurare a fost construită în orașul Timișoara de către inginerul Stan Vidrișin în anul 1912 [14, pag. 42].

În Rusia prima stație de epurare a fost construită în orașul Moscova în anul 1929 [68].

În Republica Moldova primele stații de epurare s-au construit prin anii 1968 [68].



**Fig. 1.1. Stația de epurare din or. Timișoara, România, anul 1912 [22, pag. 43]**

### **1.5. Epurarea biologică naturală**

Construcțiile necesare epurării biologice naturale sunt:

- câmpurile de irigare și filtrare;
- filtrele de nisip;

- iazurile biologice;
- fitofiltrele (zonele umede construite).

Epurarea biologică naturală se recomandă atunci când apa descărcată în emisar trebuie să fie cât mai curată, eficiența epurării fiind de 95 – 98 %. Suprafețele mari necesare realizării construcțiilor le face de multe ori neeconomice.

### 1.5.1. Câmpuri de irigare și filtrare

Câmpurile de irigare și filtrare au drept scop atât epurarea apelor uzate cât și valorificarea acestora datorită substanțelor fertile conținute. Câmpurile de filtrare sunt folosite doar la epurarea apelor uzate. Câmpurile de irigare sunt asociate cu câmpurile de filtrare, ultimele fiind folosite în perioadele de ploi abundente sau în perioadele de îngheț, etc.

Se recomandă în zonele cu precipitații slabe (sub 600 mm/an), pentru localități care nu depășesc 10.000 locuitori, când substanțele fertilizante din apele uzate sunt în cantități mari iar folosirea lor este avantajoasă [13, pag. 78].



**Fig. 1.2. Schema tehnologică de epurare a apelor uzate cu ajutorul câmpurilor de irigare și filtrare [13, pag. 78]**

### 1.5.2. Filtre de nisip

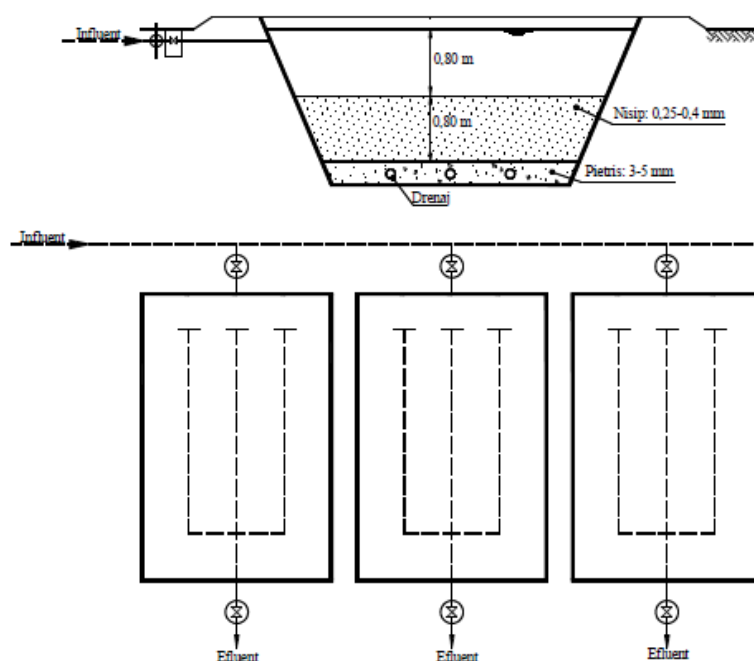
Filtrele de nisip sunt construcții de epurare realizate numai pe solurile nisipoase. Apa uzată traversează filtrul de sus în jos la intervale egale de timp lăsând astfel terenul să se aereze



natural. Parcelele filtrante au o suprafață de 0,4 – 0,5 ha. Stratul vegetal se decopertează până se ajunge la nisip și este folosit la construcția digurilor dintre parcele. Alimentarea cu apă uzată a parcelelor se face prin conducte îngropate în digurile dintre parcele și mai departe prin jgheaburi.

Evacuarea apelor din sol se face cu drenuri, amplasate la aproximativ 1 m adâncime și la 10 m distanță între ele (figura 1.3).

După câțiva ani de funcționare stratul de nisip trebuie înlocuit, după 10 – 15 ani filtrul se abandonează deoarece se colmatează complet și nu mai poate fi repus în funcțiune [13, pag. 80].



**Fig. 1.3. Schema sistemelor de epurare prin filtre cu nisip: secțiune transversală și vedere în plan**

### ***1.5.3. Iazuri biologice***

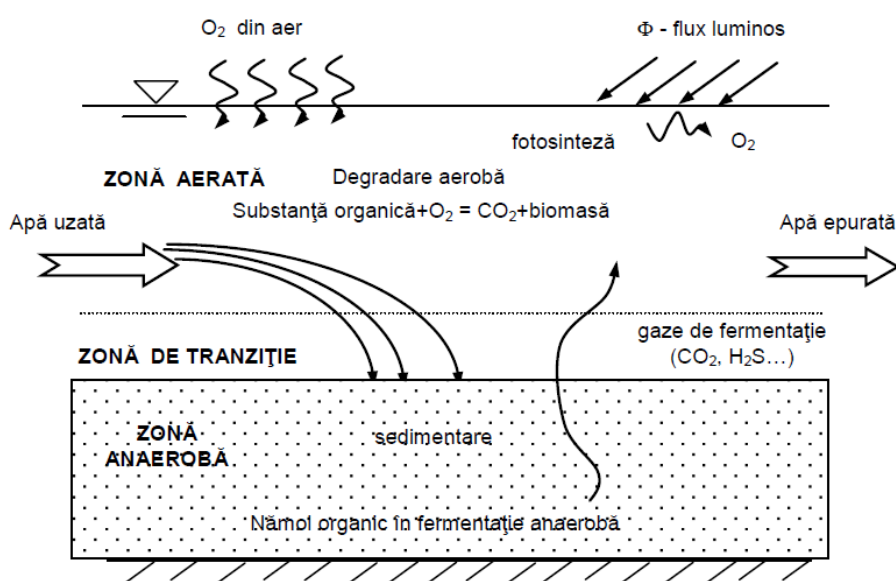
Iazurile biologice sunt bazine deschise în pământ (pot fi depresiuni naturale sau gropi de cărămidă) unde se realizează epurarea apelor uzate menajere sau epurate într-o oarecare măsură, folosind în acest scop numai factorii naturali.

După procesul biologic care predomină în iaz, se pot distinge:

- iazuri anaerobe cu fermentare metanică predominantă;
- iazuri facultativ anaerobe-aerobe, în care au loc procese de oxidare anaerobă, oxidare aerobă și fotosinteză în diferite proporții. Oxigenul necesar proceselor aerobe este furnizat de alge, prin fotosinteză;

- iazuri aerobe de mare eficiență și de mare încărcare, în care oxidarea și fotosinteza sunt în echilibru.

Variante ale iazurilor aerobe (iazuri cu recirculare, iazuri aerobe în mod artificial) implică sisteme constructive suplimentare. Pentru compartimentarea iazurilor se construiesc diguri de separare, taluzurile fiind înierbate sau cu pereuri din beton. Radierul iazului în anumite condiții hidrogeologice se impermeabilizează [13, pag. 73].

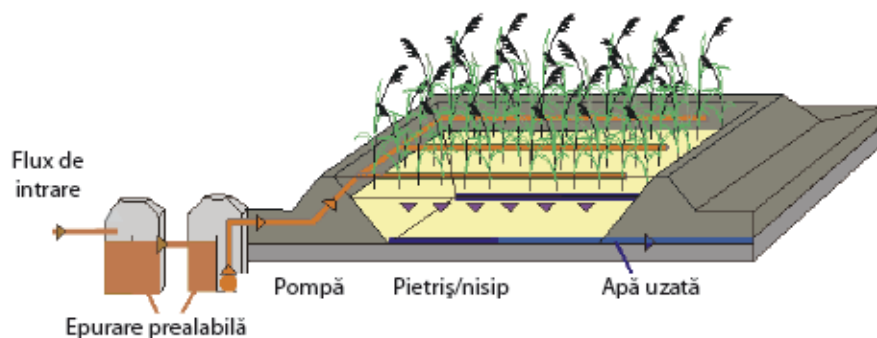


**Fig. 1.4. Procesul biologic de epurare a apelor uzate cu ajutorul iazurilor biologice [13, pag. 74]**

#### **1.5.4. Fitofiltre (zone umede construite)**

Începând cu anii 70 ai secolului trecut tehnologia fitofiltrelor s-a dezvoltat considerabil, astfel încât în ultimii 30 de ani utilizarea lor pentru epurarea apelor uzate se folosește tot mai larg în zonele rurale din: Franța, Grecia, Italia.

Fitofiltrele (zonele umede construite) pot fi definite drept construcții ingineresti umplute cu apă, în care au loc procesele naturale de filtrare biologică de eliminare a poluanților și sunt folosite pentru optimizarea eficientă a procesului de epurare. Aceste filtre sunt sisteme naturale unde apele uzate sunt introduse pentru epurarea biologică și fizică într-un filtru de nisip cu pietriș în care se crește vegetație. Patul filtrant poate fi umplut cu material cum ar fi nisip sau pietriș și se instalează etanș (cu sol natural sau cu folii elastice).



**Fig. 1.5. Fitofiltru cu flux vertical**

În general aceste tipuri de filtre pot fi prevăzute cu o etapă de epurare prealabilă pentru sedimentarea materiilor organice solide cu scopul evitării înfundării.

Pentru o eficiență mai ridicată a acestor sisteme se necesită în prealabil o bună epurare mecanică. O epurare neeficientă poate conduce la acumulări în punctul de vărsare, miros neplăcut și înfundarea filtrelor.

Epurarea prealabilă poate fi realizată prin sedimentare primară în decantoare. Pentru stațiile cu capacități mici de regulă se folosesc fose septice.

Nămolul primar trebuie evacuat frecvent (o dată pe an). O altă metodă este decantorul Imhoff, care reduce formarea nămolului pe suprafața filtrelor.

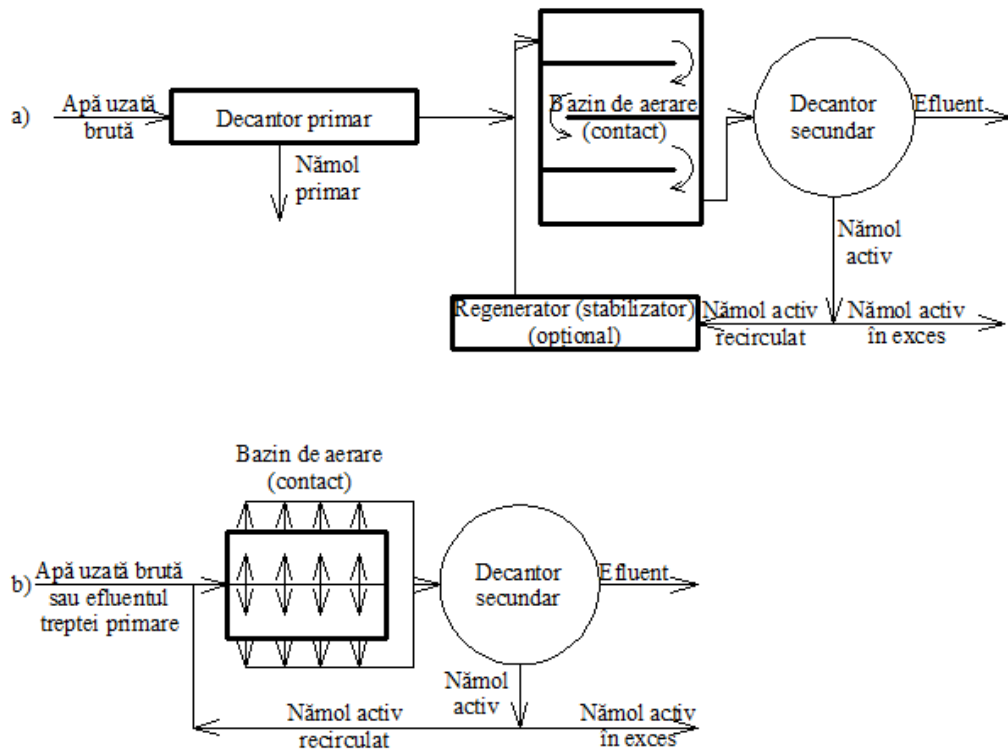
## 1.6. Epurarea biologică artificială

Cele mai importante construcții pentru epurarea biologică artificială sunt filtrele biologice și bazinele de aerare cu nămol activ. După construcțiile epurării biologice artificiale sunt amplasate întotdeauna decantoare secundare, care au drept scop reținerea peliculei biologice desprinse de pe stratul filtrant sau a flocoanelor de nămol activ din bazinele cu nămol activ.

### 1.6.1. Procedee clasice de epurare biologică a apelor uzate

Bioreactor cu microfloră suspendată/bazin de aerare cu nămol activ. Acest procedeu este cel mai răspândit și este cunoscut ca procedeul cu nămol activ (figura 1.6).

Ameliorarea performanței de epurare a stațiilor de epurare a apelor uzate poate fi efectuată prin schimbarea tipului de curgere în bazinele de aerare cu nămol activ.



**Fig. 1.6. Tipurile principale de bazine de aerare cu nămol activ: bazin tip piston (neomogen) (a) și tip amestec complet (omogen) (b) [38]**

Este demonstrat că bazinele cu curgere tip piston au nevoie de un volum mai mic în raport cu bazinele cu amestec complet, pentru a realiza același grad de epurare. Transformarea bazinelor cu amestec complet în bazine tip piston se poate efectua simplu prin compartimentarea primelor, aceasta realizând concomitent o mai bună sedimentare a nămolului activ deoarece creșterea bacteriilor filamentoase, care provoacă „umflarea” nămolului activ, este frânată în bazinele tip piston. Același efect se obține prin utilizarea conjugată a compartimentării bazinelor cu biomasa hibridă.

Caracteristicile proceselor de epurare cu nămol activ:

- concentrația biomasei active din reactorul biologic;
- nămolul de recirculare este amestecul apă uzată – biomasă activă ce se întoarce în bioreactor după ce a fost sedimentat în decantorul secundar, pentru a menține o concentrație a biomasei necesară oxidării substanțelor organice;
- vârsta nămolului se definește ca timpul mediu în care este reținută biomasa în bazinul cu nămol activ;
- oxigenul necesar proceselor de oxidare a materiei organice și menținerii biomasei în suspensie este injectat la partea inferioară a bazinului prin intermediul sistemelor de difuzie.

Principiile de proiectare ale tehnologiilor de epurare cu biomasă în suspensie pot fi împărțite în 2 categorii:

- principii bazate pe experiența în domeniu (bazine facultativ aerobe/anaerobe);
- principii bazate pe biochimia și dinamica populației bacteriene (celelalte tehnologii/scheme de epurare cu biomasă în suspensie) [38].

### ***1.6.2. Procedul cu culturi hibride de microfloră (elemente/suporturi pentru fixarea biomasei)***

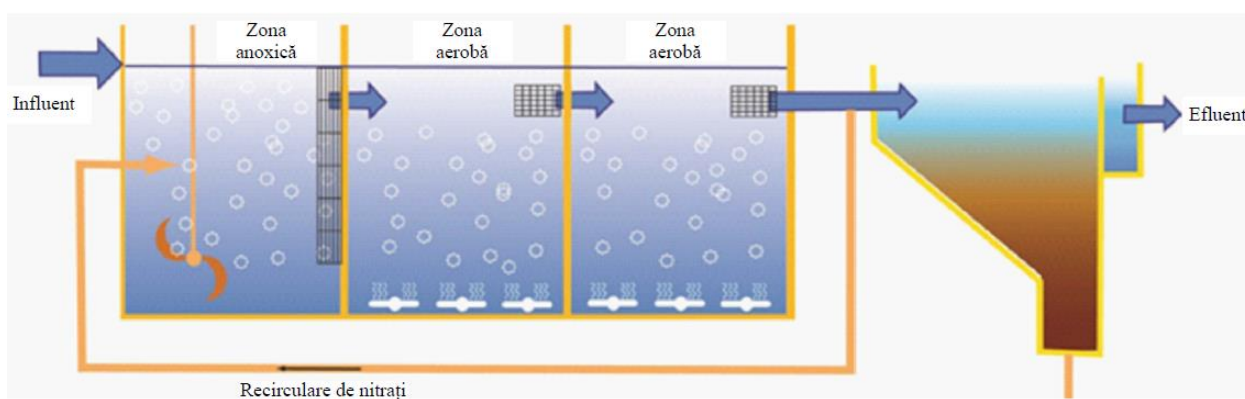
Procedul hibrid de epurare a apelor uzate (MBBR) utilizează principiul biofilmului aerob și întrunește avantajele procesului de epurare biologică cu nămol activ și pe cele ale altor sisteme cu biofilm fără a fi puternic influențat de dezavantajele acestora. Baza acestui proces o reprezintă elementele mobile de suport pentru biofilm, confecționate din polietilenă. Aceste elemente oferă o suprafață specifică mare și condiții optime pentru formarea și dezvoltarea biofilmului și a culturilor de bacterii. Biofilmul format în jurul fiecărui element purtător protejează culturile de bacterii, asigurând un sistem robust pentru stațiile de epurare caracterizate de fluctuații mari în ceea ce privește procesele de epurare biologică.

Procedul cu 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 procedului cu microflora mixtă (hibrid) este acela, că el permite un grad elevat de epurare fără a fi nevoie de majorat volumul bazinelor de aerare (bioreactoarelor). Ceea ce se referă la procedul cu microflora fixată sau la bioreactoarele hibride este de menționat că încărcarea 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.

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 [38].

Stratul fluidizat este constituit din piese plastice de diferite forme/configurații dar cu o maximă suprafață specifică activă (de ordinul 200 – 1.000 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>). Acest tip de umplutură se utilizează în bazine de aerare în stare imersată și suspendată ocupând de la 30 până la 70 % din volumul bioreactoarelor.

Piese/elementele de suport solid mobil (SSM) sunt confecționate din polietilenă care servesc la fixarea biomasei/biofilmului suplimentar la flocoanele de biomasă suspendată (nămol activ). În bioreactoare apa uzată întâlnește piesele/elementele de SSM și împreună formează o masă comună. Această masă (suport solid mobil – apă uzată) este aerată intensiv cu aer comprimat cu ajutorul conductelor de aerare cu bule medii. Aerul propulsat din conductele de aerare cu bule medii duce la rotirea permanentă a pieselor/elementelor de SSM ceea ce conduce la fixarea biomasei și respectiv la formarea biofilmului pe suprafață și în interiorul acestor piese/elemente de suport solid mobil. Densitatea specifică este aproximativ egală cu 1, ceea ce permite pieselor/elementelor de suport solid mobil să plutească liber prin apă [152].



**Fig. 1.7. Schema tehnologică de epurare a apelor uzate folosită la instalațiile hibride (MBBR) [19, pag. 14]**



**Fig. 1.8. Tipuri de suport solid mobil utilizat la instalațiile biologice de tip hibrid (MBBR)**



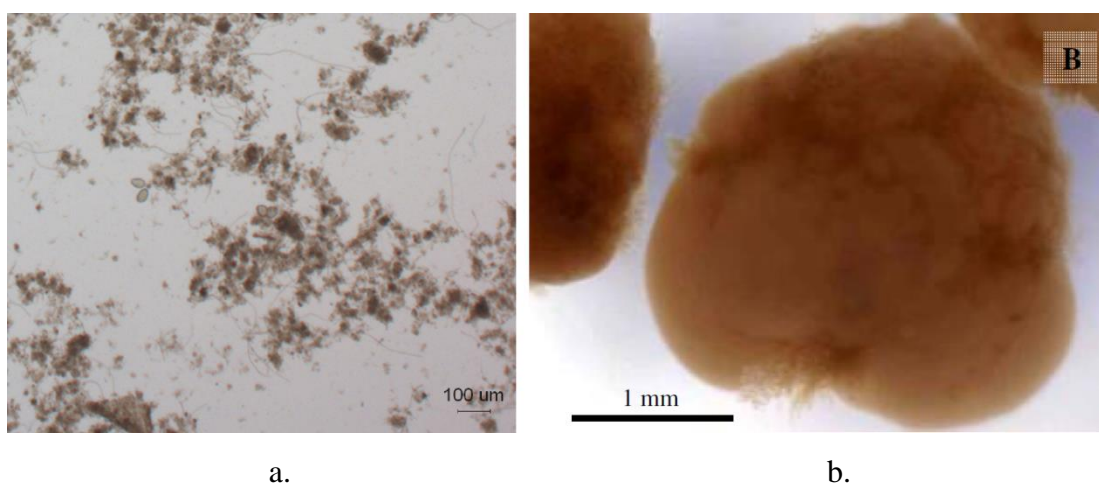
### **1.6.3. Procedeu de epurare biologică cu ajutorul nămolului granular aerob**

Tehnologia de epurare biologică a apelor uzate cu ajutorul nămolului granular aerob este una relativ nouă. Conform studiilor efectuate de cercetători, nămolul granular aerob se situează între nămolul activ și biofilm, deoarece există foarte mari asemănări cu biofilmul care crește pe un element de suport solid mobil de mici dimensiuni.

Nămolul granular aerob are proprietăți bune de epurare. Durata creșterii nămolului granular aerob variază între 2 săptămâni până la o lună. Granulele formate au forme aproximativ sferice cu dimensiunile începând de la 1 până la 5 mm și nu sunt strict limitate la anumite specii de bacterii, ceea ce permite ca într-o singură granulă să crească și să viețuiască atât bacterii aerobe cât și cele anaerobe și anoxice.

Prin urmare într-un singur bioreactor are loc atât eliminarea CBO-ului cât și procesul de nitrifi–denitrificare. Anume aceste priorități permit ca procedeul de epurare biologică a apelor uzate cu ajutorul nămolului granular aerob să aibă loc într-un bioreactor cu un volum relativ mai mic cu aproximativ 20 – 30% față de epurarea clasică cu nămol activ. În plus, în bioreactor are loc oxidarea amoniului în nitrat. Tot aici deoarece în interiorul granulei de nămol există o zonă anaerobă are loc transformarea substanțelor anorganice, combinațiile oxidate ale azotului, nitriții și nitrații cu ajutorul bacteriilor heterotrofe în azot gazos.

Nămolul granular aerob spre deosebire de flocoanele de nămol activ are proprietăți mult mai bune de sedimentare ceea ce duce la micșorarea timpului de staționare a apei uzate în decantorul secundar și respectiv la micșorarea volumului.



**Fig. 1.9. Diferența dintre nămolul activ clasic sub formă de flocoane și nămolul granular aerob (sub formă de granule).**  
**a. nămol activ sub formă de flocoane (clasic); b. nămol granular aerob [12, pag. 9]**

#### 1.6.4. Procedeu de epurare biologică cu membrane

Este de dată recentă dezvoltarea și aplicarea bioreactoarelor cu membrane pentru epurarea apelor uzate și este cea mai importantă realizare tehnologică în domeniul epurării biologice. 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 (figura 1.10). 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 [38].

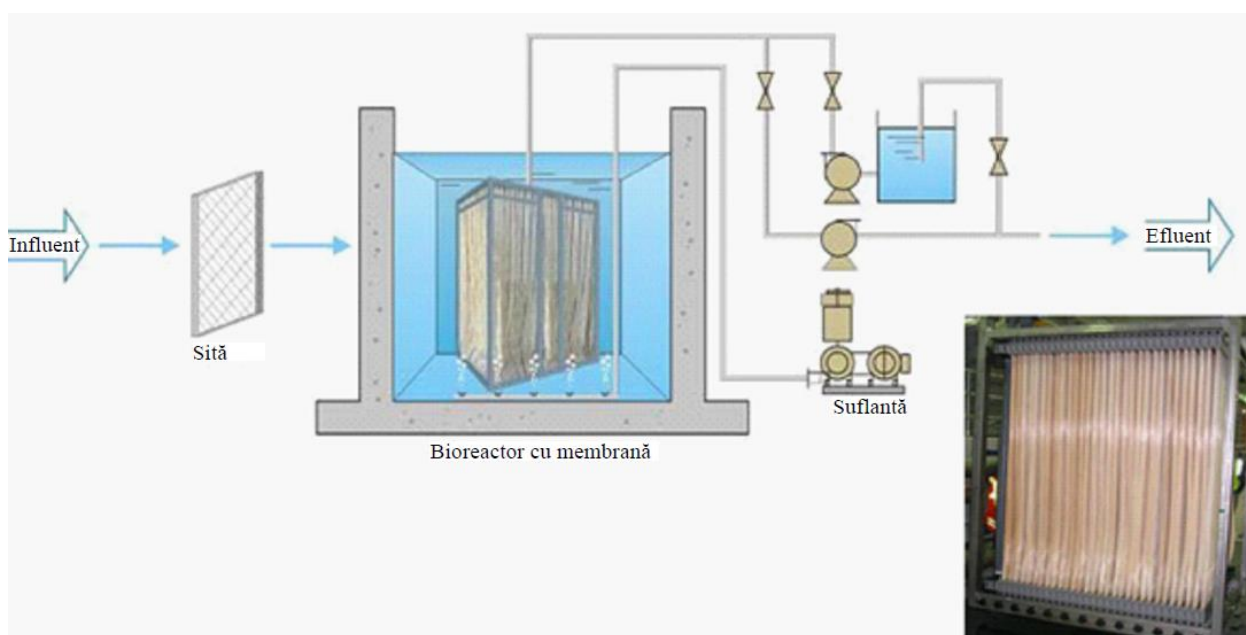


Fig. 1.10. Principiul de funcționare a bioreactorului cu membrană

#### 1.6.5. Procedeu de epurare biologică în bioreactoare secvențiale ciclice (SBR)

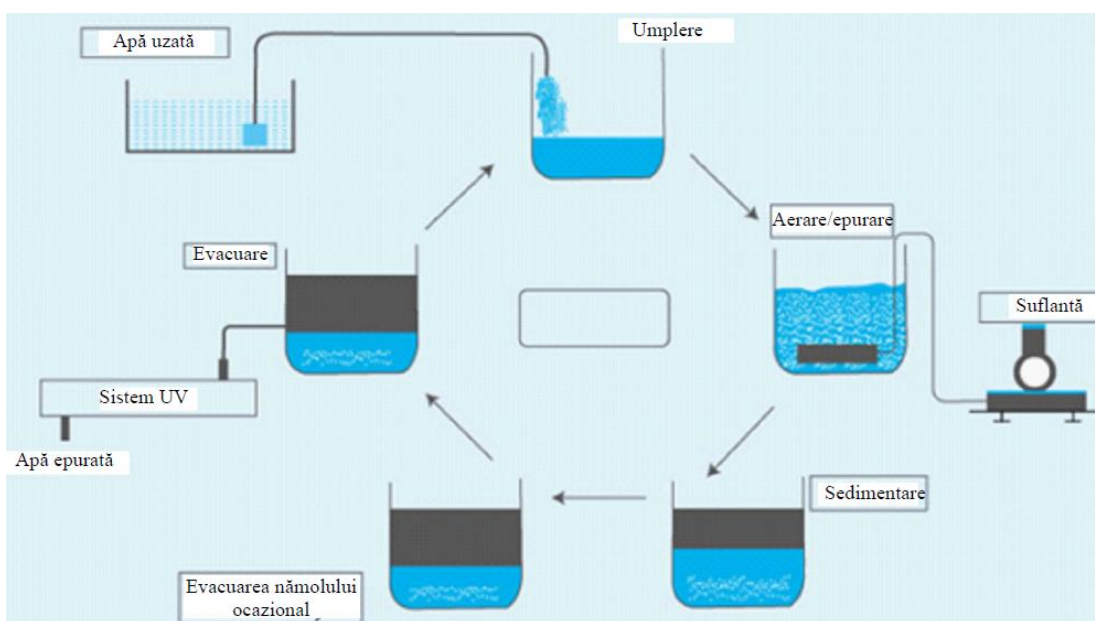
Bioreactoarele secvențiale cu funcționare ciclică (BSC) (Sequencing Batch Reactor-SBR) sunt o varietate a bazinelor de aerare cu nămol activ (BANA), în care toate fazele de epurare a apelor uzate și a nămolului activ au loc în unul și același bioreactor, sunt propuse



pentru a fi utilizate pentru stații de epurare de capacități mici, dar care pot atinge 5.000 m<sup>3</sup>/zi și mai mult. Înainte de a fi introdusă în bioreactoare, apa uzată este supusă unei epurări preliminare, care include eliminarea materiilor grosiere și, eventual, a materiilor în suspensie de origine minerală (deznisipare).

În bioreactoarele secvențiale ciclice (BSC) apele uzate sunt introduse intermitent, la anumite intervale de timp și, în general, urmează o succesiune de 5 faze sau operațiuni, care constituie un ciclu. Cele cinci faze/operațiuni, care constituie ciclul de epurare sunt: umplerea bioreactorului cu apă uzată brută, epurarea propriu-zisă, decantarea, evacuarea apei uzate epurate limpezite, pauză de pregătire pentru noul ciclu și/sau evacuarea nămolului activ în exces.

Durata fazelor epurării biologice în bioreactoare se stabilește în funcție de caracterul apelor uzate brute, atât cantitativ cât și calitativ, și de gradul de epurare urmărit: eliminarea materiilor în suspensie (MS), și conținutul biochimic de oxigen (CBO<sub>5</sub>) și/sau nitrî-denitrificarea compușilor azotului, eventual și eliminarea fosforului.



**Fig. 1.11. Schema tehnologică de funcționare a bioreactorului secvențial cu funcționare ciclică (BSC) (Sequencing Batch Reactor - SBR)**

### 1.7. Scheme tehnologice pentru eliminarea azotului și fosforului

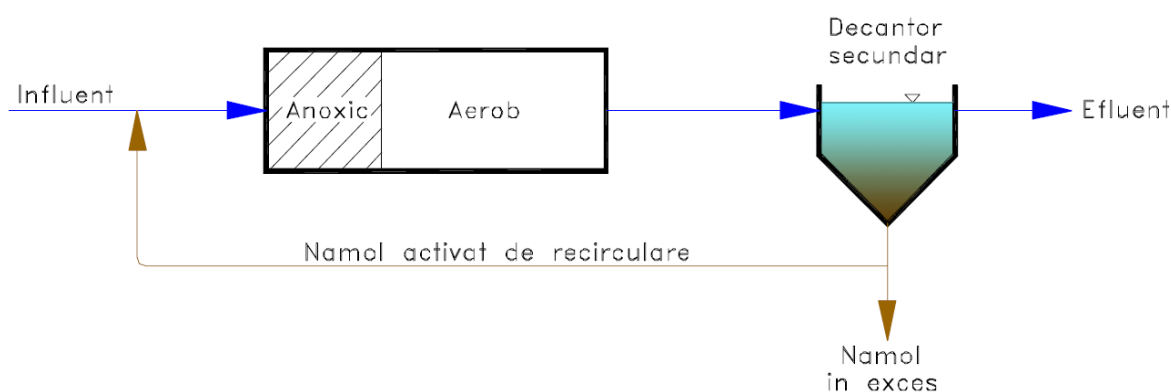
Deoarece Directiva Europeană nr. 91/271/CEE din 30.05.1991 cere ca în stațiile de epurare să fie eliminată atât materia biodegradabilă (CBO) cât și eliminarea azotului și a fosforului, în prezenta lucrare s-a făcut o analiză privind schemele tehnologice pentru eliminarea acestor componente.

### 1.7.1. Tehnologii biologice de eliminare a azotului

#### Schema preanoxică

##### a. Ludzack-Ettinger

Schema care stă la baza procesului preanoxic a fost dezvoltată de Ludzack-Ettinger. Conform acestei scheme, influentul este introdus într-o zonă anoxică, care este urmată de o zonă aerobă. Principiul de bază al procesului se bazează pe faptul că nitrații formați în zona aerobă sunt recirculați la zona anoxică sub forma nămolului activ de recirculare. Deoarece nitrații se regăsesc numai în nămolul activ de recirculare, procesul de denitrificare este mult dependent de coeficientul de recirculare al nămolului activ. În această schemă, de regulă se utilizează coeficienți de recirculare mari pentru a se evita nămolul plutitor datorită denitrificării care poate apărea în decantorul secundar [25, pag. 60].

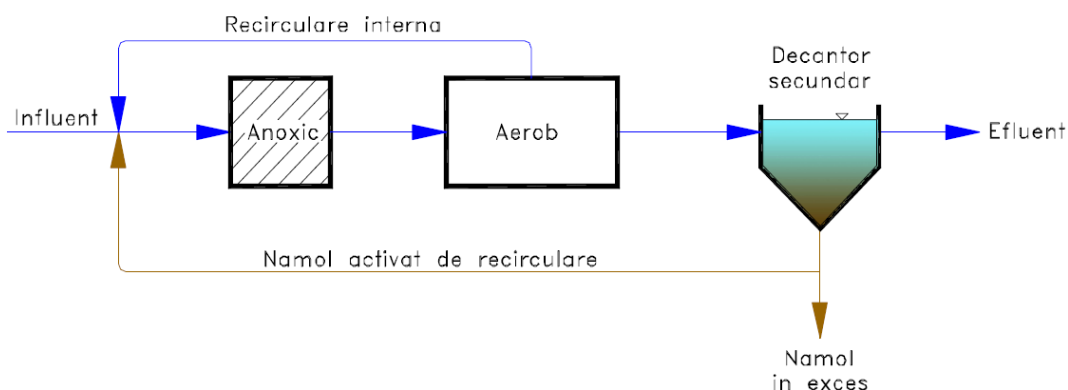


**Fig. 1.12. Schema de epurare Ludzack-Ettinger [25, pag. 60]**

##### b. Ludzack-Ettinger modificată

La baza acestei scheme de epurare stă schema Ludzack-Ettinger cu deosebirea că nitrații sunt furnizați zonei anoxice direct din avalul zonei aerobe, prin prevederea unei recirculări interne. Prin aceasta s-a obținut atât creșterea eficienței de reținere a azotului cât și creșterea ratei denitrificării. Coeficientul de recirculare internă (definit ca raportul dintre debitul recirculat și cel influent) variază în mod obișnuit între 2÷4. Procesul este adaptabil stațiilor de epurare cu nămol activ existente și realizează în mod obișnuit valori ale azotului total sub 10 mg/l.

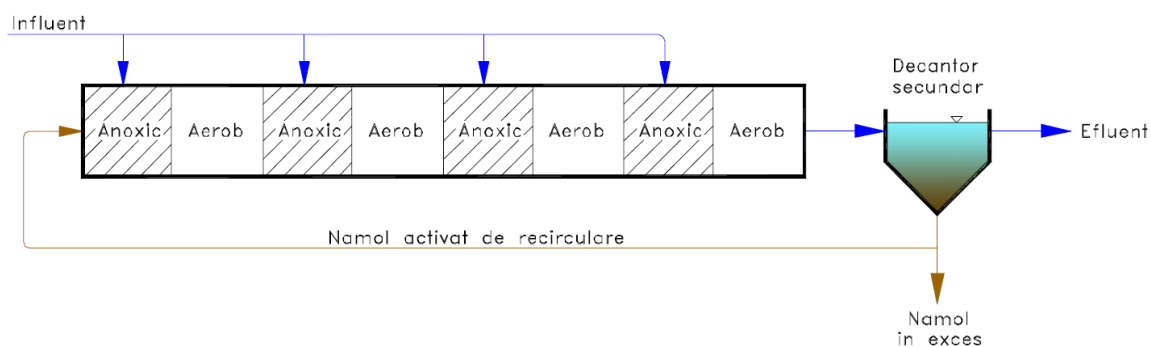
În general un raport CBO/TKN de 4:1 în apa uzată influentă este suficient pentru reducerea nitraților în cadrul proceselor preanoxice. Timpul de retenție al unui bazin anoxic pentru procesul Ludzack-Ettinger modificat variază între 2÷4 h [25, pag. 60].



**Fig. 1.13. Schema de epurare Ludzack-Ettinger modificată [25, pag. 61]**

c. Alimentare fracționată

Conceptul de preanoxic este utilizat la schemele de epurare cu alimentare fracționată. Acest proces este utilizat la bazinele de aerare cu multiple treceri. Uneori se utilizează trepte nesimetrice cu trepte anoxic/aerob mai mici ce prezintă avantajul unei concentrații ridicate de nămol activ în primele trepte, datorită diluției scăzute a nămolului activ recirculat, rezultând o eficiență mai mare. Utilizând o distribuție clasică a debitului care este 15/35/30/20% la sistemele cu 4 treceri, fracțiunea finală de debit la ultima treaptă anoxic/aerob este critică deoarece nitrării produși aici nu vor mai fi reduși, dictând concentrația de  $\text{NO}_3^-$ -N din efluent [25, pag. 62].

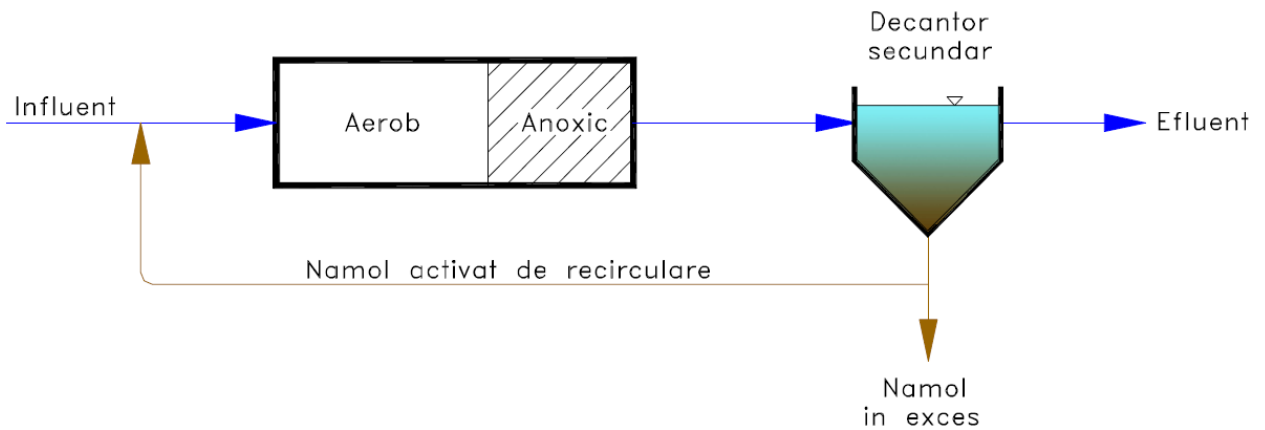


**Fig. 1.14. Schema de epurare cu mișcare fracționată [25, pag. 62]**

**Schema postanoxică**

a. Treapta unică cu nămol

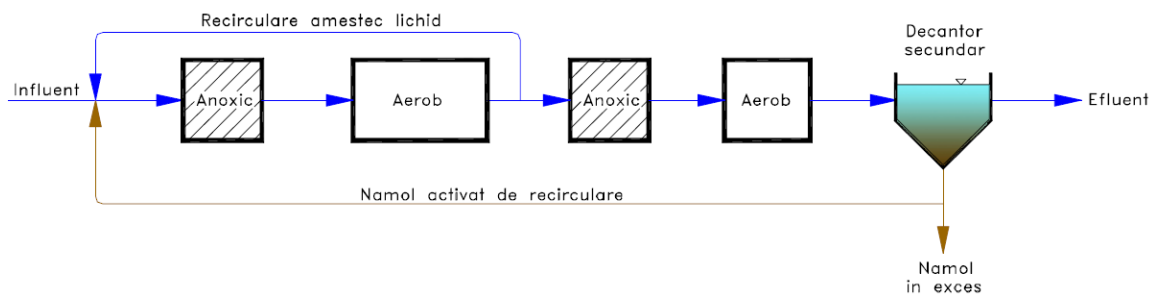
În procesul treapta unică cu nămol dezvoltat de Wuhrmann, eliminarea azotului este realizată în procesul cu nămol activ prin adăugarea unui bazin anoxic cu mixare după bazinul de nitrificare aerobă. Pentru a obține o eficiență ridicată în eliminarea azotului, este necesar să se asigure un timp de retenție mărit în bazinul postanoxic deoarece rata de denitrificare este proporțională cu rata respirației endogene în amestecul lichid din bazin [25, pag. 65].



**Fig. 1.15. Schema de epurare cu treapta unică cu nămol [25, pag. 65]**

b. Bardenpho (4 trepte)

Procesul de epurare Bardenpho în 4 trepte se caracterizează prin aceea că are incorporat în el atât denitrificare preanoxică cât și postanoxică. Timpul de retenție a treptei postanoxice este egal sau mai mare decât cel utilizat pentru zona preanoxică. În zona postanoxică conținutul de  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  este relativ scăzut de la  $5 \div 7 \text{ mg/l}$  la mai puțin de  $3 \text{ mg/l}$ . De asemenea, s-a constatat că odată cu eliminarea azotului are loc și reducerea biologică a fosforului [25, pag. 65].

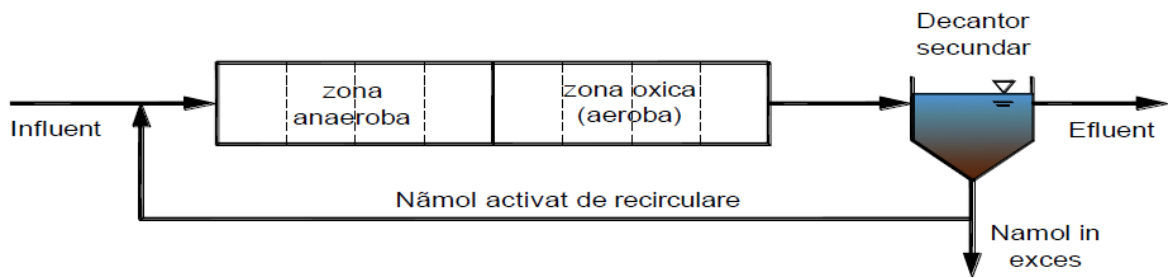


**Fig. 1.16. Schema de epurare Bardenpho în 4 trepte [25, pag. 66]**

**1.7.2. Tehnologii biologice de eliminare a fosforului**

a. Procedeeul A/O

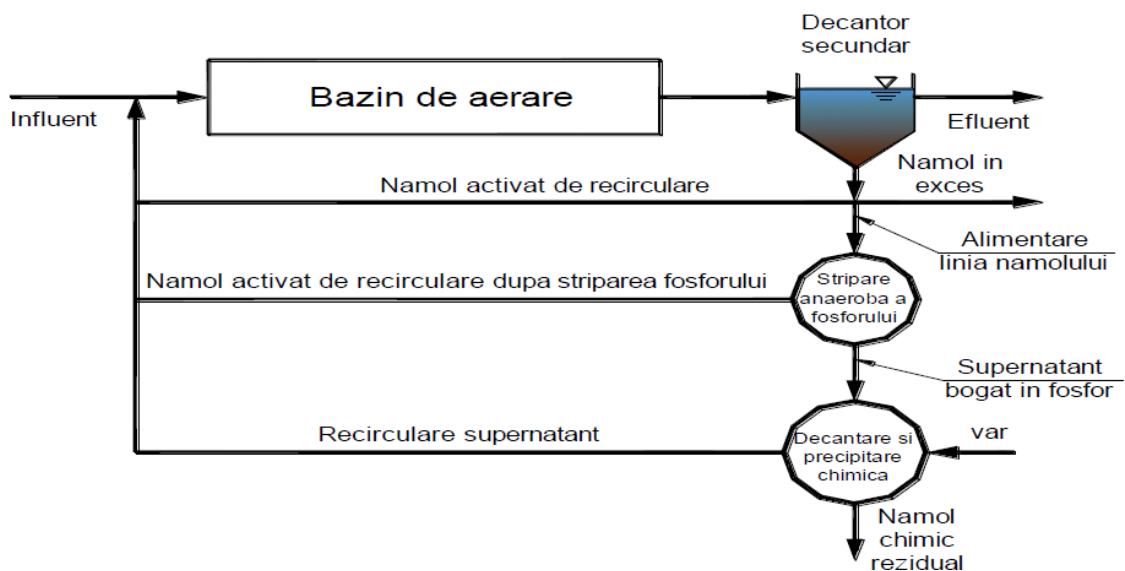
Procedeeul A/O presupune îndepărtarea fosforului pe linia apei, în treapta biologică concomitent cu oxidarea substanțelor organice pe bază de carbon. Concentrația fosforului în efluent depinde în mare măsură de raportul  $\text{CBO}_5:\text{P}$  al apei uzate influente. Pentru valori mai mari de 10:1 se pot obține concentrații în fosfor solubil în efluentul epurat sub  $1 \text{ mg/l}$ , iar pentru valori mai mici de 10:1, pentru a se obține valori scăzute ale concentrației de fosfor în efluent, este necesară adăugarea de săruri metalice pentru precipitare [28, pag. 20].



**Fig. 1.17. Schema A/O de eliminare pe cale biologică a fosforului [28, pag. 20]**

b. Procedeul Phostrip

Procedeul Phostrip implică îndepărtarea fosforului pe linia nămolului. În acest procedeu, o parte din nămolul activat recirculat este dirijat într-un rezervor anaerob de stripare a fosforului. Procedeul de tip Phostrip asociat cu cele cu nămol activat pot asigura un efluent cu o concentrație de fosfor total de 1,5 mg/l [28, pag. 20].



**Fig. 1.18. Schema Phostrip de eliminare pe cale biologică a fosforului [28, pag. 21]**

**1.7.3. Tehnologii biologice de eliminare combinată a azotului și fosforului**

Cele mai multe tehnologii de îndepărtare combinată a azotului și fosforului sunt perfecționări ale sistemelor cu nămol activ, constituite din combinații de zone anaerobe, anoxice și aerobe, sau compartimente special destinate eliminării azotului și fosforului. O parte dintre aceste sisteme au fost inițial destinate eliminării individuale a fosforului sau azotului, ulterior însă au fost îmbunătățite pentru a elimina concomitent atât azotul, cât și fosforul.

Principalele tehnologii utilizate pentru eliminarea simultană a azotului și fosforului sunt:

- c. procedeul A<sup>2</sup>/O (anaerob/anoxic/aerob);
- d. procedeul Bardenpho în cinci trepte;
- e. procedeul UCT (University of Cape Town);
- f. procedeul VIP (Virginia Initiative Plant) [25, pag. 80].

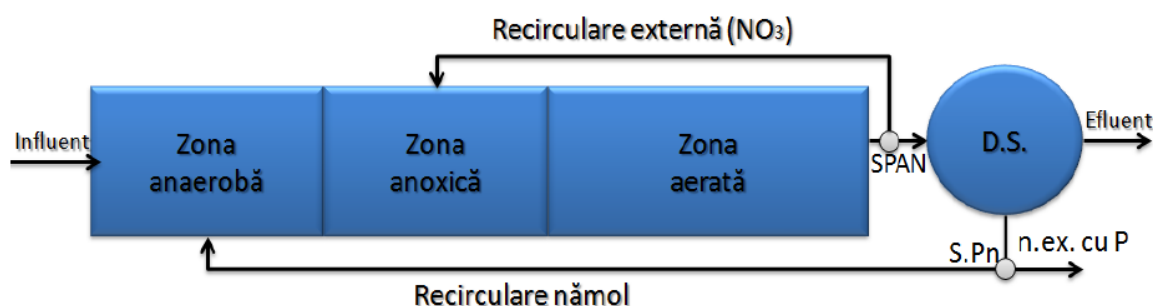
a. Procedeul A<sup>2</sup>/O

Acest procedeu are la bază sistemul A/O pentru eliminarea fosforului, sistemul inițial a fost îmbunătățit pentru a se putea îndepărta și azotul. La sistemul clasic s-au introdus noi zone, anoxice, în care se realizează denitrificarea apei uzate. În această zonă, perioada de retenție hidraulică este de o oră. Zona anoxică este deficitară în oxigen dizolvat, însă oxigenul legat chimic sub forma nitraților sau nitriților este introdus prin recircularea amestecului nitrificat din zona aerobă.

**Avantajele** acestui procedeu sunt:

- nămolul rezultat, cu un conținut ridicat în fosfor (3-5 %) are valoare fertilizantă;
- capacitatea de denitrificare este mai bună decât cea a sistemului A/O.

**Dezavantajul** procedurii se manifestă în perioadele cu temperaturi scăzute când eficiențele de reținere a nutrienților se reduc considerabil [25, pag. 81].



**Fig. 1.19. Schema A<sup>2</sup>/O de eliminare a azotului și fosforului [29, pag. 31]**

b. Procedeul Bardenpho

Procedeul Bardenpho este o îmbunătățire a unui sistem elaborat pentru reținerea azotului, modificarea constând în adaptarea sa pentru reducerea fosforului. Aceasta s-a realizat prin introducerea unei a cincia trepte - un compartiment cu mediu anaerob.

Sistemul cuprinde o succesiune de zone anaerobe, anoxice și aerate destinate eliminării azotului, fosforului și oxidării substanțelor organice. O a doua zonă anoxică este destinată denitrificării suplimentare, utilizând nitratul produs în zona aerobă ca electron acceptor și carbonul organic endogen ca electron donor. Zona finală aerobă este utilizată pentru striparea

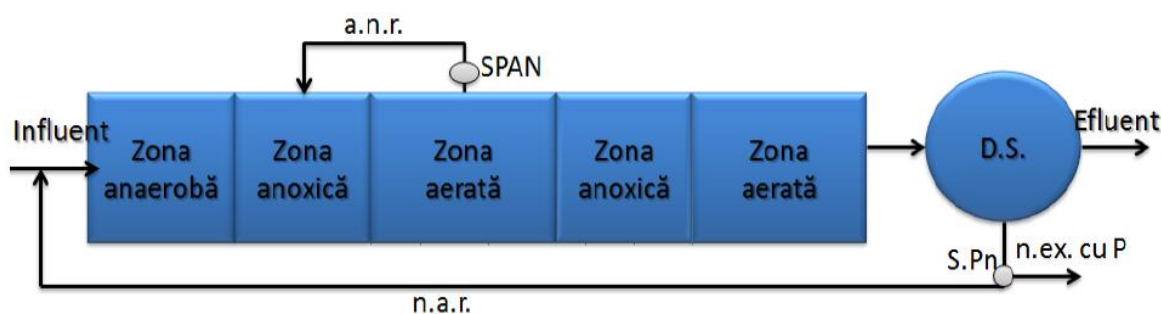
azotului gazos din soluție și pentru a minimiza eliberarea fosforului în decantorul final. Amestecul din prima zonă aerată este recirculat în zona anoxică.

**Avantajele** acestui procedeu sunt:

- produce cantități mici de nămol;
- nămolul rezidual are valoare fertilizantă;
- azotul total este redus la concentrații mai reduse decât în orice alt procedeu;
- alcalinitatea sistemului este refăcută, fără adaos de reactivi chimici.

**Dezavantajele** procedurii includ:

- creșterea energiei de pompare;
- volume de bazin mai mari decât procedeu A<sup>2</sup>/O;
- necesită valori ridicate ale raportului CBO<sub>5</sub>/P (peste 25 mg CBO<sub>5</sub>/mg P) [25, pag. 81].



**Fig. 1.20.** Schema Bardenpho de eliminare a azotului și fosforului [29, pag. 32]

### c. Procedeu UCT

Procedeu UCT are la bază procedeu A<sup>2</sup>/O, cu două modificări: nămolul activ recirculat este introdus în zona anoxică și nu în zona anaerobă, iar recircularea internă se face din zona anoxică în zona anaerobă. Prin recircularea nămolului activ în zona anoxică, se evită introducerea nitratului în zona anaerobă, îmbunătățindu-se eliberarea fosforului în această zonă. Recircularea internă a amestecului asigură o mai bună utilizare a substanței organice în zona anaerobă, deoarece amestecul din zona anoxică conține substanță organică solubilă în cantități considerabile și puțin nitrat. Recircularea amestecului denitrificat asigură condiții optime pentru fermentare în zona anaerobă. Azotul gazos este eliberat în atmosferă în zona anoxică.

**Avantajele** acestui procedeu sunt:

- recircularea amestecului denitrificat din zona anoxică elimină recircularea nitraților și asigură mediul anaerob de eliminare a fosforului;
- necesită volume mai mici decât procedeu Bardenpho.

**Dezavantajele** procedurii includ:

- creșterea energiei de pompare și a costurilor de întreținere datorită recirculării interne;
- necesită valori ridicate ale raportului  $CBO_5/P$  (15 – 20 mg  $CBO_5/mg P$ ) [25, pag. 82].

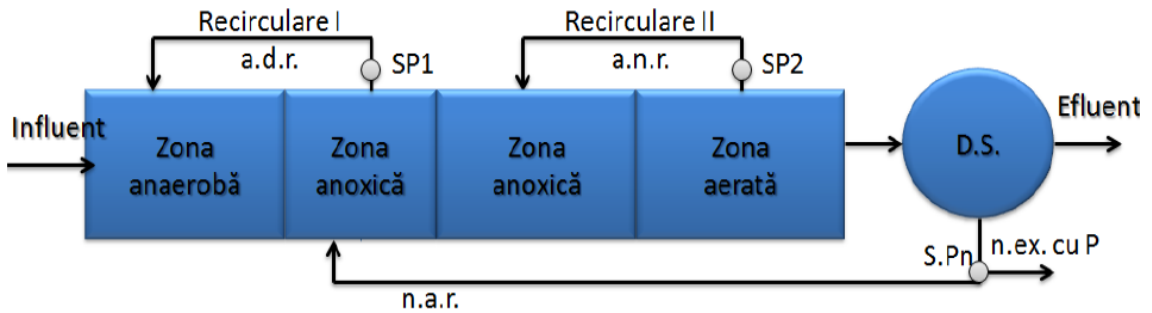


Fig. 1.21. Schema UCT de eliminare a azotului și fosforului [29, pag. 32]

d. Procedeul VIP

Apa uzată intră în bazinul anaerob unde este amestecată cu debitul recirculat din zona anoxică situată în aval. Amestecul rezultat supus condițiilor anaerobe intră apoi în bazinul anoxic, unde este combinat cu amestecul nitrificat recirculat din zona aerată aflată în aval și cu nămolul activat recirculat. Amestecul este supus condițiilor anoxice și apoi trece în zona aerată.

**Avantajele** procedeeului VIP sunt:

- recircularea nitratului în zona anoxică reduce cerințele de oxigen;
- recircularea efluentului zonei anoxice în zona anaerobă reduce încărcarea în nitrați a zonei anaerobe;
- sistemul se poate adapta pentru reducerea fosforului pe tot parcursul anului și sezonier a azotului, asigurând o bună reducere a azotului și fosforului din apa uzată;
- conduce la volume de bazin mai reduse decât alte procedee.

**Dezavantajele** procedeeului sunt:

- datorită recirculării interne, energia de pompare și necesitățile de întreținere sunt mari;
- temperaturile scăzute reduc eficiența procedeeului în eliminarea azotului [25, pag. 83].

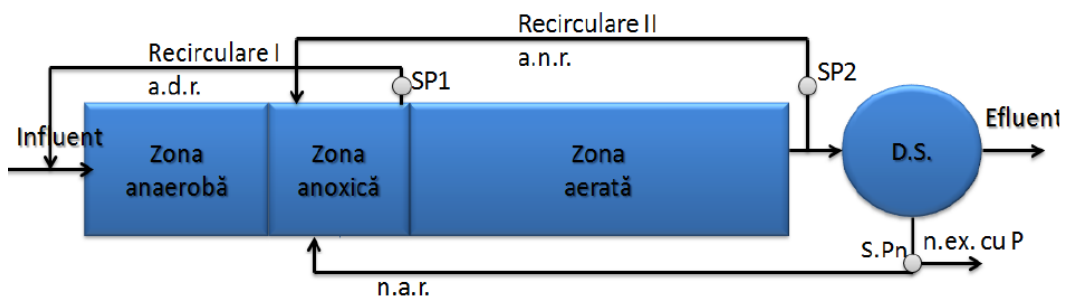


Fig. 1.22. Schema VIP de eliminare a azotului și fosforului [29, pag. 32]



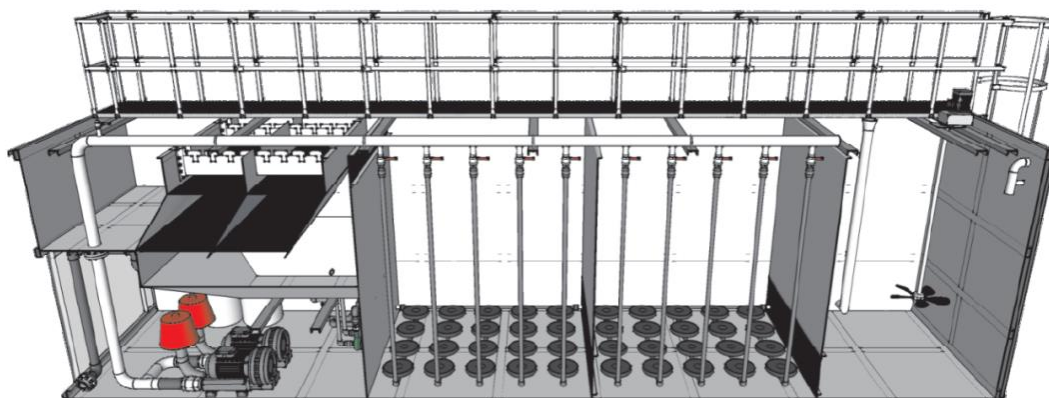
## 1.8. Stații de epurare în care se folosește procedeul hibrid (nămol activ și peliculă biologică)

Se cunosc o multitudine de companii care produc stații compacte de epurare a apelor uzate care folosesc procedeul hibrid de epurare biologică. Majoritatea acestor stații sunt divizate în compartimente anaerobe, anoxice și aerobe pentru eliminarea substanțelor bio-chimic degradabile (CBO-ului), azotului și fosforului.

Volumul suportului solid mobil folosit pentru creșterea biomasei este în jur de 40 – 70% din volumul bioreactoarelor.

### 1.8.1. Stație de epurare tip hibrid Aqua System Plus (România)

Procesul de epurare are ca principiu, dezvoltarea și fixarea unor cantități foarte mari de microorganisme pe un suport din corpuri mici din plastic puse în mișcare de un sistem de aerare.

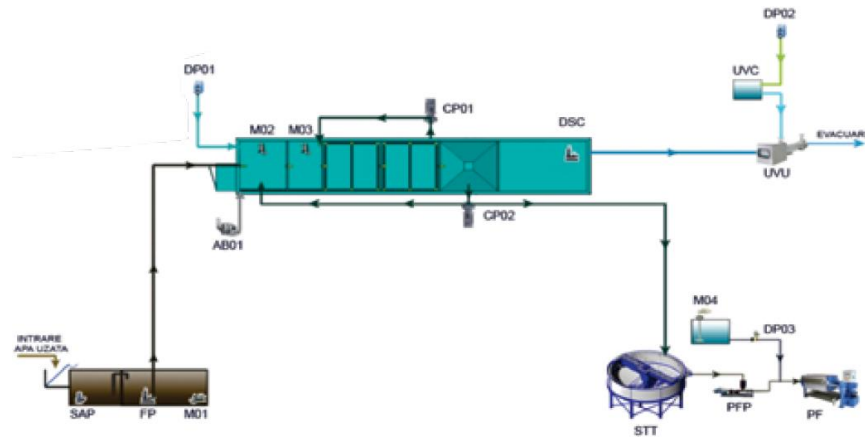


**Fig. 1.23. Stație de epurare tip Aqua System Plus**  
**Dezavantajele** acestei instalații sunt:

- construcție supraterană care poate duce la îngheț;
- sistem de aerare cu bule fine ceea ce micșorează eficiența;
- utilizarea clorurii ferice duce la creșterea costurilor de întreținere.

### 1.8.2. Stație de epurare tip hibrid Valrom (România)

Procesul de epurare folosit aceste stații de asemenea este de tip hibrid (MBBR).



**Fig. 1.24. Schema tehnologică utilizată la stațiile de epurare Valrom**

**Dezavantajele** acestei instalații sunt:

- construcție supraterană care poate duce la îngheț;
- construcție metalică care va duce la uzură într-un timp scurt;
- sistem de aerare cu bule fine ceea ce micșorează eficiența;
- utilizarea clorurii ferice în procesul de epurare duce la creșterea costurilor de întreținere;
- recircularea nămolului duce la cheltuieli suplimentare pentru întreținere.

### ***1.8.3. Stație de epurare tip hibrid Arges Treatment Machinery (Turcia)***

O altă companie producătoare de stații de epurare tip MBBR este și compania Arges Treatment Machinery din Turcia.



**Fig. 1.25. Stație de epurare Arges**

**Dezavantajele** acestei instalații sunt:

- construcție supraterană care poate duce la îngheț;
- sistem de aerare cu bule fine ceea ce micșorează eficiența;
- utilizarea clorurii ferice în procesul de epurare duce la creșterea costurilor de întreținere.

În urma studierii bibliografiei, schemelor și a instalațiilor existente și a cerințelor de epurare biologică a apelor uzate s-a obținut scopul prezentei teze de doctor.

**Scopul acestei teze urmărește** obținerea unui procedeu și a unei instalații moderne de epurare a apelor uzate menajere și industriale cu caracteristicile poluanților apropiate de cele menajere, obținerea unui reactor biologic cu un volum mic și cu mișcare de tip piston a fluidului cu cantități minime a nămolului în exces și consum redus de energie.

## **1.9. Concluzii**

În urma studierii metodelor de epurare biologică s-a ajuns la următoarele concluzii:

- procedeul de epurare hibrid (nămol activ și biomasă fixată) majorează eficiența de epurare a apei uzate;
- pentru eliminarea azotului și fosforului este nevoie de compartimentat bioreactoarele pentru diferite condiții de epurare (anaerob, anoxic, aerob) și cu recircularea apei sau a nămolului activ;
- majoritatea producătorilor de stații compacte (mici) de epurare a apei uzate propun instalații containerizate supraterane confecționate din metal ceea ce poate duce la micșorarea duratei de viață a instalației și la posibilitatea înghețării apei uzate pe timp friguros.

## 2. PROGRAMUL ȘI METODICA INVESTIGAȚIILOR CERCETĂRIILOR ȘTIINȚIFICE ALE EPURĂRII APELOR UZATE CU SUPT SOLID MOBIL (PROCEDEUL HIBRID)

### 2.1. Avantajele epurării apei uzate menajere prin procedeul hibrid

Avantajele întregului proces tehnologic de epurare a apelor uzate prin procedeul hibrid (MBBR) constau în:

a. avantajele instalației:

- consum redus de energie electrică datorită mișcării haotice și a timpului de retenție a bulelor de aer în bioreactoarele aerobe care duce la micșorarea debitului de aer;
- instalație complet automatizată;
- necesită personal redus la exploatare;
- instalația poate epura apă uzată de diferite tipuri și cu diferite concentrații;
- ocupă o suprafață mică de teren datorită micșorării volumului modulului de epurare biologică;
- prezența permanentă în bioreactoare a unei concentrații înalte de biomasă permite reducerea timpului de retenție a lichidului epurat, fapt ce conduce și la reducerea volumelor bioreactoarelor, datorită proceselor intensive dinamice de epurare biologică;
- microflora fixată poate suporta supraîncărcări importante și/sau întreruperi de lungă durată în alimentarea cu substrat nutritiv (apă uzată cu conținut de substanțe organice biodegradabile), fără repercusiuni negative deosebite asupra activității ulterioare a peliculei biologice.

b. avantajele pieselor/elementelor de suport solid mobil (SSM):

- majorarea suprafeței de fixare a biomasei/biofilmului până la  $1.000 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ;
- spații libere mari între spițe care nu permit colmatarea suportului solid mobil;
- permite instalației de epurare adaptarea la șocuri de sarcină;
- piesele/elementele de suport solid mobil pot fi folosite la diferite bioreactoare;
- fixarea microorganismelor, ale biomasei epuratoare, majorează timpul de retenție în sistem a acestora, în rezultat având loc o reducere substanțială a consumului de substrat (poluanți organici biodegradabili - CBO) pentru sinteza de noi celule bacteriene și,

respectiv, este mai mică producția de biomasă în exces (nămol biologic), care necesită o tratare ulterioară destul de costisitoare;

- prin utilizarea pieselor/elementelor de suport solid mobil, bulele de aer care intră în contact cu apa supusă epurării nu va avea o direcție strict verticală ca la sistemele de epurare cu biomasa suspendată (nămol activ), dar lovindu-se de aceste piese/elemente de suport solid mobil mișcarea lor este direcționată haotic în diferite părți ale bioreactoarelor aerobe, dispersându-se în bule mai mărunte, astfel timpul de contact cu apa uzată și cu microflora hibridă (biomasa în suspensie și biomasa fixată pe suportul solid mobil) este mult mai mare ceea ce va duce la micșorarea debitului de aer produs de suflantă și respectiv micșorarea consumului de energie electrică.

c. avantajele sistemului de aerare:

- sistemul de aerare cu bule medii conduce la un bun transfer al oxigenului în apa supusă epurării;
- sistemul de aerare cu bule medii duce la mixarea/agitarea/amestecarea mai intensă a masei de apă uzată supusă epurării cu piesele/elementele de suport solid mobil;
- conductele de aerare cu bule medii confecționate din polietilenă sau oțel inoxidabil sunt mult mai eficiente având o durată de viață de aproximativ 40 ani față de sistemele de aerare cu bule fine cu membrane de cauciuc care trebuie înlocuite la fiecare 2 ani.

d. avantajele decantorului lamelar:

- datorită distanței dintre lamele este evitată colmatarea;
- amplasarea lamelelor (blocului lamelar) pe întreaga suprafață a decantorului majorează eficiența separării nămolului de apă limpezită;
- utilizarea lamelelor (blocului lamelar) duce la intensificarea procesului de limpezire a apei uzate epurate și conduce la micșorarea semnificativă a volumului decantorului lamelar [70].

## **2.2. Instalația-pilot de epurare a apelor uzate menajere**

Pentru elaborarea diferitor experimente a fost confecționată și montată o instalație-pilot de epurare biologică a apelor uzate menajere.

Tehnologia/procesul/procedeul de epurare în această instalație-pilot este de tip hibrid adică atât cu biomasa suspendată (nămol activ) cât și cu biomasa fixată care crește pe

piesele/elementele permanent în mișcare (suportul solid mobil) – MBBR (Mobile Bed Biofilm Reactor).

Instalația-pilot este confecționată din tablă metalică cu dimensiunile 4,5 x 1,0 x 3,0 m (L x b x h),  $H_{\text{apă}}=2,8$  m, împărțită în 4 compartimente: bioreactor anoxic – bioreactor aerob – bioreactor aerob – decantor lamelar. Conform calculelor din literatura normativă națională această instalație-pilot are capacitatea de a epura un debit de 25,0 m<sup>3</sup>/zi.

Instalația-pilot în afară de componentele de bază: pompă submersibilă de alimentare a instalației-pilot de epurare biologică, sistem de aerare, suflantă de aer, mixer submersibil mai conține și o mulțime de alte componente secundare (auxiliare) pentru elaborarea experimentelor.

Acestea sunt: manometru de vizualizare a presiunii aerului la ieșirea din suflantă, diferite robinete de închidere-deschidere pentru sistemul de aerare, debitmetru pentru vizualizarea debitului de apă pompat către instalația-pilot de epurare biologică a apelor uzate, două rotametre pentru vizualizarea debitului de aer pentru fiecare bioreactor aerob, sistem de aerlift pentru recircularea apei, sistem de aerlift pentru eliminarea (evacuarea) nămolului sau recircularea nămolului în diferite compartimente a instalației-pilot de epurare a apelor uzate.

### ***2.2.1. Schema tehnologică a instalației pilot propusă pentru cercetare***

Conform Directivei Europene nr. 91/271/CEE din 30.05.1991 se cere ca în stațiile de epurare să fie aprobată o schemă tehnologică nu numai pentru eliminarea materiei biodegradabile (CBO) dar și eliminarea azotului și a fosforului, de aceea instalația experimentală include în schema tehnologică și acest lucru.

Încărcată cu materii biodegradabile, apa uzată necesită un tratament biologic, unde bacteriile consumă materia organică în prezența oxigenului introdus de sistemul de aerare. În momentul în care apa uzată întâlnește o suprafață de contact, la interferența dintre aceasta și apa uzată se dezvoltă bacterii și alte numeroase microorganisme. Acestea dau naștere imediat la pelicula biologică care crește pe piesele/elementele de suport solid mobil care abundă în organisme unicelulare sau complexe, constituind așa-numita biomasă.

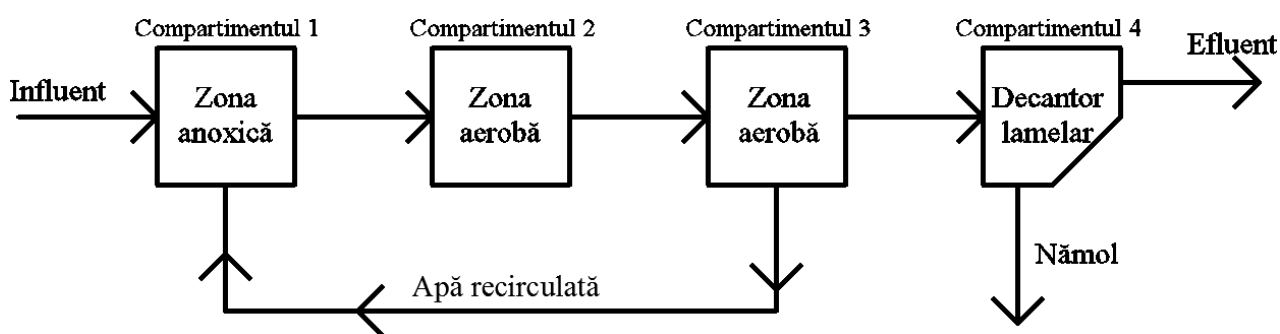
Biomasa are o mare putere de transformare a materiilor solide din apa uzată aflate sub diferite forme: suspensie, coloidale, dizolvate. Deoarece epurarea biologică este un fenomen de suprafață, realizarea acesteia este în funcție de suprafața de contact.

În cazul bioreactoarelor hibride (procedeu de epurare MBBR) cu piese/elemente de suport solid mobil, mărimea peliculei poate atinge de 200 – 1.000 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. Formarea și menținerea

peliculei biologice se realizează prin oxigenarea (aerarea) apei supuse epurării prin sistemul de aerare artificială în treptele biologice aerobe și fără oxigenare în treptele anaerobe sau anoxice.

Eliminarea biologică a azotului (nitrificare – denitrificare) necesită atât zonă aerobă cât și zonă anoxică. În plus reducerea azotatului necesită un donor de electroni. În același timp cu eliminarea azotului se reduce și substanța organică biodegradabilă ( $CBO_5$ ).

Mai jos este prezentată schema tehnologică propusă pentru cercetare la prezenta teză „Tehnologii avansate în stațiile de epurare biologică a apelor uzate”.



**Fig. 2.1. Schema tehnologică propusă pentru cercetare în cadrul instalației-pilot**

### **2.2.2. Calculul de dimensionare a instalației-pilot de epurare biologică a apelor uzate**

Calculul de dimensionare a instalației-pilot de epurare biologică a apelor uzate (procedeul hibrid) propusă pentru cercetare este efectuat pentru un debit zilnic de  $Q_{zi}=25 \text{ m}^3/\text{zi}$ , sau 150 L.E, cu un consum de 150 l/om-zi conform tabelului C.1 din [53, pag. 49].

Calculul concentrației de MS,  $CBO_5$ , azot amoniacal și fosfor are loc cu ajutorul normativelor de proiectare în vigoare [51, pag. 35]. Pentru calculul concentrației se va calcula numărul de locuitori echivalenți (convenționali) care se vor conecta la rețeaua de canalizare. Numărul de locuitori echivalenți (convenționali) constituie 150.

Conform tabelului 1.2. obținem încărcarea organică și respectiv obținem și concentrațiile principalelor poluanți. Încărcarea organică constituie  $MS=9,750 \text{ kg/zi}$ ,  $CBO_5=9,00 \text{ kg/zi}$ ,  $N=0,90 \text{ kg/zi}$ ,  $P=0,50 \text{ kg/zi}$ . Rezultatele calculelor concentrațiilor pentru fiecare parametru sunt prezentate în tabelul 2.1.

**Tabelul 2.1. Concentrațiile obținute conform calculelor  
pentru dimensionarea instalației-pilot**

Nr.	Parametrii	Maxim	Calitatea cerută la deversare	Calitatea la deversare de către SE
1	Debitul zilnic, (m <sup>3</sup> /zi)	25,0	-	-
2	Debitul orar mediu, (m <sup>3</sup> /h)	1,04	-	-
3	Materii în suspensie, (mg/l)	390,0	35	30
4	CBO <sub>5</sub> , (mg/l O)	360,0	25	20
5	Azot de amoniu, (mg/l N)	36,0	2	2
6	Fosfor total, (mg/l)	20,0	2	2

**Volumul întregului bioreactor se determină în felul următor.**

Prin pompare, cu ajutorul unei pompe submersibile amplasată în stația de pompare/bazinul de omogenizare și egalizare, apa epurată mecanic va fi introdusă cu un debit constant timp de 24 din 24 ore, în instalația-pilot de epurare biologică. Volumul tuturor bioreactoarelor și a decantorului lamelar a fost calculat pentru debitul orar mediu, respectiv 1,04 m<sup>3</sup>/h.

**Calculul compartimentului nr. 1 (zona anoxică/denitrificatorului).**

Cea mai mare parte a încărcării organice de nitrați în compartimentul de denitrificare este de obicei în fluxul (cantitatea) de recirculare a azotaților (NO<sub>3</sub>-N). Dimensionarea denitrificatorului are loc cu ajutorul următoarelor formule de calcul [3, pag. 41].

$$I_{org.NO_3-N} = (Q_{A.U.} \cdot C_{NO_3-N.infl}) + (Q_{A.U.} \cdot R_{recirc} \cdot C_{NO_3-N.recirc}), \text{ g/zi} \quad (2.1)$$

$$S_{SSM} = I_{org.NO_3-N} / SALR_{NO_3-N}, \text{ m}^2 \quad (2.2)$$

$$V_{SSM} = S_{SSM} / S_{SSM.spec}, \text{ m}^3 \quad (2.3)$$

$$V_{den} = V_{SSM} / G_{umpl}, \text{ m}^3 \quad (2.4)$$

$$V_{apei} = V_{den} - V_{SSM} \cdot (1 - V_{liber.SSM}), \text{ m}^3 \quad (2.5)$$

$$T_{med} = V_{apei} / Q_{A.U.}, \text{ m}^3 \quad (2.6)$$



unde:

$I_{org.NO_3-N}$  – încărcarea organică a  $NO_3-N$ , g/zi;

$Q_{A.U.}$  – debitul apei uzate,  $m^3/zi$ ,  $m^3/h$ ;

$C_{NO_3-N.infl}$  – concentrația de  $NO_3-N$  la intrarea în stație, mg/l;

$R_{recirc}$  – rata de recirculare a apei uzate, s-a adoptat 3;

$C_{NO_3-N.recirc}$  – concentrația de  $NO_3-N$  recirculat, se adoptă 9 mg/l [3, pag. 40];

$S_{SSM}$  – suprafața suportului solid mobil necesar,  $m^2$ ;

$SALR_{NO_3-N.infl}$  – rata de încărcare a suprafeței suportului solid mobil în tehnologia de epurare MBBR (surface area loading rate - SALR),  $g/m^2-zi$ , pentru denitrificare se adoptă 0,9 la temperatura de  $15^\circ C$  [3, pag. 33, tab. 4]. Determinarea SALR pentru temperatura de  $20^\circ C$  are loc cu ajutorul următoarei formule [9, pag. 12]:

$$SALR_{20^\circ} = SALR_{15^\circ} \cdot \left[ \frac{4-1}{3,2} \right]^{0,7} \cdot 1,08^{20-15}, g/m^2-zi \quad (2.7)$$

$V_{SSM}$  – volumul suportului solid mobil,  $m^3$ ;

$S_{SSM.spec}$  – suprafața specifică a suportului solid mobil într-un  $m^3$ ,  $m^2/m^3$ , se adoptă  $650 m^2/m^3$ ;

$V_{den}$  – volumul denitrificatorului,  $m^3$ ;

$G_{umpl}$  – gradul de umplere a denitrificatorului cu SSM, %, se adoptă 50 %;

$V_{apei}$  – volumul apei în denitrificator,  $m^3$ ;

$V_{liber.SSM}$  – volumul (spațiul) liber între elementele de SSM, %, se adoptă 60 %;

$T_{med}$  – timpul mediu de retenție, h.

$$I_{org.NO_3-N} = (25 \cdot 0) + (25 \cdot 3 \cdot 9) = 675, g/zi$$

$$SALR_{20^\circ} = 0,9 \cdot 0,94^{0,7} \cdot 1,08^5 = 0,9 \cdot 0,95 \cdot 1,47 = 1,25, g/m^2-zi$$

$$S_{SSM} = 675 / 1,25 = 540, m^2$$

$$V_{SSM} = 540 / 650 = 0,83, m^3$$

$$V_{den} = 0,83 / 0,5 = 1,66, \text{ m}^3$$

$$V_{apei} = 1,66 - 0,83 \cdot (1 - 0,6) = 1,32, \text{ m}^3$$

$$T_{med} = 1,32 / 1,04 = 1,26, \text{ m}^3$$

### **Calculul compartimentului nr. 2 (prima zonă aerobă).**

Dimensionarea primului reactor aerob are loc prin intermediul următoarelor formule [3, pag. 26, 40]:

$$I_{org.CBO_5} = (Q_{A.U.} \cdot C_{CBO_5}) - (0,67 \cdot GE_{NO_3-N}), \text{ g/zi} \quad (2.8)$$

$$S_{SSM} = I_{org.CBO_5} / SALR_{CBO_5}, \text{ m}^2 \quad (2.9)$$

Mai departe calculele sunt identice cu formulele 2.3 – 2.6.

unde:

$I_{org.CBO_5}$  – încărcarea organică a  $CBO_5$ , g/zi;

$Q_{A.U.}$  – debitul apei uzate,  $\text{m}^3/\text{zi}$ ;

$C_{CBO_5}$  – concentrația de  $CBO_5$  care trebuie eliminată, mg/l, 286 mg/l;

$GE_{NO_3-N}$  – gradul de epurare a produșilor de azot, s-a adoptat 95;

$SALR_{CBO_5}$  – rata de încărcare a suprafeței suportului solid mobil în tehnologia de epurare MBBR (surface area loading rate - SALR),  $\text{g}/\text{m}^2\text{-zi}$ , pentru sistemele de epurare cu nitrificare se adoptă 6,0 la temperatura de  $15^\circ\text{C}$  și  $CBO_7$  [3, pag. 25, tab. 3]. Determinarea SALR pentru  $CBO_5$  și temperatura de  $20^\circ\text{C}$  are loc cu ajutorul următoarei formule [9, pag. 9]:

$$SALR_{20^\circ} = \frac{SALR_{15^\circ} \cdot 1,06^{20-15}}{1,16}, \text{ g}/\text{m}^2\text{-zi} \quad (2.10)$$

$V_{RA1}$  – volumul reactorului aerob numărul 1,  $\text{m}^3$ .

$$I_{org.CBO_5} = (25 \cdot 286) - (0,67 \cdot 95) = 7150 - 63,65 = 7086,35, \text{ g/zi}$$

$$SALR_{20} = \frac{6 \cdot 1,06^5}{1,16} = \frac{6 \cdot 1,06^5}{1,16} = \frac{8,02}{1,16} = 6,92, \text{ g/m}^2\text{-zi}$$

$$S_{SSM} = 7086,35 / 6,92 = 1024,03, \text{ m}^2$$

$$V_{SSM} = 1024,03 / 650 = 1,57, \text{ m}^3$$

$$V_{RA1} = 1,57 / 0,5 = 3,14, \text{ m}^3$$

$$V_{apei} = 3,14 - 1,57 \cdot (1 - 0,6) = 2,51, \text{ m}^3$$

$$T_{med} = 2,51 / 1,04 = 2,41, \text{ h}$$

### **Calculul compartimentului nr. 3 (a doua zonă aerobă/nitrificatorului).**

Calculul nitrificatorului are loc cu următoarele formule [3, pag. 28]:

$$I_{org.NH_3-N} = (Q_{A.U.} \cdot C_{NH_3-N}), \text{ g/zi} \quad (2.11)$$

$$S_{SSM} = I_{org.NH_3-N} / SALR_{NH_3-N}, \text{ m}^2 \quad (2.12)$$

Pentru nitrificator gradul de umplere cu SSM, s-a adoptat 60 %

unde:

$I_{org.NH_3-N}$  – încărcarea organică a azotului amoniacal, g/zi;

$C_{NH_3-N}$  – concentrația de azot amoniacal care trebuie eliminată, mg/l, 34 mg/l;

$SALR_{NH_3-N}$  – rata de încărcare a suprafeței suportului solid mobil în tehnologia de epurare MBBR (surface area loading rate - SALR), g/m<sup>2</sup>-zi, pentru sistemele de epurare cu nitrificare se adoptă 0,45 pentru temperatura de 15°C [3, pag. 25, tab. 3]. Determinarea SALR pentru NH<sub>3</sub>-N la temperatura de 20°C are loc cu ajutorul următoarei formule [9, pag. 12]:

$$SALR_{20} = SALR_{15} \cdot \left[ \frac{4-1}{3,2} \right]^{0,7} \cdot 1,08^{20-15}, \text{ g/m}^2\text{-zi} \quad (2.13)$$

$V_{nit}$  – volumul nitrificatorului,  $m^3$ .

$$I_{org.NH_3-N} = 25 \cdot 34 = 850, \text{ g/zi}$$

$$SALR_{20^\circ} = 0,45 \cdot \left[ \frac{4-1}{3,2} \right]^{0,7} \cdot 1,08^5 = 0,45 \cdot 0,96 \cdot 1,47 = 0,63, \text{ g/m}^2\text{-zi}$$

$$S_{SSM} = 850 / 0,63 = 1350, \text{ m}^2$$

$$V_{SSM} = 1350 / 650 = 2,07, \text{ m}^3$$

$$V_{nit} = 2,07 / 0,6 = 3,45, \text{ m}^3$$

$$V_{apei} = 3,45 - 2,07 \cdot (1 - 0,6) = 2,62, \text{ m}^3$$

$$T_{med} = 2,62 / 1,04 = 2,51, \text{ m}^3$$

#### **Calculul compartimentului nr. 4 (decantorul lamelar).**

Verificarea capacității decantorului lamelar are loc cu formula 7.40 din NCM G.03.02.2015 „Rețele și instalații exterioare de canalizare” [51, pag. 57].

$$Q_{dec} = 3,6 \cdot k_{set} \cdot H_{bl} \cdot B_{bl} \cdot v_w, \text{ m}^3/\text{h} \quad (2.14)$$

unde:

$k_{set}$  – coeficient de întrebuințare a volumului, s-a adoptat 0,5 din [51, tab. 7.12];

$H_{bl}$  – înălțimea blocului lamelar, m, s-a adoptat 0,3 m;

$B_{bl}$  – lățimea blocului lamelar, m, s-a adoptat 1,0 m;

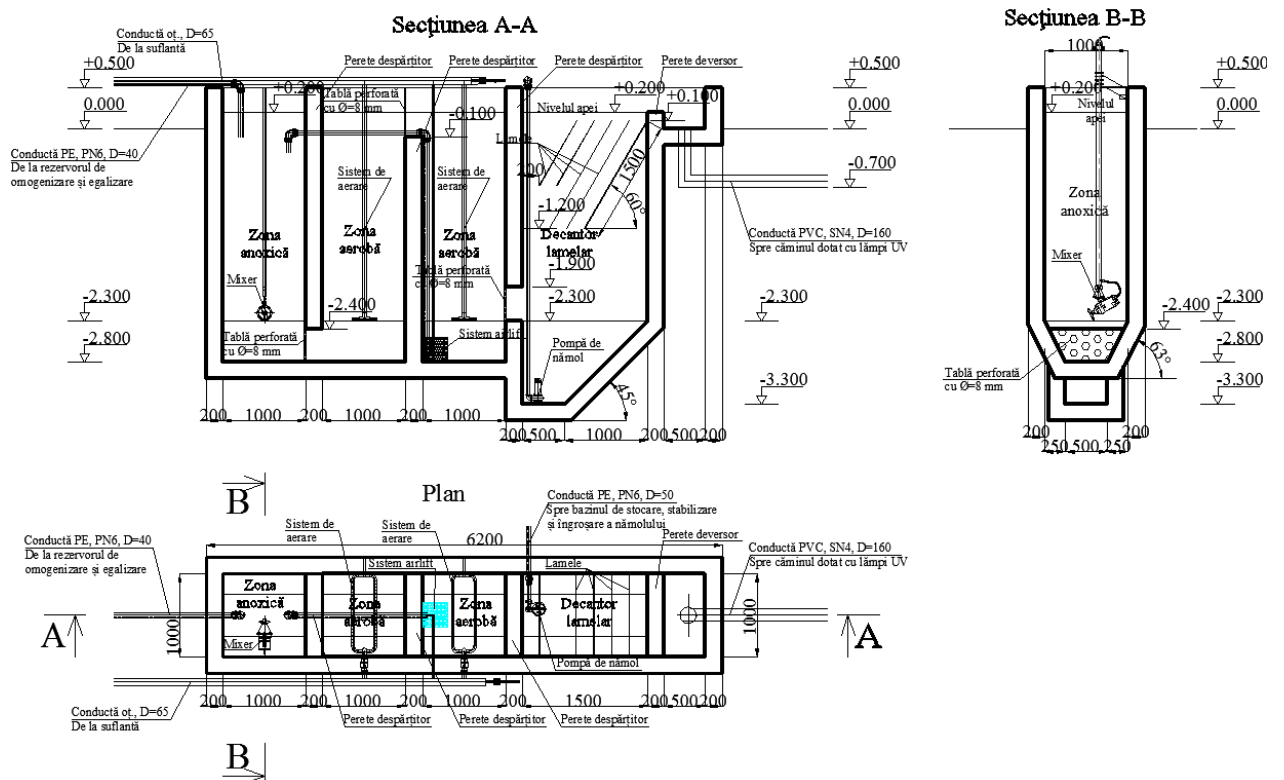
$v_w$  – viteza de mișcare a fluxului de apă, mm/s, s-a adoptat 5 mm/s din [51, tab. 7.12].

$$Q_{dec} = 3,6 \cdot 0,5 \cdot 0,3 \cdot 1,0 \cdot 5 = 2,7, \text{ m}^3/\text{h} > 1,04 \text{ m}^3/\text{h}$$

Rezultatele calculului pentru dimensionarea tuturor compartimentelor din cadrul instalației-pilot sunt prezentate în tabelul 2.2.

**Tabelul 2.2. Rezultatele calculului pentru dimensionarea instalației-pilot de epurare a apelor uzate**

Nr.	Parametrii	Bioreactor anoxic	Bioreactor aerob	Bioreactor aerob	Decantor lamelar
1	Lungime	1.000 mm	1.000 mm	1.000 mm	1.500 mm
2	Lățime	1.000 mm	1.000 mm	1.000 mm	1.000 mm
3	Înălțime	2.800 mm	2.800 mm	2.800 mm	2.800 mm
4	Volum util	2,8 m <sup>3</sup>	2,8 m <sup>3</sup>	2,8 m <sup>3</sup>	3,5 m <sup>3</sup>
5	Timpul de tranzit	~2,0 h	~2,0 h	~2,0 h	~3,0 h



**Fig. 2.2. Instalația-pilot de epurare a apelor uzate propusă pentru cercetare**

### Calculul necesarului de aer.

Calculul necesarului de aer pentru eliminarea CBO-ului are loc conform formulei 7.76 din NCM G.03.02.2015 „Rețele și instalații exterioare de canalizare” [51, pag. 77]. Pentru sistemul de aerare, debitul specific de aer,  $q_{aer}$ , m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> apă uzată, se calculează cu relația:

$$q_{aer} = \frac{q_0 \cdot (CBO_{in} - CBO_{ef})}{K_T \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot (C_a - C_0)}, \text{ m}^3 / \text{ m}^3 \quad (2.15)$$

unde:

$q_0$  – consumul specific de oxigen, mg  $O_2$  pentru 1 mg de CBO eliminat; poate fi adoptat egal cu 1,1 la valori ale  $CBO_{ef} \leq 15-20$  mg/l și cu 0,9 la  $CBO_{ef} > 20$  mg/l [51, pag. 77];

$CBO_{in}$  – concentrația de  $CBO_5$  la intrarea în reactorul biologic;

$$CBO_{in} = CBO_5^{initial} \cdot 0,85, \text{ mg/l} \quad (2.16)$$

$CBO_5^{initial}$  – concentrația de  $CBO_5$  la intrarea în treapta mecanică, mg/l;

0,85 – reprezintă 85 % rămase după treapta mecanică, 15 % sunt eliminate în treapta mecanică;

$CBO_{ef}$  – concentrația de  $CBO_5$  cerută la ieșirea din reactorul biologic, 20 mg/l;

$K_1$  – coeficient care ține cont de tipul aeratoarelor; pentru sisteme cu bule fine se adoptă funcție de raportul dintre aria zonei de aerare și aria oglinzii de apă în bazinul de aerare,  $f_{za}/f_a$ , conform tabelului 7.23 din [51, pag. 77]; pentru sistemul cu bule medii și cel de joasă presiune  $K_1 = 0,75$  [51, pag. 77];

$K_2$  – coeficient care ține cont de adâncimea de amplasare a aeratoarelor,  $h_a$ ; se adoptă conform tabelului 7.24 din [51, pag. 78], prin interpolare pentru  $h_a=2,8$  m,  $K_2$  s-a adoptat egal cu 1,98;

$K_3$  – coeficient care ține cont de calitatea apelor uzate; pentru apele uzate orășenești se adoptă egal cu 0,85 [51, pag. 78];

$K_T$  – coeficient care ține cont de temperatura apei uzate; se determină cu relația:

$$K_T = 1 + 0,02 \cdot (T_{A.U.} - 20) \quad (2.17)$$

unde:

$T_{A.U.}$  – temperatura medie de vară a apelor uzate; se adoptă 22°C;

$C_a$  – gradul de dizolvare a oxigenului din aer în lichidul bazinelor de aerare, mg/l; se determină cu relația:

$$C_a = \left( 1 + \frac{h_a}{20,6} \right) \cdot C_T \quad (2.18)$$

unde:

$C_T$  – limita de dizolvare a oxigenului în apă funcție de temperatura și presiunea atmosferică; se adoptă conform îndrumărilor de specialitate. În calcul s-a adoptat 9,2 conform tabelului 4.5 din [22, pag. 71];

$C_0$  – concentrația medie de oxigen dizolvat în lichidul bazinelor de aerare, se recomandă a fi adoptată egal cu 2 mg/l [51, pag. 78];

$h_a$  – adâncimea amplasării difuzorilor de aer, 2,8 m.

$$C_a = \left(1 + \frac{2,8}{20,6}\right) \cdot 9,2 = 1,1359 \cdot 9,2 = 10,45$$

$$K_T = 1 + 0,02 \cdot (22 - 20) = 1 + 0,04 = 1,04$$

$$CBO_{in} = 360 \cdot 0,85 = 306, \text{ mg/l}$$

$$q_{aer} = \frac{1,1 \cdot (306 - 20)}{1,04 \cdot 0,75 \cdot 1,98 \cdot 0,85 \cdot (10,45 - 2)} = \frac{314,6}{11,09} = 23,36, \text{ m}^3/\text{m}^3$$

Fiind calculat debitul specific de aer necesar,  $q_{aer}$ , se determină debitul de aer necesar pentru a fi insuflat în bazinele de aerare cu relația:

$$Q_{CBO.aer} = q_{aer} \cdot Q_{or.med}^{A.U.}, \text{ m}^3/\text{h} \quad (2.19)$$

unde:

$Q_{or.med}^{A.U.}$  – debitul orar mediu al apelor uzate pe perioada de aerare;  $Q_{or.med}^{A.U.} = 1,04 \text{ m}^3/\text{h}$ .

$$Q_{CBO.aer} = 23,36 \cdot 1,04 = 24,29, \text{ m}^3/\text{h} = 403 \text{ l/min}$$

**Calculul necesarului de aer pentru eliminarea azotului** are loc cu relațiile de mai jos.

$$Q_{N.aer} = SOR \cdot \frac{1}{SOTE} \cdot \frac{1}{C_{SO}}, \text{ m}^3/\text{h} \quad (2.20)$$

$$SOR = Q_{or.med}^{A.U.} \cdot N_{O_2}, O_2/h \quad (2.21)$$

$$N_{O_2} = C_{NH_3} \cdot N_{O_2NH_3}, O_2/h \quad (2.22)$$

$$SOTE = h_1 \cdot H_{med}, \% \quad (2.23)$$

$$C_{SO} = g_{aer} \cdot Pr_{O_2}, O_2/m^3 \quad (2.24)$$

unde:

$Q_{N.aer}$  – debitul de aer necesar pentru eliminarea azotului amoniacal,  $m^3/h$ ;

SOR (Standard Oxygen Requirement) – cerința standard de oxigen,  $O_2/h$ ;

SOTE – este eficiența de transfer a oxigenului în procente și în funcție de adâncimea de amplasare a difuzoarelor de aer;

$C_{SO}$  – este conținutul de oxigen într-un  $m^3$  de aer;

$Q_{or.med}^{A.U.}$  – debitul orar mediu,  $m^3/h$ ;

$N_{O_2}$  – necesarul de oxigen,  $kg O_2/m^3 AU$ ;

$C_{NH_3}$  – concentrația de  $NH_3$ ,  $kg/m^3$ ;

$N_{O_2NH_3}$  – necesarul de oxigen pentru eliminarea unui  $kg$  de  $NH_3$ ,  $kg O_2/1 kg NH_3$ , se adoptă 4,57 [20, pag. 63];

$h_1$  – coeficient de eficiență pentru sistemul cu bule medii, %, pentru sistemul cu bule medii a transferului de oxigen pe 1 m adâncime de insuflare  $h_1 = 5 \%$ ;

$H_{med}$  – adâncimea apei în bioreactoare, m;

$g_{aer}$  – greutatea specifică a aerului,  $g_{aer} = 1,206 kg/m^3$ ;

$Pr_{O_2}$  – procentul de oxigen în aer,  $Pr_{O_2} = 0,232$ .

$$N_{O_2} = 0,036 \cdot 4,57 = 0,164, O_2/h$$

$$SOR = 1,04 \cdot 0,164 = 0,17, O_2/h$$

$$SOTE = 0,05 \times 2,8 = 0,14, \%$$

$$C_{SO} = 1,206 \times 0,232 = 0,28, O_2/m^3$$



$$Q_{N.aer} = 0,17 \cdot \frac{1}{0,14} \cdot \frac{1}{0,28} = 0,17 \cdot 7,14 \cdot 3,57 = 4,33, \text{ m}^3/\text{h} = 72,0 \text{ l/min}$$

Pentru întreg procesul de epurare, consumul de aer pentru eliminarea CBO-ului se însumează cu consumul de aer pentru eliminarea azotului de amoniu. În sumă obținem un debit de aer egal cu 28,62 m<sup>3</sup>/h. Astfel se adoptă 1 suflantă cu Q=30 m<sup>3</sup>/h și P=350 mbar.

### 2.3. Descrierea instalației-pilot de epurare a apelor uzate menajere

Stația de epurare propusă pentru cercetare are două trepte de epurare a apei uzate: mecanică și biologică.

Apa uzată intră gravitațional în stația de pompare principală care are rol și de bazin de omogenizare și egalizare care se află pe aceeași platformă cu instalația-pilot de epurare biologică, uniformizarea debitelor îmbunătățește considerabil eficiența epurării. În stația de pompare este prevăzut un grătar manual unde sunt reținute materiile în suspensie cu dimensiunile mai mari de 5,0 mm. Din stația de pompare/bazinul de omogenizare și egalizare cu ajutorul unei pompe submersibile apa epurată mecanic este pompată spre instalația-pilot de epurare biologică a apelor uzate.

Funcționarea stației de epurare este dirijată de un panou de comandă. Stația pilot de epurare include și o încăpăre unde este instalat panoul de comandă și suflanta de aer. Pentru măsurarea debitului de apă uzată într-un cămin de vizitare a fost montat un debitmetru electromagnetic. În fața acestui debitmetru s-a montat un robinet de închidere-deschidere pentru a putea majora sau micșora debitul de apă uzată care intră în instalația-pilot de epurare biologică a apelor uzate. Pentru măsurarea debitului de aer au fost montate două rotametre, câte unul pentru fiecare bioreactor aerob, în fața acestor rotametre de asemenea au fost instalate robinete de închidere-deschidere pentru manevrarea debitului de aer.

Epurarea biologică în instalația-pilot de epurare a apelor uzate menajere are loc cu ajutorul procedurii hibrid adică atât cu biomasa suspendată (nămol activ) cât și cu biomasa fixată care crește pe piesele/elementele permanente în mișcare (suportul solid mobil). Instalația-pilot de epurare biologică a apelor uzate este alimentată cu apă uzată epurată mecanic cu ajutorul unei pompe submersibile de apă uzată montată în stația de pompare/bazinul de omogenizare și egalizare, care este controlată de doi plutitori de nivel pentru a preveni funcționarea fără apă. Astfel instalația-pilot de epurare biologică este alimentată cu un debit constant (ajutat de

robinetul de închidere-deschidere și de debitmetru electromagnetic) 24 de ore pe zi, în timp ce suflanta alimentează cu aer aproape continuu reactorul biologic.

Procesul de epurare biologică are loc în patru compartimente: bioreactor anoxic – bioreactor aerob – bioreactor aerob – decantor lamelar.

Compartimentul numărul 1 (bioreactorul anoxic). Acesta conține piese/elemente de suport solid mobil (SSM), dar nefiind aerat realizează reducerea anoxică a azotaților (denitrificarea) prin agitare cu un mixer.

Compartimentul numărul 2 (bioreactorul aerob). Acesta conține piese/elemente de suport solid mobil (SSM), însă este aerat cu bule medii cu diametrul de 2 – 3 mm prin conductele de aerare. Aici are loc oxidarea materiei organice biodegradabilă și respectiv eliminarea substanțelor biodegradabile (CBO-ului).

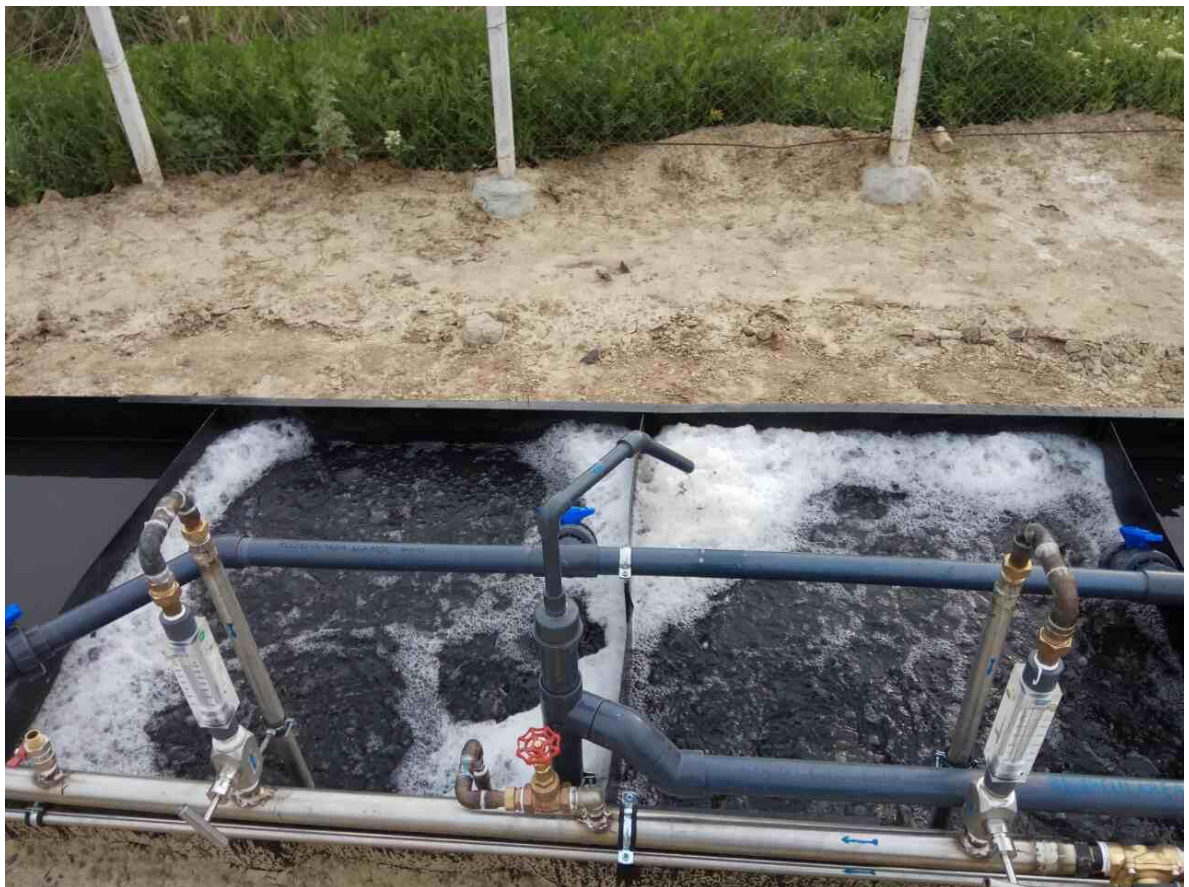
Compartimentul numărul 3 (bioreactorul aerob). Acesta de asemenea conține piese/elemente de suport solid mobil (SSM) și este aerat cu bule medii cu diametrul de 2 – 3 mm prin conductele de aerare. Aici au loc fenomene complexe de nitrificare care conduc la oxidarea azotului amoniacal. De asemenea în compartimentul numărul 3 (bioreactorul aerob) este instalat un sistem de aerlift care recirculează apa cu conținut de nitrați din bioreactorul aerob în bioreactorul anoxic prin conducta de apă recirculată.

În compartimentul numărul 4 (decantorul lamelar), care conține blocul lamelar, se realizează separarea nămolului de apă uzată epurată prin sedimentarea gravitațională. Apa uzată epurată, limpezită, se evacuează din decantorul lamelar (instalația-pilot) prin conducta de apă uzată epurată.

În primele trei compartimente (bioreactorul anoxic, bioreactorul aerob, bioreactorul aerob) se introduc piesele/elementele de fixare (suport solid mobil) a biomasei/biofilmului în volum de 50 și 60 % din volumul bioreactoarelor. Trecerea apei uzate dintr-un compartiment în altul are loc în flux vertical descendent-ascendent. În compartimentul al patrulea (decantorul lamelar) nămolul este separat de apă uzată epurată prin sedimentare și cu ajutorul unui aerlift, este evacuat către un rezervor de stabilizare aerobă a nămolului. Spațiul ocupat este redus, eficiența maximă iar procedeul de epurare este simplu, robust și cu costuri de exploatare minime. Funcționarea automată a întregului proces de epurare este efectuată fără operator permanent. Procesul de epurare biologică are o amorsare rapidă. Unitatea ajunge în maxim 4 – 6 săptămâni la condiții optime de funcționare chiar și în cazul unor întreruperi mai îndelungate în ceea ce privește alimentarea cu apă uzată.



**Fig. 2.3. Instalația-pilot de epurare a apelor uzate asupra căreia au loc experimentele. De la dreapta la stânga: bioreactor anoxic, bioreactor aerob, bioreactor aerob, decantor lamelar**



**Fig. 2.4. Instalația-pilot de epurare a apelor uzate asupra căreia au avut loc experimentele. Bioreactoarele aerobe în funcțiune fără suport solid mobil**



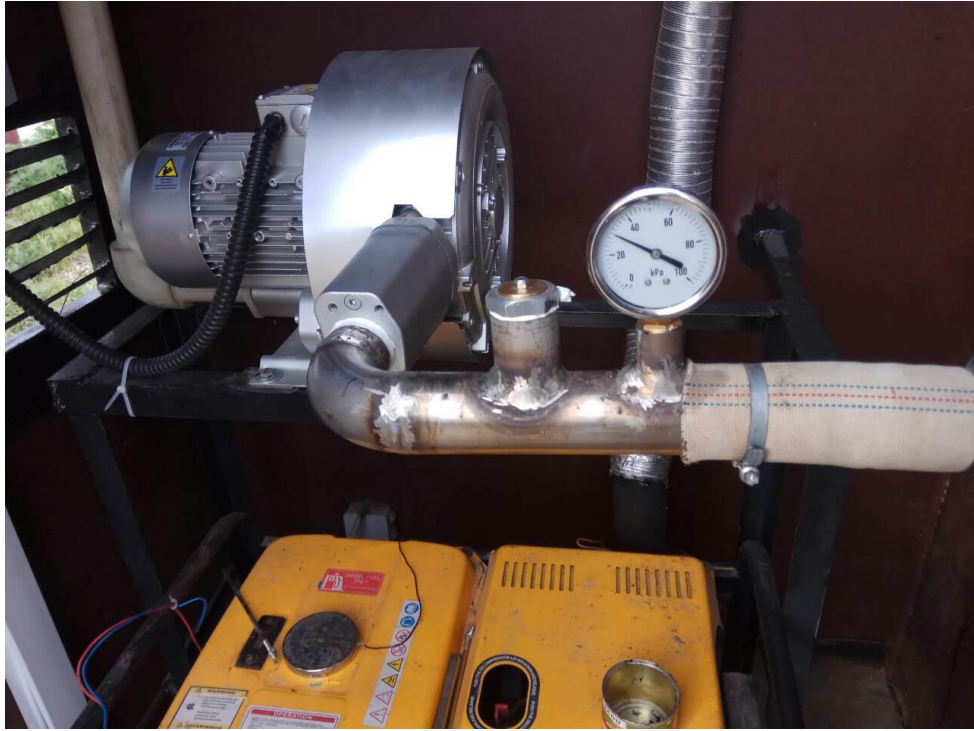


**Fig. 2.5. Instalația-pilot de epurare a apelor uzate asupra căreia au avut loc experimentele. Bioreactoarele aerobe în funcțiune cu suport solid mobil**



**Fig. 2.6. Sistemul de aerare din inox**





**Fig. 2.7. Suflanta de aer**



**Fig. 2.8. Probe de apă la intrarea și la ieșirea în/din instalația-pilot de epurare a apelor uzate**

## **2.4. Algoritmul efectuării experimentelor în instalația-pilot de epurare a apelor uzate menajere**

Elaborarea experimentelor, a avut un șir ordonat de încercări experimentale repetate, prin controlarea unuia sau mai multor parametri inițiali (factori de intrare), cu scopul de a obține cunoștințe noi, care să ducă la validarea economică a modelului. Pentru efectuarea tuturor experimentelor în cadrul instalației-pilot de epurare a apei uzate a fost propus un algoritm special. Descrierea acestui algoritm pentru efectuarea experimentelor este prezentată mai jos.

### ***2.4.1. Regimul de tranziț al apei uzate neepurate brute, în lipsa procesului de epurare (studiul hidrodinamic/hidraulic)***

1. Determinarea/studiul distribuției timpului de retenție în domeniul de variație a debitului pompat (0,5; 1,0; 2,0) m<sup>3</sup>/h.

Condițiile:

I. fără suport solid mobil:

- a. fără aerare și fără recirculare;
- b. cu aerare, fără recirculare;
- c. cu aerare și recirculare la diferite debite ale aerliftului (recircularea apei).

II. cu suport solid mobil:

- a. cu aerare, fără recirculare;
- b. cu aerare și recirculare la diferite debite ale aerliftului (recircularea apei).

2. Studiul componenței apei uzate brute (variația în timpul zilei/lunii).

I. analizele: MS, CBO<sub>5</sub>, CCO, azot de amoniu, fosfor total, temperatura.

### ***2.4.2. Regimul de funcționare a instalației-pilot cu nămol activ***

1. Inocularea cu nămol activ regenerat de la o stație de epurare în funcțiune. Pentru economie de timp, pentru creșterea microflorei să se introducă nămol activ în compartimentele de aerare cu doza de 3 g SU/l;
2. Variația debitului de alimentare de la  $Q_{\min}$  până la  $Q_{\max}$ , cu recircularea completă a nămolului activ decantat în decantorul secundar (în lipsa evacuării nămolului activ în exces);

3. Studiul hidrodinamic al instalației-pilot cu programul anterior de tranzit a apei uzate brute (determinarea distribuției timpilor de retenție);
4. Studiul proprietăților nămolului activ:
  - a. doza/concentrația MS (total, volatil);
  - b. indicele de nămol (Mohlman);
  - c. microscopierea microflorei (fotografierea).
5. Studiul eficienței de epurare obținut la diferite încărcări (masice și volumice), timpi de retenție, doze de nămol activ (prin evacuare NAE).
6. Analize:
  - a. încărcările poluanților (masice, volumice);
  - b. masele nămolului activ (în sistem, evacuate);
  - c. masele nămolului activ în diferite compartimente ale instalației;
  - d. chimice (CCO-Cr, CBO<sub>5</sub>, azot de amoniu (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), fosfor total (P<sub>total</sub>), oxigen dizolvat, pH, temperatura).

#### ***2.4.3. Regimul de funcționare în prezența suportului solid mobil***

1. Caracteristicile fizice ale suportului solid mobil (pieselor/elementelor din plastic);
  - a. densitatea/greutatea specifică;
  - b. suprafața specifică/activă a figurilor;
  - c. starea suprafeței suportului solid (rugoasă, netedă).
2. Creșterea biofilmului (durata, grosimea, umiditatea, indicele de nămol);
3. Variația debitului de alimentare;
4. Studiul hidrodinamic;
5. Studiul eficienței de epurare;
6. Analize;
7. Studiul activității microflorei.

#### ***2.4.4. Regim de funcționare stabilizată de lungă durată a instalației-pilot în sistem cu microfloră hibridă (cu suport solid mobil)***

După elaborarea tuturor experimentelor instalația-pilot de epurare a apei uzate a fost lăsată timp îndelungat să funcționeze într-un regim stabil. Debitul de apă pompat din stația de pompare/bazinul de omogenizare și egalizare a fost de 1,25 m<sup>3</sup>/h. Timpul de funcționare stabilă a

fost în jur de 3 luni. A fost ales acest debit deoarece conform rezultatelor regimului hidrodinamic, timpul de retenție pentru acest debit și rezultatele obținute după epurarea biologică sunt cele mai reușite. Rezultatele obținute sunt prezentate în tabelele de la compartimentele următoare.

## **2.5. Metode analitice de analiză a compoziției apei uzate brute**

Calitatea apei este reprezentată de ansamblul de caracteristici fizice, chimice, biologice și bacteriologice care sunt în relație directă cu scopul pentru care aceasta este utilizată. Datele privind calitatea apei sunt necesare pentru controlul poluării, evaluarea acesteia pe termen lung și impactul asupra mediului.

### **2.5.1. Determinarea temperaturii**

Senzorii pentru măsurarea temperaturii trebuie să funcționeze cu acuratețe, să aibă răspuns liniar care să depindă numai de temperatură. Măsurarea temperaturii se poate face cu termometrul cu mercur, introdus în carcase protectoare de oțel inoxidabil, pentru a preveni coroziunea. Pentru măsurători de mare precizie se utilizează termometre cu termorezistență de platină care au răspuns liniar pe un domeniu larg de temperatură (-15° – +140°C). Dacă precizia de măsurare acceptată este 0,1°C este suficientă utilizarea unui termocuplu [10, pag. 39].

### **2.5.2. Determinarea turbidității**

Turbiditatea apei este cauzată de compuși insolubili și coloidalii de origine minerală (minerale argiloase, oxizi de siliciu, oxizi hidratați și hidroxizi de fier și magneziu, etc.), sau de origine organică (coloizi organici, bacterii, plancton, etc.).

Determinarea turbidității conform SM SR EN ISO 7027:2012. Calitatea apei. Determinarea turbidității, are loc prin mai multe metode, unele din ele sunt:

- metoda etalon cu suspensie de caolin;
- metoda etalon cu suspensie de formazină.

#### **Metoda etalon cu suspensie de caolin**

Turbiditatea se determină prin măsurarea intensității unui flux luminos difuzat la trecerea prin proba de apă, sau prin măsurarea atenuării intensității unui flux luminos incident la trecerea



prin proba de apă, în ambele cazuri, cu valoarea obținută se citește turbiditatea pe o curbă de etalonare trasată utilizând suspensie de caolin ca etalon. Turbiditatea se exprimă în grade, un grad de turbiditate reprezentând turbiditatea produsă de 1 mg caolin într-un litru de apă distilată. Determinarea se face spectrofotometric [10, pag. 39].

### **2.5.3. Determinarea materiilor solide în suspensie**

Determinarea concentrației de materii solide în suspensie are loc cu ajutorul SM SR EN 872:2012. Calitatea apei. Determinarea conținutului de materii în suspensie. Metoda prin filtrare pe filtre din fibre de sticlă.

Conținutul total de materii solide aflate în suspensie (MSS) reprezintă cantitatea de substanțe în suspensie prezente într-un volum măsurat de apă, filtrat și uscat la temperatura de 103° – 105°C. Materiile solide în suspensie (MSS) prezente în apele uzate pot fi compuși organici sau anorganici, solizi, sau lichide nemiscibile cu apa ca de exemplu uleiurile și grăsimile. MSS prezente în apele uzate pot fi determinate filtrând un volum de apă determinant printr-un filtru din fibră de sticlă, urmată de dizolvarea sărurilor prezente prin spălarea filtrului cu apă distilată. Solidele din filtru se usucă la o temperatură de 100° – 105°C. Rezultatul obținut reprezintă cantitatea de materie uscată raportată la volumul de apă inițial utilizat [10, pag. 64].

MSS exprimate în mg/l prezente în apa analizată se vor determina cu următoarea relație:

$$MSS = \frac{m_1 - m}{V} \cdot 10^6 \quad (2.25)$$

unde:

m – masa filtrului, g;

m<sub>1</sub> – masa filtrului și masa solidelor din proba de apă rămasă pe filtru după filtrare, g;

V – volumul probei filtrate, ml.

### **2.5.4. Determinarea consumului chimic de oxigen**

Consumul chimic de oxigen (CCO) se apreciază prin determinarea cantității de oxigen care reacționează cu substanțele organice dintr-un volum de apă. În funcție de natura agentului oxidant există 2 metode de exprimare a CCO [10, pag. 67]:

- substanțe organice oxidabile determinate cu decromat de potasiu (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) – CCO-Cr;

- substanțe organice oxidabile determinate cu permanganat de potasiu ( $\text{KMnO}_4$ ) – CCO-Mn.

### **Determinarea consumului chimic de oxigen prin metoda cu $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$**

Determinarea consumului chimic de oxigen prin metoda cu  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  are loc în conformitate cu standardul SM SR ISO 6060:2006. Calitatea apei. Determinarea consumului chimic de oxigen.

Se fierbe pe o durată determinată, o probă de apă în amestec cu sulfat de mercur (II), cu o cantitate cunoscută de decromat de potasiu, în prezența unui catalizator de argint puternic acidulat cu acid sulfuric, astfel încât o parte din decromatul de potasiu este redus de materiile oxidabile prezente. Se titrează excesul de decromat de potasiu cu o soluție de sulfat de fier (II) și amoniu. Se calculează valoarea CCO-Cr plecând de la cantitatea de decromat de potasiu redus. Se diluează 10 ml soluție etalon de referință de decromat de potasiu la circa 100 ml cu acid sulfuric 4 mol/l. Se titrează cu soluție de sulfat de fier (II) și amoniu în prezența a 2 – 3 picături de soluție indicator de feroină.

Concentrația cantității de substanță,  $c$ , (mol/l), este calculată cu formula:

$$c = \frac{10 \cdot 0,04 \cdot 6}{V} = \frac{2,4}{V} \quad (2.26)$$

unde:

$V$  – volumul soluției de sulfat de fier (II) și amoniu consumat la titrare, ml.

Principiul de calcul: dacă pentru proba de analizat s-au utilizat  $V_1$ , ml, de soluție de sare și pentru proba martor  $V_2$  atunci CCO-Cr (exprimat în mg  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ /l) se calculează cu formula:

$$\text{CCO} - \text{Cr} = \frac{(V_1 - V_2) \cdot c \cdot 49,0352 \cdot 1000}{50} \quad (2.27)$$

### **2.5.5. Determinarea consumului biochimic de oxigen**

Consumul biochimic de oxigen (CBO) reprezintă cantitatea de oxigen consumată de microorganisme într-un interval de timp, pentru descompunerea biochimică a substanțelor organice conținute în apă și se determină cu ajutorul SM SR EN 1899-1:2012. Calitatea apei.

Determinarea consumului biochimic de oxigen după n zile ( $CBO_n$ ). Partea 1: Metoda prin diluare și însămânțare cu aport de alitiouree. Timpul standard stabilit este de 5 zile la temperatura de 20°C.

Principiul metodei: se determină oxigenul consumat timp de 5 zile de către microorganismele din apă prin diferența dintre cantitatea de oxigen dizolvat găsită în proba de apă imediat și după 5 zile de la recoltare [10, pag. 73]. Concentrația de  $CBO_5$ , exprimat în mg/l de oxigen (mg/l O), pentru proba de apă nediluată se determină cu relația:

$$\text{mg/l O} = m_1 - m_2 \quad (2.28)$$

unde:

$m_1$  – cantitatea în mg oxigen/l existent în proba de apă în momentul recoltării;

$m_2$  – cantitatea în mg oxigen/l găsit în proba de după 5 zile.

#### **2.5.6. Determinarea fosforului total prin metoda spectrofotometrică**

Compușii de fosfor fac parte uzual din compoziția detergenților și a îngrășămintelor. Concentrația compușilor de fosfor se stabilește conform SM SR EN ISO 6878:2011. Calitatea apei. Determinarea fosforului. Metoda spectrofotometrică cu molibdad de amoniu.

Principiul metodei: fosforul organic și fosfații prezenți în apele uzate sunt mai întâi transformați în orto-fosfat. Orto-fosfatul reacționează cu molibdatul de amoniu și formează acid molibdat-fosforic care în prezența unui reducător (de exemplu: acid ascorbic) formează un complex albastru de molibden [10, pag. 75].

#### **2.5.7. Determinarea azotului de amoniu**

Azotul de amoniu este un poluant uzual în apele uzate din agricultură, ca urmare a utilizării îngrășămintelor chimice.

Pentru determinarea concentrației azotului de amoniu pe teritoriul Republicii Moldova se folosește metoda spectrometrică manuală descrisă în SM SR ISO 7150-1:2005. Calitatea apei. Determinarea conținutului de amoniu. Partea 1: Metoda spectrometrică manuală.

Alte metode sunt: metoda distilării, cu concentrații de azot amoniacal de la 0,1 – 50 mg/l; cu fotometrie ulterioară, pentru concentrații de la 0,1 mg/l până la 5 mg/l; cu titrare ulterioară, pentru concentrații de la 5 mg/l până la 50 mg/l. Proba de apă se tamponează la pH=7,4, pentru a

inhiba hidroliza compușilor organici cu azot. La acest pH se distilă azotul de amoniu, într-o soluție cu acid sulfuric [10, pag. 78].

Cantitatea de azot de amoniu exprimată în mg/l se determină cu relația:

$$N = \frac{14,0067 \cdot c_N \cdot (V - V_1)}{V_2} \cdot 1000, \text{ mg N/l} \quad (2.29)$$

unde:

14,0067 – cantitatea de azot de amoniu (N), în mg, corespunzătoare la 1 cm<sup>3</sup> soluție de hidroxid de sodiu;

c<sub>N</sub> – normalitatea soluției de hidroxid de sodiu folosit la titrare;

V – volumul soluției de NaOH folosit la titrarea probei martor, cm<sup>3</sup>;

V<sub>1</sub> – volumul soluției de NaOH folosit la titrarea probei de apă, cm<sup>3</sup>;

V<sub>2</sub> – volumul inițial al probei de apă luat pentru determinare, cm<sup>3</sup>.

$$\text{Azot amoniacal (N-NH}_3\text{)} = m \cdot 1,2158 \text{ mg N/l} \quad (2.30)$$

$$\text{Azot de amoniu (N-NH}_4^+\text{)} = m \cdot 1,2878 \text{ mg N/l} \quad (2.31)$$

unde:

m – conținutul de azot amoniacal, în mg/l, în proba de apă analizată.

## 2.6. Metode de măsurare a eficienței epurării

Mărimea stației de epurare se stabilește prin compararea valorii gradului de epurare determinat cu valorile care exprimă eficiența stațiilor de epurare. Prin grad de epurare necesar (GE) se înțelege procentul de reducere, a unei părți din elementele poluante din apele uzate, astfel încât, partea rămasă în apa epurată să reprezinte valoarea limită admisibilă.

$$GE = \frac{C_i - C_f}{C_i} \cdot 100, \% \quad (2.32)$$

unde:

$C_i$  – reprezintă valoarea concentrației inițiale a indicatorului fizic, chimic din apele uzate, pentru care se determină gradul de epurare, (mg/l);

$C_f$  – reprezintă valoarea concentrației finale a aceluiași indicator după epurare, (mg/l).

## 2.7. Studiul componenței apei uzate menajere brute

În cadrul prezentei teze s-a făcut un studiu privind concentrațiile apei uzate brute pe o perioadă de un an de zile. Rezultatele obținute sunt prezentate în tabelele de mai jos.

**Tabelul 2.3. Variația componenței apei uzate brute în timpul zilei – luna ianuarie**

Nr.	Parametrii	Ora 8 <sup>00</sup>	Ora 10 <sup>00</sup>	Ora 12 <sup>00</sup>	Ora 14 <sup>00</sup>	Ora 16 <sup>00</sup>	Media
1	MS, mg/l	83,6	75,6	118,8	82,4	121,6	96,4
2	CCO-Cr, mg/l O	237,7	222,3	228,0	247,3	266,9	240,4
3	CBO <sub>5</sub> , mg/l O	112,0	100,5	108,0	119,0	122,5	112,4
4	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , mg/l N	40,4	56,3	53,8	42,7	48,8	46,4
5	P <sub>total</sub> , mg/l	6,2	5,7	3,8	5,7	5,4	5,3
6	Temperatura, °C	16,2	16,3	16,3	16,4	16,3	16,3

**Tabelul 2.4. Variația componenței apei uzate brute în timpul zilei – luna februarie**

Nr.	Parametrii	Ora 8 <sup>00</sup>	Ora 10 <sup>00</sup>	Ora 12 <sup>00</sup>	Ora 14 <sup>00</sup>	Ora 16 <sup>00</sup>	Media
1	MS, mg/l	78,2	70,0	108,4	64,4	129,6	90,1
2	CCO-Cr, mg/l O	259,2	322,6	412,8	316,8	374,4	337,1
3	CBO <sub>5</sub> , mg/l O	121,0	160,3	205,0	140,1	184,2	162,1
4	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , mg/l N	21,5	70,6	71,1	68,5	65,7	59,4
5	P <sub>total</sub> , mg/l	3,0	13,7	10,4	12,8	10,6	10,1
6	Temperatura, °C	16,2	16,2	16,3	16,3	16,3	16,3

**Tabelul 2.5. Variația componenței apei uzate brute în timpul zilei – luna martie**

Nr.	Parametrii	Ora 8 <sup>00</sup>	Ora 10 <sup>00</sup>	Ora 12 <sup>00</sup>	Ora 14 <sup>00</sup>	Ora 16 <sup>00</sup>	Media
1	MS, mg/l	214,4	179,6	821,2	95,2	66,4	275,3
2	CCO-Cr, mg/l O	465,4	391,8	1258,9	264,2	198,0	515,6
3	CBO <sub>5</sub> , mg/l O	241,7	185,0	590,8	111,0	88,6	243,4
4	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , mg/l N	27,5	29,7	47,5	33,7	34,7	34,6
5	P <sub>total</sub> , mg/l	6,2	6,8	7,7	6,5	6,8	6,8
6	Temperatura, °C	17,2	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3

**Tabelul 2.6. Variația componenței apei uzate brute în timpul zilei – luna aprilie**

Nr.	Parametrii	Ora 8 <sup>00</sup>	Ora 10 <sup>00</sup>	Ora 12 <sup>00</sup>	Ora 14 <sup>00</sup>	Ora 16 <sup>00</sup>	Media
1	MS, mg/l	128,0	548,0	1025,0	224,0	176,0	420,2
2	CCO-Cr, mg/l O	299,5	958,2	1360,0	498,0	539,0	730,9
3	CBO <sub>5</sub> , mg/l O	102,5	412,0	515,8	205,0	248,3	296,7
4	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , mg/l N	14,4	21,7	36,6	41,4	44,6	31,7
5	P <sub>total</sub> , mg/l	9,0	9,9	13,5	12,2	12,9	11,5
6	Temperatura, °C	18,3	18,3	18,4	18,4	18,5	18,4

**Tabelul 2.7. Variația componenței apei uzate brute în timpul zilei – luna mai**

Nr.	Parametrii	Ora 8 <sup>00</sup>	Ora 10 <sup>00</sup>	Ora 12 <sup>00</sup>	Ora 14 <sup>00</sup>	Ora 16 <sup>00</sup>	Media
1	MS, mg/l	371,2	295,2	130,8	136,0	82,8	223,2
2	CCO-Cr, mg/l O	493,4	566,4	368,9	326,5	343,8	419,8
3	CBO <sub>5</sub> , mg/l O	200,5	265,0	160,2	163,0	150,9	187,9
4	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , mg/l N	33,2	40,3	45,3	45,0	39,1	40,6
5	P <sub>total</sub> , mg/l	10,8	11,9	12,6	10,2	13,0	11,7
6	Temperatura, °C	18,5	18,5	18,6	18,7	18,7	18,6

**Tabelul 2.8. Variația componenței apei uzate brute în timpul zilei – luna iunie**

Nr.	Parametrii	Ora 8 <sup>00</sup>	Ora 10 <sup>00</sup>	Ora 12 <sup>00</sup>	Ora 14 <sup>00</sup>	Ora 16 <sup>00</sup>	Media
1	MS, mg/l	78,8	81,2	42,8	74,8	91,6	73,8
2	CCO-Cr, mg/l O	324,5	315,9	199,3	369,5	394,1	320,7
3	CBO <sub>5</sub> , mg/l O	160,5	156,5	86,3	177,9	191,7	154,6
4	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , mg/l N	37,3	32,4	34,5	35,0	34,6	34,8
5	P <sub>total</sub> , mg/l	8,5	7,4	7,7	7,6	8,9	8,0
6	Temperatura, °C	19,7	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8

**Tabelul 2.9. Variația componenței apei uzate brute în timpul zilei – luna iulie**

Nr.	Parametrii	Ora 8 <sup>00</sup>	Ora 10 <sup>00</sup>	Ora 12 <sup>00</sup>	Ora 14 <sup>00</sup>	Ora 16 <sup>00</sup>	Media
1	MS, mg/l	86,8	85,6	124,0	115,2	96,4	101,6
2	CCO-Cr, mg/l O	213,8	217,0	265,0	244,0	274,0	242,8
3	CBO <sub>5</sub> , mg/l O	99,0	91,2	127,1	130,0	129,3	115,3
4	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , mg/l N	6,0	5,3	10,0	12,0	9,5	8,6
5	P <sub>total</sub> , mg/l	2,6	3,5	7,0	7,2	3,0	4,7
6	Temperatura, °C	19,8	19,9	19,9	19,9	19,9	19,9

**Tabelul 2.10. Variația componenței apei uzate brute în timpul zilei – luna august**

Nr.	Parametrii	Ora 8 <sup>00</sup>	Ora 10 <sup>00</sup>	Ora 12 <sup>00</sup>	Ora 14 <sup>00</sup>	Ora 16 <sup>00</sup>	Media
1	MS, mg/l	60,4	31,6	86,8	181,2	90,8	90,2
2	CCO-Cr, mg/l O	218,3	122,6	266,2	458,1	272,0	267,4
3	CBO <sub>5</sub> , mg/l O	108,5	58,4	125,0	219,0	131,2	128,4
4	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , mg/l N	33,0	33,5	43,3	60,2	88,2	51,6
5	P <sub>total</sub> , mg/l	4,0	4,6	4,3	6,5	8,8	5,6
6	Temperatura, °C	19,1	19,1	19,2	19,2	19,2	19,2

**Tabelul 2.11. Variația componenței apei uzate brute în timpul zilei – luna septembrie**

Nr.	Parametrii	Ora 8 <sup>00</sup>	Ora 10 <sup>00</sup>	Ora 12 <sup>00</sup>	Ora 14 <sup>00</sup>	Ora 16 <sup>00</sup>	Media
1	MS, mg/l	23,2	122,0	192,6	1172,8	286,0	359,3
2	CCO-Cr, mg/l O	85,2	211,2	420,5	1653,1	587,8	591,5
3	CBO <sub>5</sub> , mg/l O	30,0	92,8	197,0	807,9	225,0	270,5
4	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , mg/l N	11,8	10,4	9,0	16,2	20,7	13,6
5	P <sub>total</sub> , mg/l	3,3	3,5	3,0	5,6	6,0	4,3
6	Temperatura, °C	19,3	19,3	19,3	19,4	19,3	19,3

**Tabelul 2.12. Variația componenței apei uzate brute în timpul zilei – luna octombrie**

Nr.	Parametrii	Ora 8 <sup>00</sup>	Ora 10 <sup>00</sup>	Ora 12 <sup>00</sup>	Ora 14 <sup>00</sup>	Ora 16 <sup>00</sup>	Media
1	MS, mg/l	204,8	280,0	303,2	886,0	784,8	491,8
2	CCO-Cr, mg/l O	376,1	415,0	652,0	910,0	520,5	574,7
3	CBO <sub>5</sub> , mg/l O	169,3	205,5	306,4	416,9	241,7	268,0
4	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , mg/l N	31,9	40,7	38,9	39,0	47,9	39,7
5	P <sub>total</sub> , mg/l	14,0	15,8	15,0	15,5	14,1	14,9
6	Temperatura, °C	18,6	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7

**Tabelul 2.13. Variația componenței apei uzate brute în timpul zilei – luna noiembrie**

Nr.	Parametrii	Ora 8 <sup>00</sup>	Ora 10 <sup>00</sup>	Ora 12 <sup>00</sup>	Ora 14 <sup>00</sup>	Ora 16 <sup>00</sup>	Media
1	MS, mg/l	320,5	358,9	400,3	408,9	488,9	395,5
2	CCO-Cr, mg/l O	230,6	289,5	325,6	585,6	602,1	406,7
3	CBO <sub>5</sub> , mg/l O	198,9	255,5	320,6	455,6	440,5	334,2
4	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , mg/l N	8,0	20,0	22,5	26,5	34,6	22,3
5	P <sub>total</sub> , mg/l	8,5	9,4	8,9	10,2	8,2	9,0
6	Temperatura, °C	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5

**Tabelul 2.14. Variația componenței apei uzate brute în timpul zilei – luna decembrie**

Nr.	Parametrii	Ora 8 <sup>00</sup>	Ora 10 <sup>00</sup>	Ora 12 <sup>00</sup>	Ora 14 <sup>00</sup>	Ora 16 <sup>00</sup>	Media
1	MS, mg/l	310,2	209,9	355,6	426,9	440,8	348,7
2	CCO-Cr, mg/l O	228,5	420,9	510,9	499,5	480,3	428,0
3	CBO <sub>5</sub> , mg/l O	100,2	320,9	415,8	420,6	455,9	342,7
4	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , mg/l N	13,8	12,5	41,9	36,7	22,5	25,5
5	P <sub>total</sub> , mg/l	12,3	12,8	10,5	14,5	12,0	12,4
6	Temperatura, °C	17,6	17,8	17,8	17,9	17,9	17,8

## 2.8. Concluzii

După elaborarea capitolului 2 putem concluziona:

- prin utilizarea elementelor de suport solid mobil, bulele de aer care intră în contact cu apa supusă epurării va avea o mișcare haotică, dispersându-se în bule mai mărunte, astfel timpul de contact cu apa uzată și cu microflora va fi mult mai mare ceea ce va duce la micșorarea debitului de aer;
- schema tehnologică a instalației-pilot pentru efectuarea experimentelor a fost adoptată (anoxic-aerob-aerob) pentru eliminarea atât a substanțelor degradabile bio-chimic (CBO-ului) cât și a compușilor azotului și parțial ai fosforului;
- piesele de suport solid mobil pot dezvolta o suprafață mare de creștere a biomasei (peliculei biologice) până la 1.000 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>;
- concentrațiile apei uzate brute variază pe timpul zilei și pe timpul anului.

### 3. STUDIUL REGIMULUI HIDRODINAMIC ÎN REACTOARELE BIOLOGICE

#### 3.1. Tipuri de reactoare biologice

Epurarea apelor uzate implică procese fizice, chimice și biologice care se realizează în diferite recipiente cum ar fi rezervoare închise sau deschise cunoscute în general drept reactoare biologice. Tipurile de reactoare biologice care sunt disponibile și aplicațiile acestora sunt descrise mai jos. Analiza caracteristicilor hidraulice (hidrodinamice) și a performanțelor reactoarelor utilizate pentru epurarea biologică a apelor uzate este descrisă în subcapitolele ce urmează.

Principalele tipuri de reactoare biologice utilizate pentru epurarea apelor uzate, prezentate în figura 3.1, sunt:

- reactorul discontinuu/bioreactor secvențial ciclic (BSC) - Sequencing Batch Reactor (SBR);
- reactorul cu amestec complet (cunoscut în literatura de inginerie chimică ca și reactor cu agitare/mixare cu flux continuu) (RAC);
- reactorul tip piston (cunoscut și ca reactor cu flux tubular) (RTP);
- reactoarele cu amestec complet în serie;
- reactorul cu umplură biologică fixă (filtru biologic);
- reactorul cu umplură biologică în mișcare/fluidizată - Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR).

Descrierile succinte ale acestor reactoare sunt prezentate mai jos.

Reactorul discontinuu (SBR). În reactorul discontinuu (vezi figura 3.1.a,) debitul de apă uzată nu intră în reactor și nici nu iese din reactor în flux continuu (debitul de apă uzată intră, apoi are loc procesul de epurare, apoi sedimentarea și apoi este evacuat și apoi ciclul se repetă). Conținutul fluidului (apă uzată - aer) în reactorul biologic se amestecă complet. Reactorul discontinuu este adesea folosit pentru amestecarea substanțelor chimice sau pentru diluarea substanțelor chimice concentrate.

Reactorul cu amestec complet (RAC). Prin amestecul complet (vezi figura 3.1.b), presupune că amestecarea completă are loc instantaneu și uniform în tot reactorul biologic, pe măsură ce particulele de fluid intră în reactor. Amestecarea completă poate fi realizată în reactoare circulare sau dreptunghiulare în plan dacă conținutul reactorului este redistribuit



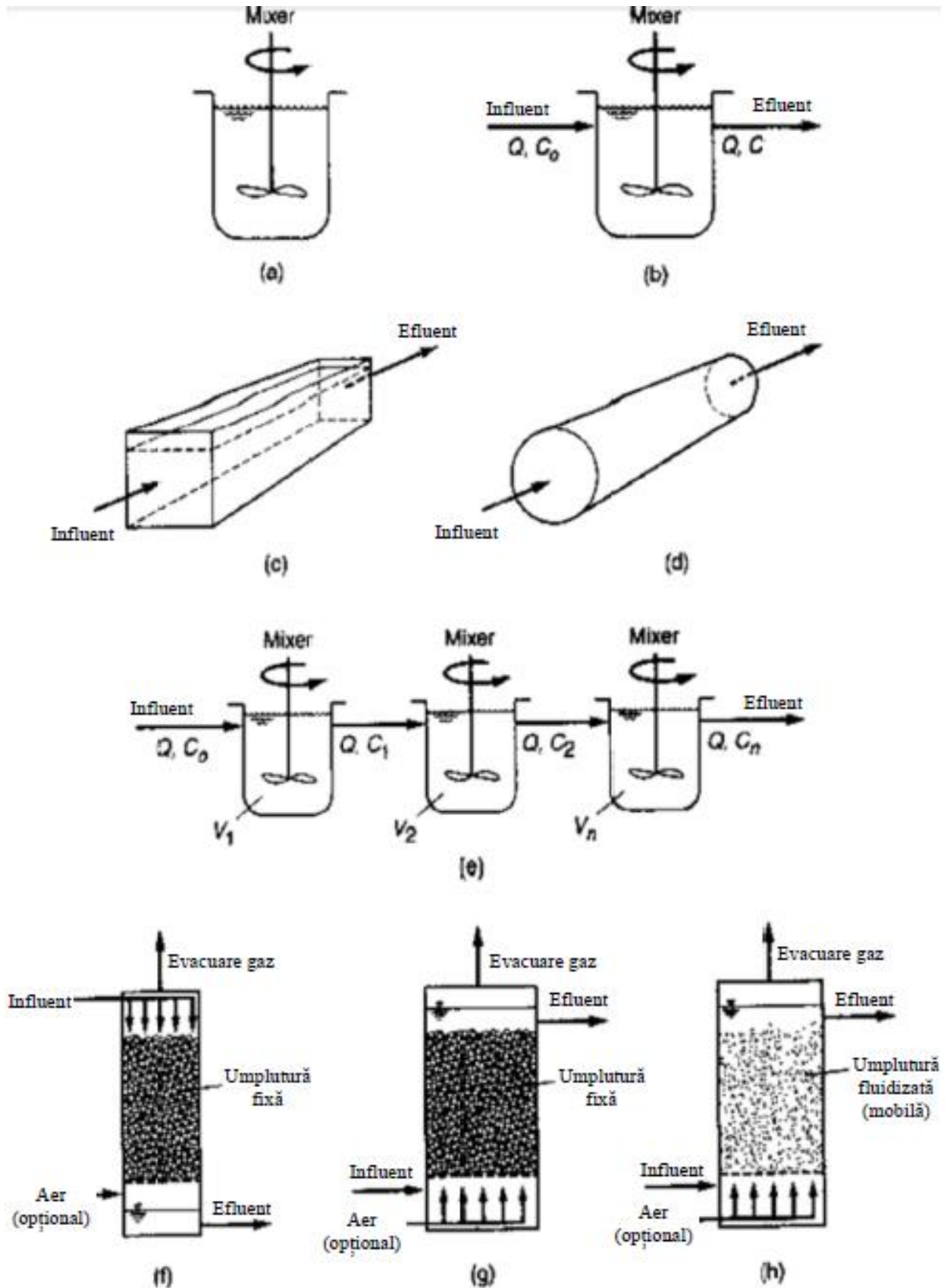
uniform și continuu. Timpul efectiv necesar pentru a obține condiții de amestecare completă depinde de forma geometrică a reactorului.

Reactorul tip piston (RTP). Particulele lichide trec prin reactorul biologic cu foarte puțină amestecare longitudinală sau în genere fără amestecare longitudinală și ies din reactorul biologic în aceeași ordine în care au intrat. Particulele își păstrează identitatea și rămân în reactor timp îndelungat la timpul de retenție teoretic. Acest tip de mișcare a fluidului în reactorul biologic se atinge în reactoare lungi deschise cu un raport mare de lungime față de lățime în care dispersia longitudinală este minimă sau absentă (vezi figura 3.1.c) sau reactoare tubulare închise (conducte, vezi figura 3.1.d).

Reactoarele cu amestec complet în serie. Seria reactoarelor cu amestec complet (vezi figura 3.1.e) este utilizată pentru a modela regimul de curgere care există între modelele de curgere hidraulică, ideale, corespunzătoare reactoarelor cu amestec complet și reactoarelor tip piston. Dacă seria de reactoare este compusă dintr-un singur reactor, predomină regimul de amestec complet. În cazul în care seria de reactoare constă dintr-un număr infinit de reactoare, predomină regimul de curgere tip piston sau curgere hidraulică ideală.

Reactorul cu umplură biologică fixă (filtru biologic). Reactorul cu umplură biologică fixă este umplut cu un suport solid confecționat din diferite tipuri de material, cum ar fi rocă, zgură, ceramică, sau acum mai frecvent, plastic. În ceea ce privește mișcarea apei, reactorul cu umplură biologică fixă poate fi cu regimul de curgere descendent (de sus în jos), sau cu regimul de curgere ascendent (de jos în sus). Alimentarea cu apă uzată poate fi continuă sau intermitentă (la reactoarele cu regimul de curgere descendent). Umplutura biologică în reactoarele cu umplură biologică fixă poate fi din același material (vezi figura 3.1.f) sau poate fi aranjat în mai multe straturi fabricate din diferite tipuri de material. Un reactor cu umplură biologică fixă cu regimul de curgere ascendent anaerobic (fără oxigen) este prezentat în figura 3.1.g.

Reactorul cu umplură biologică în mișcare/fluidizată – tip hibrid (MBBR). Acest reactor în mare parte este similar cu reactorul cu umplură biologică fixă, doar că umplutura biologică este permanent în mișcare (vezi figura 3.1.h). Această mișcare permanentă provine de la sistemul de aerare a reactoarelor aerobe și/sau de la un agitator la reactoarele anoxice [20, pag. 218-220].



**Fig. 3.1. Tipurile de reactoare biologice folosite pentru epurarea apelor uzate.**  
 (a) reactor discontinuu, (b) reactor cu amestec complet, (c, d) reactoare tip piston,  
 (e) reactoare cu amestec complet în serie, (f, g) reactoare cu umplutură biologică fixă  
 (filtre biologice), (h) reactor cu umplutură biologică în mișcare [20, pag. 219]

Principalele aplicații ale tipurilor de reactoare utilizate pentru epurarea biologică a apelor uzate sunt prezentate în tabelul 3.1. Factorii principali care trebuie luați în considerare în selectarea/alegerea tipului de reactor sau a reactoarelor care trebuie utilizate în procesul de epurare includ:

- tipul apei uzate care urmează să fie epurată (menajeră sau industrială);
- tipul reacției (heterogenă sau enterogenă);
- cinetica reacției care predomină în procesul de epurare;
- cerințele de performanță a procesului de epurare (eficiența epurării);
- condițiile locale de mediu.

În practică, costurile de construcție și costurile de exploatare și întreținere afectează de asemenea alegerea tipului reactorului biologic. Deoarece importanța relativă a acestor factori variază în funcție de fiecare aplicație, fiecare factor trebuie să fie luat în considerare separat atunci când se selectează tipul de reactor pentru epurarea biologică [20, pag. 220].

**Tabelul 3.1. Aplicațiile principale ale tipurilor de reactoare utilizate pentru epurarea apelor uzate**

Nr.	Tipul reactorului	Domeniul de aplicare în epurarea apelor uzate
1	Discontinuu (BSC)	Reactor cu nămol activ pentru epurarea biologică a apei uzate, amestecarea întregii soluții apă uzată - aer
2	Cu amestec complet (RAC)	Stabilizarea nămolului provenit de la epurarea apei uzate. Bazine de aerare cu nămol activ
3	Cu amestec complet cu recirculare (RAC)	Epurarea biologică a apei uzate cu ajutorul nămolului activ
4	Tip piston (RTP)	Bazinele de contact cu clor, sistemele de epurare naturală
5	Tip piston cu recirculare (RTP)	Epurarea biologică a apei uzate cu ajutorul nămolului activ, sistem de epurare acvatic (creșterea peștilor)
6	Cu amestec complet în serie	Epurarea apei în sistemele de lagune, utilizat pentru simularea reactoarelor cu flux neideal
7	Cu umplutură biologică fixă	Unități de epurare biologică umplutură imersată, sisteme de epurare naturală
8	Cu umplutură biologică în mișcare (MBBR)	Reactoare cu umplutură fluidizată (în mișcare) pentru epurarea biologică aerobă și anaerobă

### 3.2. Reactoare biologice cu mișcare ideală a fluxului de apă uzată menajeră

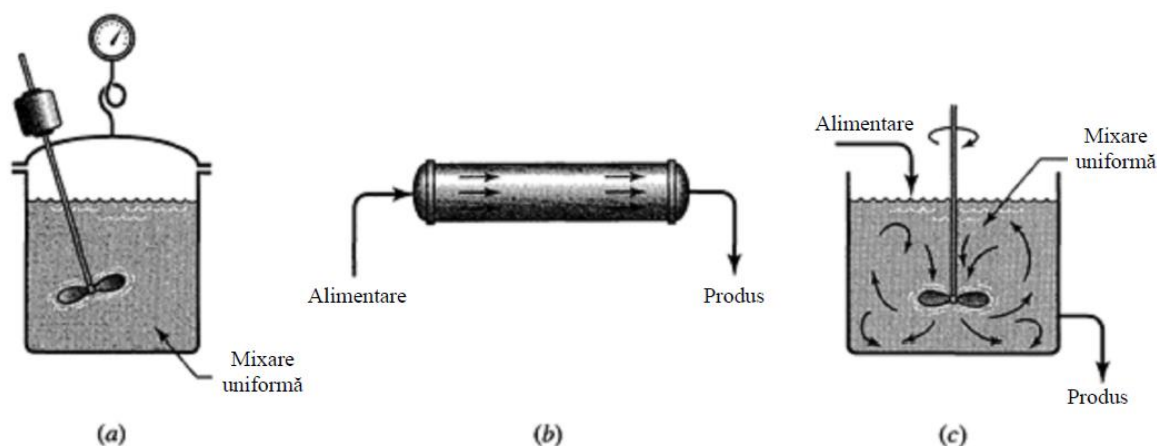
În acest subcapitol sunt prezentate ecuațiile de performanță pentru un singur fluid care reacționează în cele trei reactoare ideale prezentate în figura 3.2. Aceste reacții poartă denumirea de reacții omogene. În reactorul discontinuu (secvențial ciclic) sau BSC, conform figurii 3.2.a reactanții (în cazul nostru apă uzată – aer) sunt introduși inițial într-un reactor, sunt bine

amestecați/agitați și apoi sunt lăsați să reacționeze pentru o anumită perioadă. Amestecul rezultat este apoi evacuat. Aceasta este o operație instabilă în care compoziția se schimbă odată cu timpul, totuși, în orice moment, compoziția (apă uzată - aer) în întregul reactor este uniformă.

Primul dintre cele două reactoare ideale cu flux continuu (tip piston), cu flux neamestecat este prezentat în figura 3.2.b. Acest tip de reactor poartă denumirea de reactor tip piston sau RTP, și respectiv la acest tip de reactor, fluxul este tip piston sau neamestecat. Se caracterizează prin faptul că fluxul de fluid prin reactor este ordonat fără un element de depășire sau amestecare a fluidului cu orice alt element. De fapt, poate exista o mică amestecare laterală a fluidului într-un reactor tip piston, cu toate acestea, nu trebuie să existe nicio amestecare sau difuzie de-a lungul traseului de curgere. Condiția necesară și suficientă pentru curgerea fluidului în reactorul tip piston este ca timpul de retenție din reactor să fie același pentru toate elementele de fluid.

Celălalt reactor cu curgere ideală este numit reactor cu amestecare completă (RAC), numele său sugerează că este un reactor în care conținutul este bine agitat/amestecat și uniform pe tot parcursul fluidului, de la intrare până la ieșire. Astfel, fluidul de ieșire din acest reactor are aceeași compoziție ca și fluidul din interiorul reactorului. Reactorul cu așa tip de mișcare a fluidului poartă denumirea de reactor cu amestecare completă sau RAC. Un astfel de reactor este prezentat în figura 3.2.c.

Aceste tipuri de reactoare ideale sunt relativ ușor de exploatat. În plus, ele reprezintă, de obicei, cel mai bun mod de contactare a reactanților - indiferent de operație. Din aceste motive, se încercă deseori să se proiecteze reactoare reale, astfel încât fluxurile (mișcarea fluidului) lor să se apropie de aceste idealuri [5, pag. 91].



**Fig. 3.2. Trei tipuri de reactoare ideale. (a) reactor discontinuu sau BSC, (b) reactor tip piston – RTP, (c) reactor cu amestecare completă – RAC [5, pag. 90]**

### 3.2.1. Reactorul discontinuu (bioreactor secvențial ciclic - BSC)

Efectuați un bilanț material pentru orice componentă A. Pentru un astfel de calcul, de obicei, se selectează componenta de limitare. În reactorul discontinuu, deoarece compoziția este uniformă pe tot parcursul oricărei perioade de timp, putem face calculele pentru întregul reactor. Constatând că nici un fluid nu intră sau nu părăsește amestecul de reacție în timpul reacției pentru componenta A, primim:

$$\text{intrarea} = \text{ieșirea} + \text{dispariția (evaporarea)} + \text{acumularea} \quad (3.1)$$

sau

$$\left( \begin{array}{l} \text{rata de pierdere a reactantului} \\ \text{A din reactor datorită} \\ \text{reacției chimice} \end{array} \right) = - \left( \begin{array}{l} \text{rata de acumulare a reactantului} \\ \text{A în interiorul reactorului} \end{array} \right) \quad (3.2)$$

Conform formulei 3.2, primim:

$$\left( \begin{array}{l} \text{dispariția reactantului} \\ \text{A prin reacție,} \\ \text{moli/timp} \end{array} \right) = (-r_A) \cdot V = \quad (3.3)$$

$$= \left( \frac{\text{moli lui A care intră în reacție}}{(\text{timpul}) \cdot (\text{volumul fluidului})} \right) \cdot (\text{volumul fluidului})$$

unde:

$r_A$  – rata de dispariție a lui A;

V – volumul reactorului, m<sup>3</sup>.

$$\left( \begin{array}{l} \text{acumularea} \\ \text{reactantului A,} \\ \text{moli/timp} \end{array} \right) = \frac{d \cdot N_A}{dt} = \frac{d [N_{A0} \cdot (1 - X_A)]}{dt} = -N_{A0} \cdot \frac{dX_A}{dt} \quad (3.4)$$

unde:

$N_A$  – molii componentului A;  
 $N_{A0}$  – molii componentului A la intrare;  
 $t$  – timpul, s;  
 $X_A$  – fracțiunea A convertită, conversia.

Prin înlocuirea acestor doi termeni în formula 3.2, obținem:

$$(-r_A) \cdot V = N_{A0} \cdot \frac{dX_A}{dt} \quad (3.5)$$

Prin rearanjare și integrare obținem:

$$t = N_{A0} \int_0^{X_A} \frac{dX_A}{(-r_A) \cdot V} \quad (3.6)$$

Aceasta este ecuația generală care arată timpul necesar pentru realizarea unei conversii  $X_A$ , pentru funcționarea izotermică sau neizotermică. Volumul fluidului de reacție și viteza de reacție rămân sub semnul integrat, sau în general, ambele se schimbă odată cu reacția.

Pentru toate reacțiile în care volumul amestecului de reacție se modifică în mod proporțional cu conversia, cum ar fi reacțiile în fază gazoasă unică cu modificări de densitate semnificative, formula 3.6 devine:

$$t = N_{A0} \int_0^{X_A} \frac{dX_A}{(-r_A) \cdot V_0 \cdot (1 + \varepsilon_A \cdot X_A)} = C_{A0} \int_0^{X_A} \frac{dX_A}{(-r_A) \cdot (1 + \varepsilon_A \cdot X_A)} \quad (3.7)$$

unde:

$\varepsilon_A$  – factor de expansiune, schimbarea volumului fracțional la conversia completă a lui A;  
 $V_0$  – volumul reactorului la intrare, m<sup>3</sup>;  
 $C_{A0}$  – concentrația lui A la intrare, mol/m<sup>3</sup>.

Aceste ecuații sunt aplicabile atât operațiilor izoterme, cât și celor neizoterme. Pentru acestea din urmă trebuie cunoscută variația vitezei cu temperatura și variația temperaturii cu conversia înainte de a fi posibilă soluția.

Așa cum timpul de reacție,  $t$ , este măsurarea performanței naturale pentru un reactor discontinuu (BSC), astfel încât timpul-spațial și viteza-spațială sunt măsurările de performanță corespunzătoare ale reactoarelor. Acești termeni sunt definiți după cum urmează:

Timpul-spațial:

$$\tau = \frac{1}{s} = \left( \begin{array}{l} \text{timpul necesar procesării} \\ \text{unui volum al reactorului} \\ \text{măsurat în condiții speciale} \end{array} \right) = [\text{timpul}] \quad (3.8)$$

Viteza-spațială:

$$s = \frac{1}{\tau} = \left( \begin{array}{l} \text{numărul de volume a reactorului} \\ \text{de alimentare în condiții specifice} \\ \text{care pot fi tratate în timp unitar} \end{array} \right) = [\text{timpul}^{-1}] \quad (3.9)$$

Astfel, o viteză-spațială de  $5 \text{ h}^{-1}$  înseamnă că cinci volume (volumul reactorului) de alimentare a reactorului în condiții specificate sunt introduse în reactor pe oră. Un timp-spațial de 2 minute înseamnă că, la fiecare 2 minute, un volum de alimentare al reactorului în condiții specificate este tratat de către reactor [5, pag. 91 - 93].

### 3.2.2. Reactorul cu amestecare completă (RAC)

Ecuția de performanță pentru reactorul cu amestecare completă face o contabilizare a unei componente date într-un element de volum al sistemului. Prin selectarea reactantului, A, pentru examinare, se obține:

$$\text{intrare} = \text{ieșire} + \text{dispariția prin reacție} + \text{acumularea} \quad (3.10)$$

Acumularea este egală cu 0.

Dacă  $F_{A0} = v \cdot C_{A0}$  este viteza de alimentare molară a componentei A (mol/s) în reactor, și  $v$  – debitul volumetric ( $\text{m}^3/\text{s}$ ), apoi luând în considerare reactorul ca întreg, avem:

$$\text{Intrarea lui A, moli/timp} = F_{A0} \cdot (1 - X_{A0}) = F_A \quad (3.11)$$

$$\text{Iesirea lui A, moli/timp} = F_A = F_{A0} \cdot (1 - X_A) \quad (3.12)$$

$$\left( \begin{array}{l} \text{disparitia lui A} \\ \text{prin reactie, moli/timp} \end{array} \right) = (-r_A) \cdot V = \quad (3.13)$$

$$\left( \frac{\text{molii lui A care reactioneaza}}{(\text{timpul}) \cdot (\text{volumul fluidului})} \right) \cdot \left( \begin{array}{l} \text{volumul} \\ \text{reactorului} \end{array} \right)$$

Introducerea acestor trei termeni în formula 3.10, obținem:

$$F_{A0} \cdot X_A = (-r_A) \cdot V \quad (3.14)$$

care după rearanjament devine:

$$\frac{V}{F_{A0}} = \frac{\tau}{C_{A0}} = \frac{\Delta X_A}{-r_A} = \frac{X_A}{-r_A} \quad (3.15)$$

sau

$$\tau = \frac{1}{s} = \frac{V}{v_0} = \frac{V \cdot C_{A0}}{F_{A0}} = \frac{C_{A0} \cdot X_A}{-r_A} \quad (3.16)$$

unde  $X_A$  și  $r_A$  sunt măsurate în condiții de ieșire, care sunt aceleași cu condițiile din interiorul reactorului.

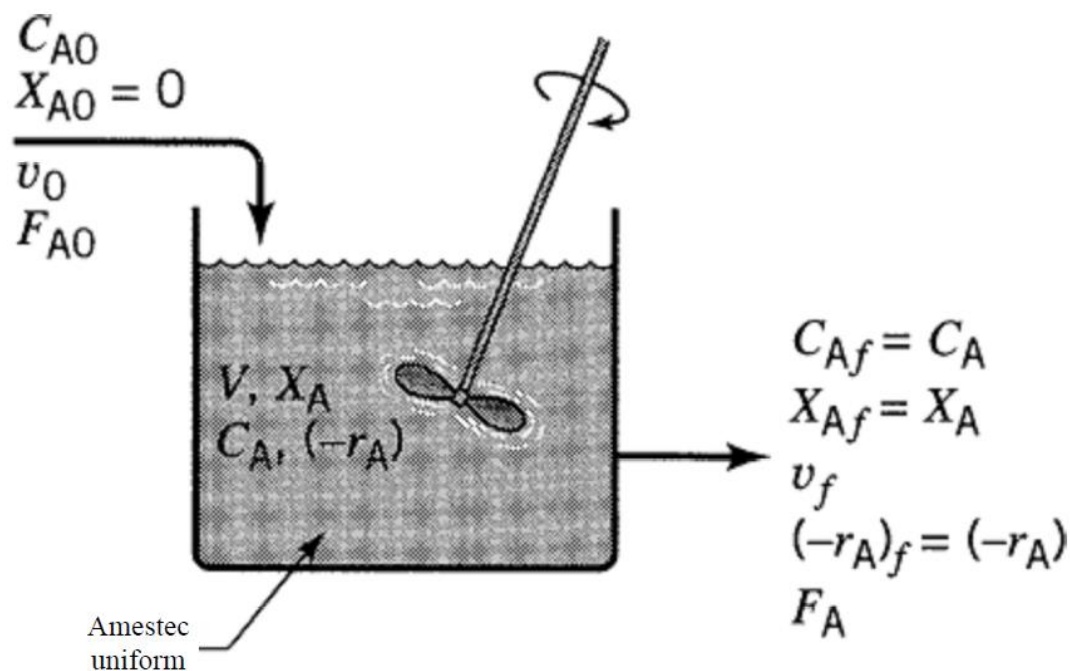
Mai general, dacă fluxul pe care se bazează conversia, cu indicele 0, pătrunde în reactor parțial transformat, cu indicele  $i$ , și se lasă în condițiile date de indicele  $f$ , obținem [5, pag. 94]:

$$\frac{V}{F_{A0}} = \frac{\Delta X_A}{(-r_A)_f} = \frac{X_{Af} - X_{Ai}}{(-r_A)_f} \quad (3.17)$$



sau

$$\tau = \frac{V \cdot C_{A0}}{F_{A0}} = \frac{C_{A0} \cdot (X_{Af} - X_{Ai})}{(-r_A)_f} \quad (3.18)$$



**Fig. 3.3. Prezentarea reactorului cu amestecare completă [10, pag. 94]**

### 3.2.3. Reactorul tip piston (RTP)

Într-un reactor cu mișcare a fluidului tip piston, compoziția fluidului variază de la un punct la altul de-a lungul unei căi de curgere, în consecință, balanța materialului pentru o componentă de reacție trebuie făcută pentru un element diferențial de volum  $dV$ . Astfel, pentru reactantul A, primim:

$$\text{intrare} = \text{ieșire} + \text{dispariția prin reacție} + \text{acumularea} \quad (3.19)$$

Referindu-ne la figura 3.4, vedem pentru volumul  $dV$  că:

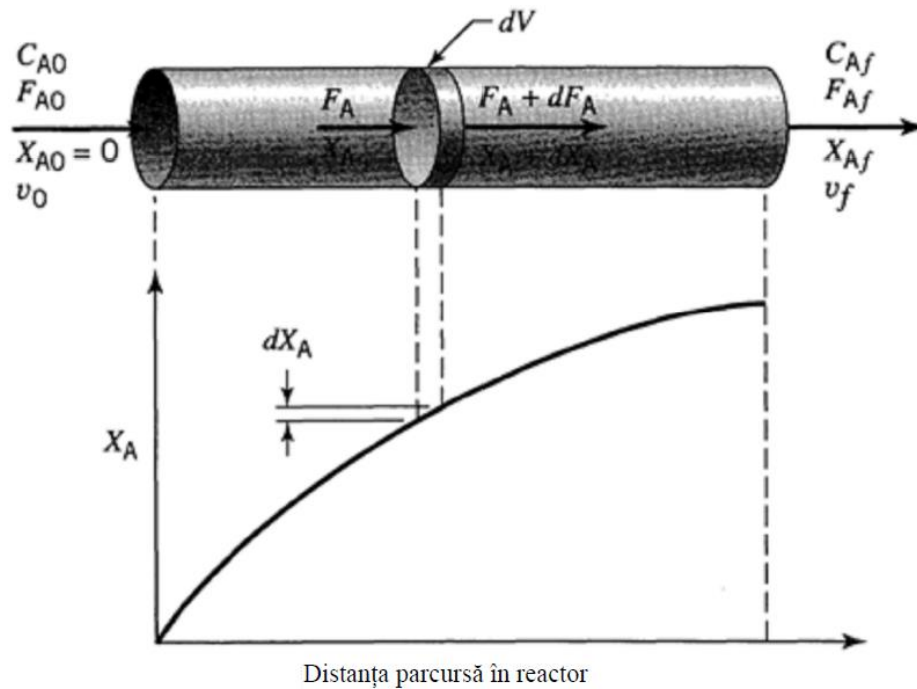
$$\text{intrarea A, moli/timp} = F_A \quad (3.20)$$

$$\text{ieșirea A, moli/timp} = F_A + dF_A \quad (3.21)$$

$$\text{disparitia A prin reactie, moli/timp} = (-r_A) \cdot dV = \quad (3.22)$$

$$= \left( \frac{\text{(reactia A moli)}}{\text{(timp)} \cdot \text{(volumul fluidului)}} \right) \cdot \left( \text{volumul elementului} \right)$$

acumularea = 0



**Fig. 3.4. Notarea reactorului tip piston [5, pag. 101]**

Introducerea acestor trei termeni în formula 3.19, obținem:

$$F_A = (F_A + dF_A) + (-r_A) \cdot dV \quad (3.23)$$

De aici primim:

$$dF_A = d[F_{A0} \cdot (1 - X_A)] = -F_{A0} \cdot dX_A \quad (3.24)$$

Prin înlocuire obținem:

$$F_{A0} \cdot dX_A = (-r_A) \cdot dV \quad (3.25)$$

Aceasta este ecuația care reprezintă A în secțiunea diferențială a reactorului cu volumul  $dV$ . Pentru întreg reactorul, expresia 3.25 trebuie integrată. Acum  $F_{A0}$ , rata de alimentare este constantă, dar  $r_A$ , este cu siguranță dependentă de concentrația sau conversia materialelor. După gruparea termenilor, obținem:

$$\int_0^v \frac{dV}{F_{A0}} = \int_0^{X_{Af}} \frac{dX_A}{-r_A \cdot A} \quad (3.26)$$

Prin urmare primim:

$$\frac{V}{F_{A0}} = \frac{\tau}{C_{A0}} = \int_0^{X_{Af}} \frac{dX_A}{-r_A} \quad (3.27)$$

Sau:

$$\tau = \frac{V}{v_0} = \frac{V \cdot C_{A0}}{F_{A0}} = C_{A0} \int_0^{X_{Af}} \frac{dX_A}{-r_A} \quad (3.28)$$

Formula 3.28 permite determinarea mărimii reactorului pentru o rată de alimentare dată și conversia necesară. A se compara formula 3.18 și 3.28.

Diferența este că în reactorul tip piston  $r_A$  variază, în timp ce în reactorul cu amestecare completă  $r_A$  este constant.

Ca o expresie mai generală pentru reactoarele tip piston, dacă alimentarea pe care se bazează conversia, indicele 0, pătrunde în reactor parțial transformat, indicele  $i$ , și lasă la o conversie desemnată de indicele  $f$ , avem [5, pag. 101 - 102]:

$$\frac{V}{F_{A0}} = \int_{X_{Ai}}^{X_{Af}} \frac{dX_A}{-r_A} \quad (3.29)$$

sau

$$\tau = C_{A0} \int_{X_{Ai}}^{X_{Af}} \frac{dX_A}{-r_A} \quad (3.30)$$

### 3.3. Bazele mișcării neideale a fluxului de apă uzată menajeră

Până acum, am descris modele de reactoare cu mișcarea ideală a fluidului, reactor tip piston și reactor cu amestecare completă. Acestea pot da un comportament foarte diferit (dimensiunea reactorului, distribuția produselor). Suntem cunoscuți cu aceste tipuri de mișcare a fluidului și în majoritatea cazurilor, încercăm să proiectăm reactoare biologice pentru a aborda unul sau altul pentru că:

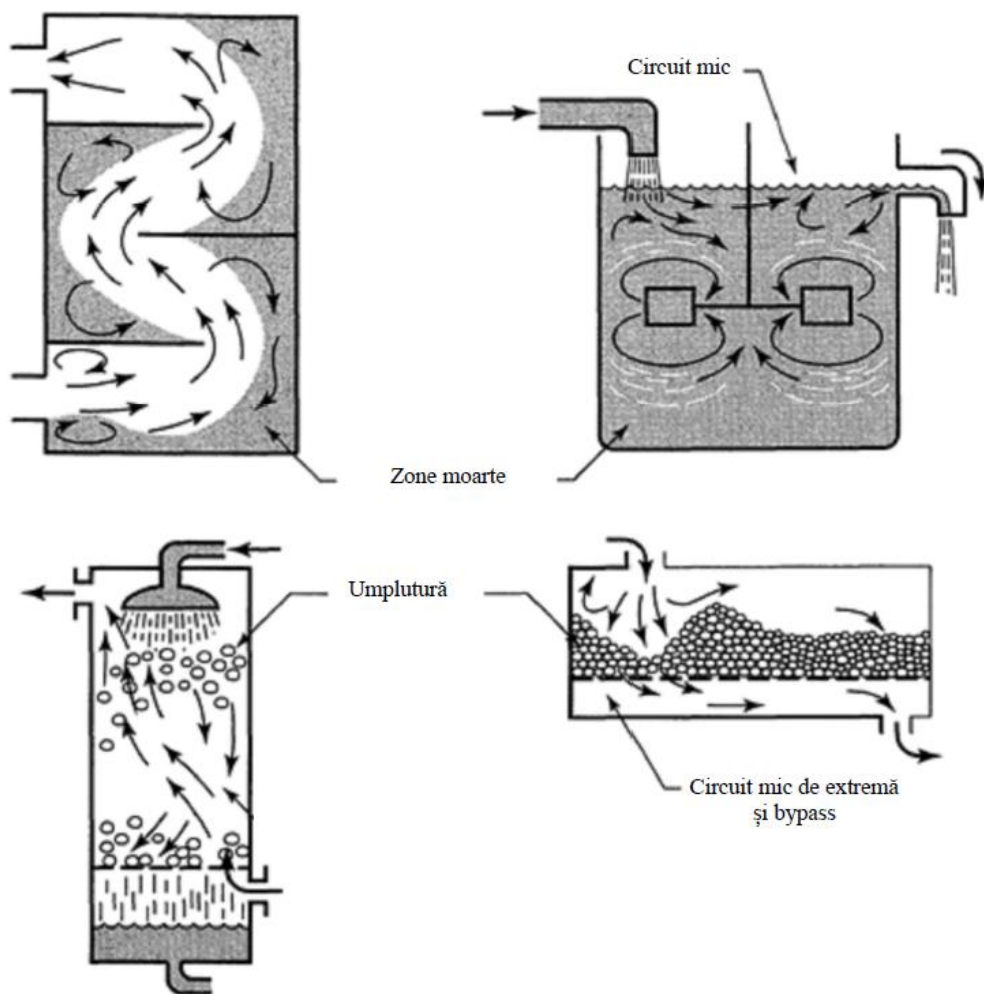
- unul sau altul este deseori optim, indiferent de ce proiectăm;
- aceste două modele sunt simple de exploatat [5, pag. 257].

În general, trei factori oarecum interdependenți formează contactul sau modelul de mișcare a fluidului în interiorul reactorului:

- distribuția timpului de retenție (DTR) a fluidului (apă uzată - aer) care curge prin reactor;
- starea de agregare a fluidului care curge, tendința sa de a se aglomera și pentru că un grup de molecule să se miște împreună;
- maturitatea și întârzierea amestecării fluidului în reactor [5, pag. 257].

#### 3.3.1. Distribuția timpului de retenție (DTR)

Abaterile de la cele două modele cu flux de mișcare ideal pot fi cauzate de amestecarea haotică a fluidului, prin recircularea fluidului sau prin crearea de regiuni stătătoare (zone moarte) în reactor. Figura 3.5 prezintă acest lucru. În toate tipurile de echipamente de proces, cum ar fi schimbătoarele de căldură, coloane ambalate și reactoare, acest tip de flux trebuie evitat deoarece reduce întotdeauna performanța/randamentul unității. Dacă se cunoaște cu exactitate ce se întâmplă în interiorul reactorului, dacă avem o hartă completă a distribuției vitezei pentru fluidul din reactor, atunci ar trebui, în principiu, să putem prezice comportamentul (mișcarea) fluidului în interiorul reactorului. Este necesar de atenționat că această abordare este practic impracticabilă, chiar și în era informatică de astăzi. Lăsând la o parte acest obiectiv de cunoaștere completă a fluxului fluidului în interiorul reactorului, vedem totuși ce este de fapt necesar să știm. În multe cazuri, într-adevăr nu trebuie să știm foarte mult, pur și simplu cât timp moleculele individuale rămân în reactor, sau mai precis, distribuția timpilor de retenție a fluidului care curge prin reactor. Aceste informații pot fi determinate cu ușurință și direct printr-o metodă de cercetare pe scară largă, numit experimentul de impuls – răspuns [5, pag. 258].



**Fig. 3.5. Modele de fluxuri neideale care pot exista în echipamentul de proces [5, pag. 258]**

### 3.3.2. Curba $E$ , distribuția vârstei fluidului, distribuția timpului de retenție (DTR)

Este evident că elementele de fluid care iau diferite căi prin reactor pot avea diferite durate de timp pentru a trece prin reactor. Distribuția acestor timpuri pentru fluxul de fluid care părăsește reactorul se numește distribuția vârstelor de ieșire,  $E$ , sau distribuția timpului de retenție (DTR, Residence time distribution - RTD) a fluidului.  $E$  are unitatea de măsură  $\text{timp}^{-1}$ .

Se consideră convenabil să se reprezinte DTR în așa fel încât zona de sub curbă să fie unitatea, sau:

$$\int_0^{\infty} E dt = 1 \quad (3.31)$$

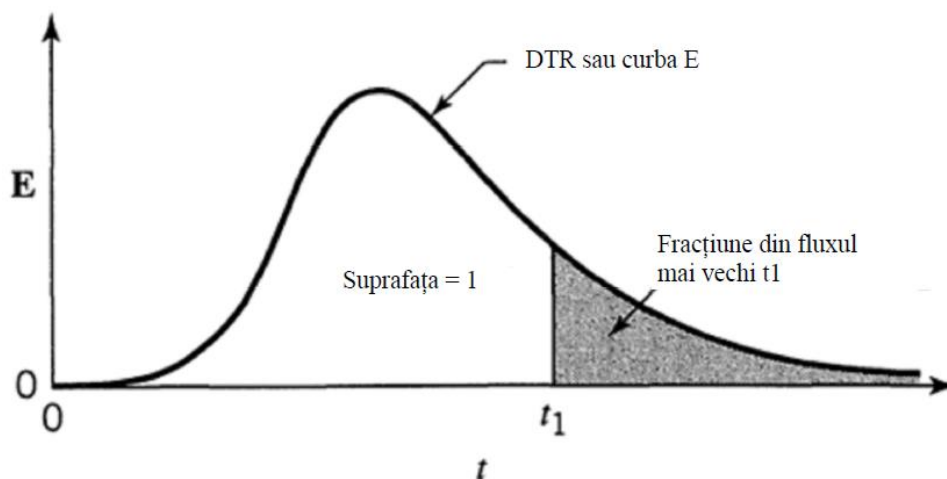
Această procedură se numește normalizarea distribuției, iar figura 3.6 arată acest lucru. Se observă o restricție asupra curbei **E** - fluidul intră și părăsește reactorul o singură dată. Acest lucru înseamnă că nu trebuie să existe zone de curgere sau difuzie sau de scurgere la intrarea sau la ieșirea fluidului din reactor. Această condiție se numește limita reactorului închis. În cazul în care elementul de fluid poate traversa granița reactorului mai mult de o dată numim această condiție limită a reactorului deschis. Cu această reprezentare, fracțiunea fluxului de ieșire de vârstă între  $t$  și  $t + dt$ , este  $E dt$ , fracțiunea mai mică decât vârsta  $t_1$ , este:

$$\int_0^{t_1} E dt \quad (3.32)$$

în timp ce fracțiunea de material mai vechi decât  $t_1$ , reprezintă suprafața umbrită în figura 3.6:

$$\int_{t_1}^{\infty} E dt = 1 - \int_0^{t_1} E dt \quad (3.33)$$

Curba **E** este distribuția necesară pentru a ține cont de fluxul neideal.

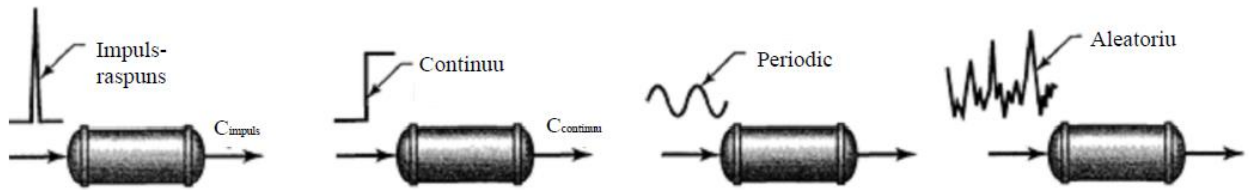


**Fig. 3.6. Curba de distribuție a vârstei de ieșire **E** pentru fluidul care curge printr-un reactor, denumită și distribuția timpului de retenție sau DTR [5, pag. 261]**

### 3.3.3. Metode experimentale (non-chimice) pentru obținerea curbei **E**

Cea mai simplă și cea mai directă modalitate de a obține curba **E** se folosește un traser fizic sau nereactiv. Pentru scopuri speciale, în orice caz, am putea folosi un traser reactiv. Figura 3.7 prezintă unele dintre acestea. Deoarece experimentele cu introducerea traserului prin impuls -

răspuns și experimentele cu introducerea a traserului continuu sunt mai ușor de interpretat decât cel periodic și aleatoriu, se i-a în considerare doar aceste două tipuri de experimente.



**Fig. 3.7. Diferite modalități de studiere a fluxului în reactor. De la stânga la dreapta, introducerea a traserului cu: impuls-răspuns, continuu, periodic, aleatoriu [10, pag. 261]**

Mai jos se va descrie cele două metode experimentale principale pentru obținerea curbei **E**. Apoi se va arăta cum se găsește comportamentul reactorului cunoscând curba **E**.

**Experimentul cu introducerea traserului impuls-răspuns.**

Să găsim curba **E** pentru un reactor cu volumul  $V$ ,  $m^3$ , prin care curge fluidul cu debitul volumetric  $v$ ,  $m^3/s$ . Pentru aceasta se introduce instantaneu unități  $M$  de traser (kg sau moli) în fluidul care intră în reactor, și se înregistrează timpul de concentrare al traserului care părăsește reactorul. Aceasta este curba  $C_{\text{impuls}}$ . Din balanța materială a reactorului găsim:

suprafața de sub curba  $C_{\text{impuls}}$ :

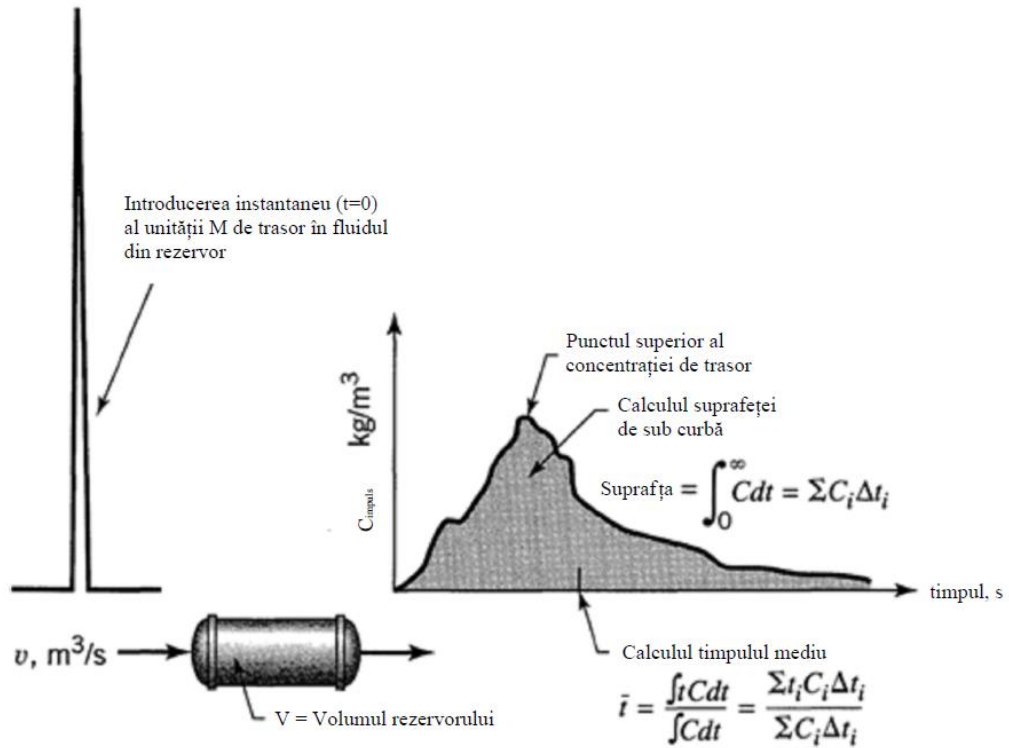
$$A = \int_0^{\infty} C dt \cong \sum_i C_i \cdot \Delta t_i = \frac{M}{v}, \text{ kg*s/m}^3 \tag{3.34}$$

timpul mediu de tranzit a fluidului în reactor și a curbei  $C_{\text{impuls}}$ :

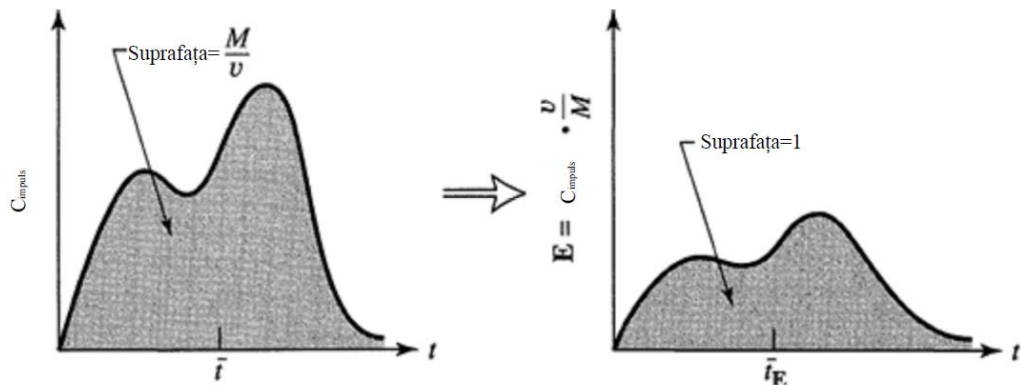
$$\bar{t} = \frac{\int_0^{\infty} t \cdot C dt}{\int_0^{\infty} C dt} \cong \frac{\sum_i t_i \cdot C_i \cdot \Delta t_i}{\sum_i C_i \cdot \Delta t_i} = \frac{V}{v}, \text{ s} \tag{3.35}$$

Toate acestea sunt prezentate în figura 3.8. Pentru a găsi curba **E** din curba  $C_{\text{impuls}}$ , pur și simplu se schimbă scara de concentrație astfel încât zona sub curbă să fie unitatea. Prin urmare, pur și simplu împărțiți lecturile de concentrație de către  $M/v$ , conform figurii 3.9 [5, pag. 262].

$$E = \frac{C}{M/v} \quad (3.36)$$



**Fig. 3.8. Informațiile utile care pot fi obținute din experimentul de urmărire a impulsurilor [5, pag. 262]**



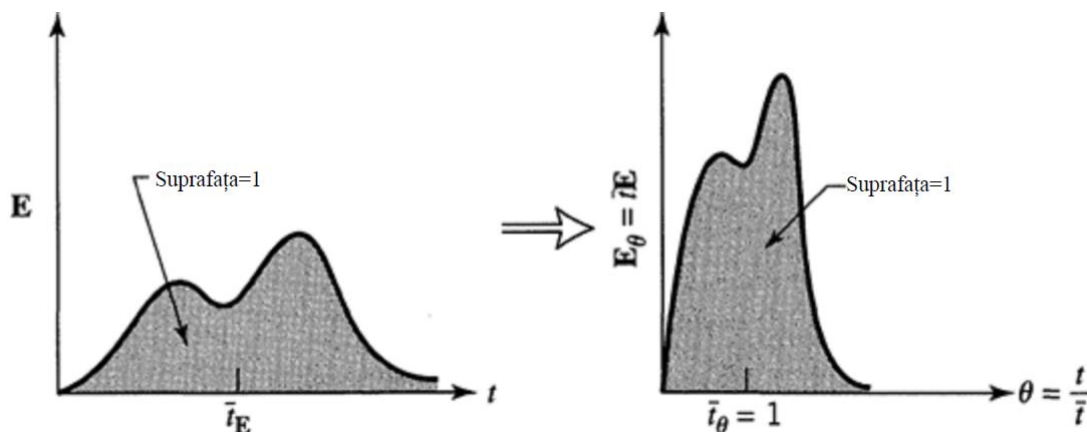
**Fig. 3.9. Transformarea unei curbe experimentale  $C_{\text{impuls}}$  într-o curbă  $E$  [5, pag. 263]**

Există și o altă funcție a DTR numită  $E_{\theta}$ . Aici timpul este măsurat în termenii timpului mediu de retenție  $\theta = t/\bar{t}$ . Astfel se obține:



$$E_{\theta} = \bar{t} \cdot E = \frac{V}{v} \cdot \frac{C}{M/v} = \frac{V}{M} \cdot C \quad (3.37)$$

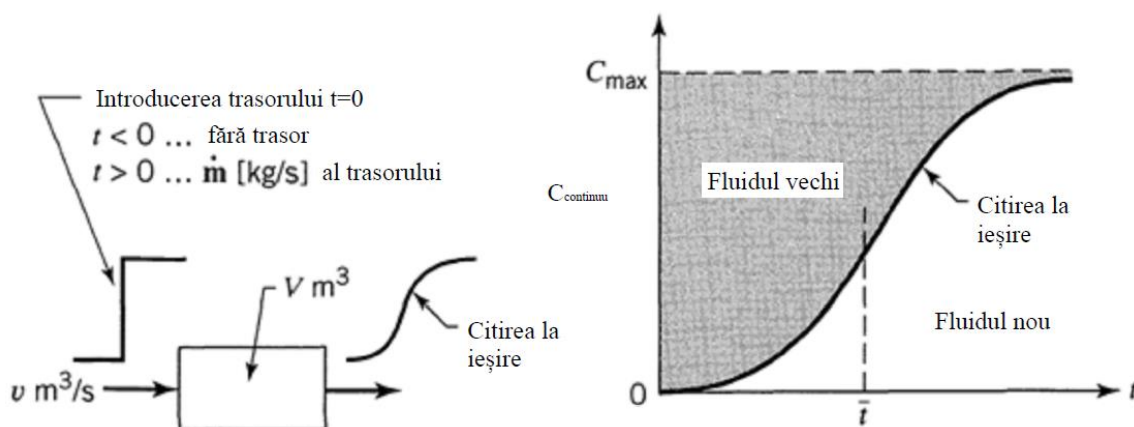
Figura 3.10 arată cum se transformă curba  $E$  în curba  $E_{\theta}$ .



**Fig. 3.10. Transformarea unei curbei  $E$  în curba  $E_{\theta}$  [5, pag. 263]**

### Experimentul cu introducerea traserului continuu.

Se ia în considerare  $v$ ,  $m^3/s$ , a unui fluid care curge printr-un reactor cu volumul  $V$ ,  $m^3$ . Acum, în momentul  $t = 0$ , trecerea de la fluidul obișnuit la fluidul cu traser de concentrație  $C_{\max} = \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$ , și se măsoară concentrația traserului la ieșire  $C_{\text{continuu}}$ , versus  $t$ , ca în figura 3.11.



**Fig. 3.11. Informații obținute dintr-un experiment de urmărire tip introducere a traserului continuu [5, pag. 264]**

Un bilanț material corelează diferitele cantități măsurate ale curbei de ieșire a unui experiment cu introducerea traserului în continuu.

$$C_{\max} = \frac{m}{v}, (\text{kg} \cdot \text{s})/\text{m}^3 \quad (3.38)$$

$$\left( \begin{array}{l} \text{Suprafața umbrită} \\ \text{din figura 3.11} \end{array} \right) = C_{\max} \cdot \bar{t} = \frac{m \cdot V}{v^2}, (\text{kg} \cdot \text{s}^2)/\text{m}^3 \quad (3.39)$$

$$\bar{t} = \frac{\int_0^{C_{\max}} t \cdot dC_{\text{continuu}}}{\int_0^{C_{\max}} dC_{\text{continuu}}} = \frac{1}{C_{\max}} \cdot \int_0^{C_{\max}} t \cdot dC_{\text{continuu}} \quad (3.40)$$

unde  $m$  [kg/s] este debitul tratorului în fluidul de intrare.

Forma fără dimensiuni a curbei  $C_{\text{continuu}}$  se numește curba  $F$ . Se constată că concentrația tratorului crește de la zero la unitate, așa cum se arată în figura 3.12.

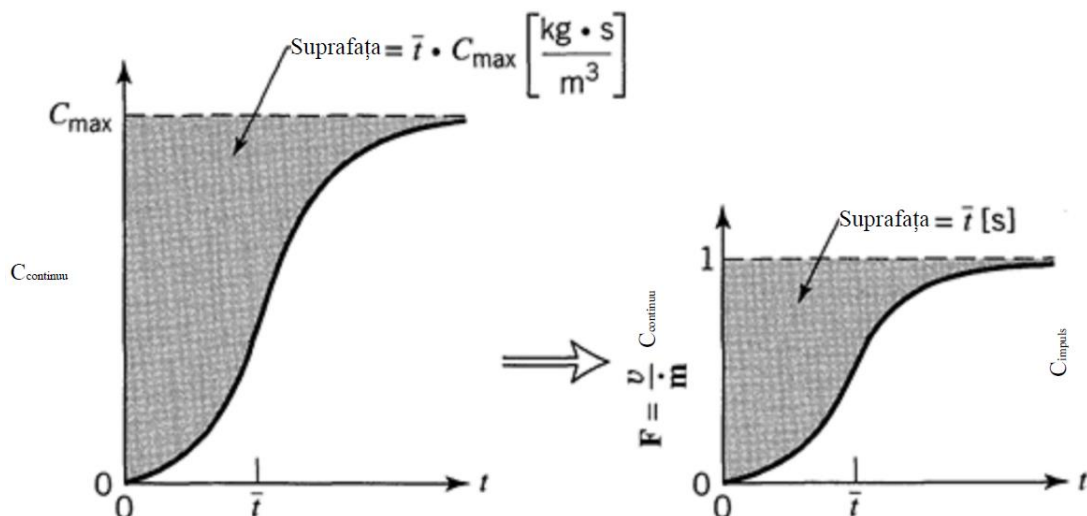


Fig. 3.12. Transformarea unei curbe experimentale  $C$  într-o curbă  $F$  [5, pag. 264]

### 3.3.4. Relația dintre curbele $F$ și $E$

Pentru a face legătura dintre curbele  $E$  și  $F$ , imaginați un flux constant de fluid alb. Apoi la momentul  $t = 0$  treceți la roșu și înregistrați concentrația în creștere a fluidului roșu în fluxul de ieșire, curba  $F$ . În orice moment  $t > 0$  fluid roșu și doar fluid roșu în fluxul de ieșire este mai mic decât vârsta  $t$ . Așa primim:

$$\left( \begin{array}{l} \text{fracțiunea de fluid rosu} \\ \text{în curentul de iesire} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{l} \text{fracțiunea de flux de iesire} \\ \text{mai mică decât vârsta } t \end{array} \right) \quad (3.41)$$

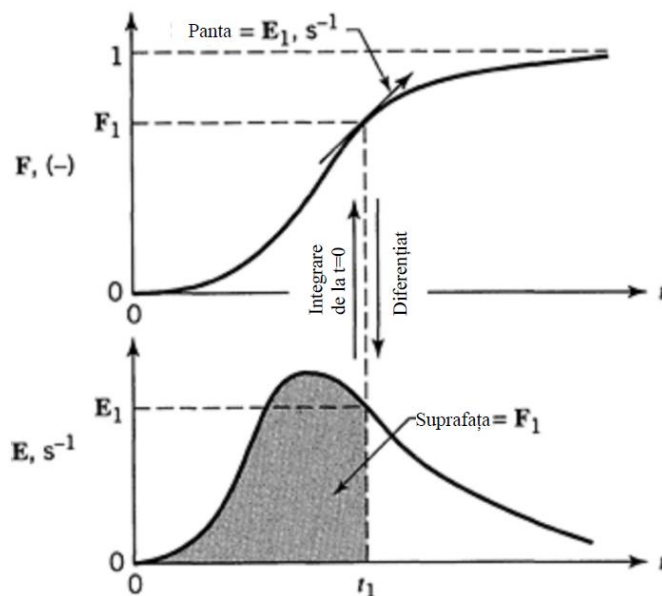
Dar primul termen este pur și simplu valoarea  $F$ , în timp ce al doilea este dat de formula 3.32. Așa că am avut, la momentul  $t$ ,

$$F = \int_0^t E \cdot dt \quad (3.42)$$

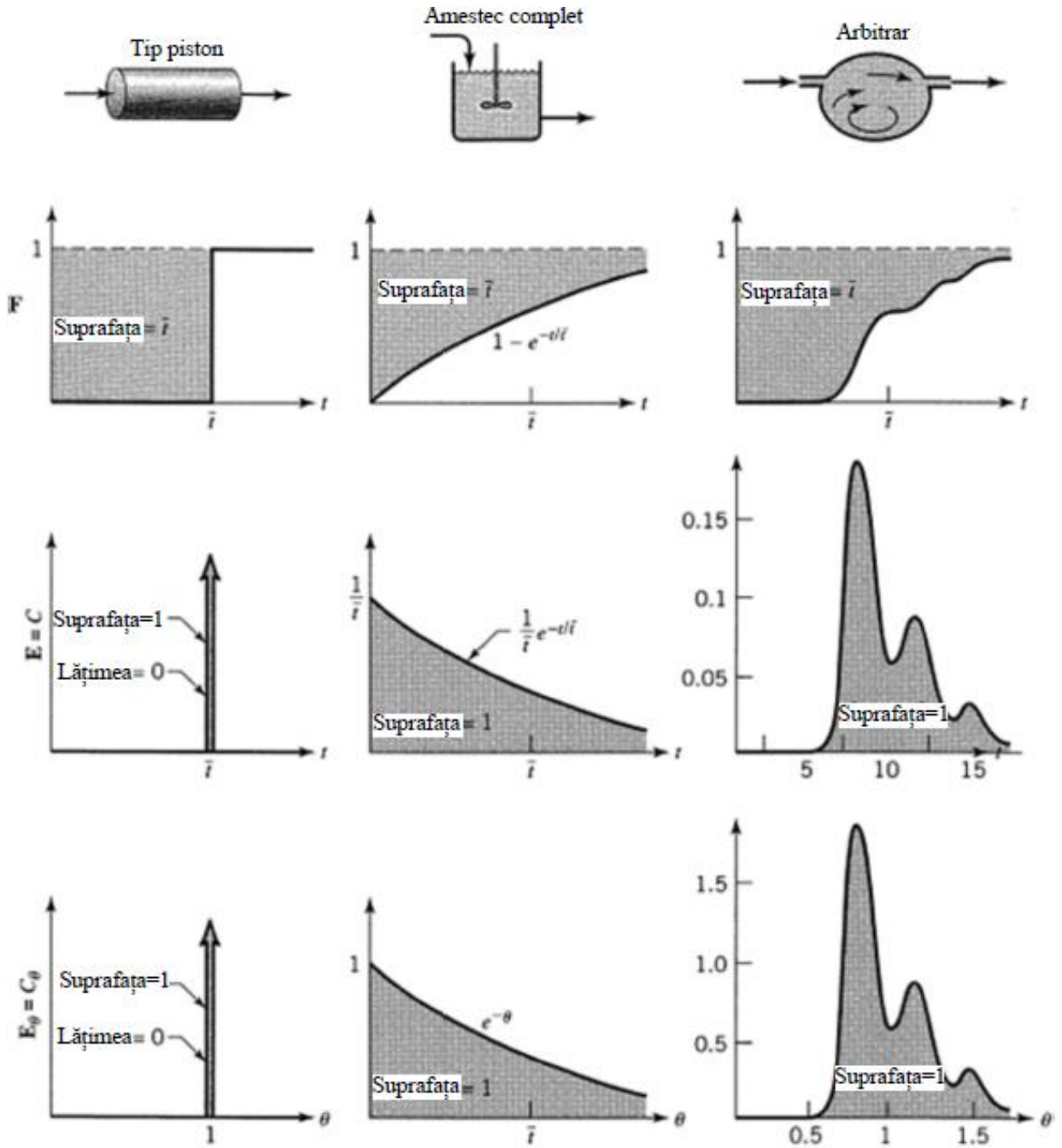
și pe diferențierea

$$\frac{dF}{dt} = E \quad (3.43)$$

În formă grafică, această relație este prezentată în figura 3.13. Aceste relații arată cum experimentele de impuls-răspuns, utilizând fie intrări de continuu sau impulsuri, poate oferi în mod convenabil DTR și debitul mediu al fluidului în reactor. Figura 3.14 prezintă formele acestor curbe pentru diferite tipuri de curgere.



**Fig. 3.13. Relația dintre curbele E și F. [5, pag. 265]**



**Fig. 3.14. Proprietățile curbelor E și F pentru diferite fluxuri de mișcare a fluidului. Curbele sunt desenate în termeni de unități de timp obișnuite și fără dimensiuni [5, pag. 266]**

În orice moment aceste curbe sunt corelate după cum urmează:

$$E = \frac{v}{m} \cdot C; \quad F = \frac{v}{m} \cdot C_{continuu}; \quad E = \frac{dF}{dt}; \quad \bar{t} = \frac{V}{v}; \quad \theta = \frac{t}{\bar{t}}; \quad \bar{\theta}_E = 1; \quad E_\theta = \bar{t} \cdot E \quad (3.44)$$

### 3.4. Modelul de dispersie

Caracteristicile hidraulice ale reactoarelor neideale pot fi modelate prin luarea în considerare a dispersiei. De exemplu, dacă dispersia tinde spre infinit, mișcarea fluidului în reactorul cu dispersie axială este echivalent cu reactorul cu amestec complet. Cu toate acestea, înainte de a examina fluxul/mișcarea neideală în reactoare, va fi util de examinat distincția dintre coeficientul de difuzie moleculară, difuzia turbulentă și dispersia aplicată la analiza reactoarelor utilizate pentru epurarea apelor uzate [20, pag. 245].

#### 3.4.1. Alegerea modelelor de dispersie

Modelele sunt utile pentru reprezentarea fluxului în reactoarele reale, pentru extinderea și pentru diagnosticarea fluxului. Sunt diferite tipuri de modele de dispersie în funcție de gradul de mișcare a fluidului cum ar fi tip piston, amestec complet sau undeva între aceste două tipuri.

Acest subcapitol se referă anume la deviații mici față de fluxul de mișcare tip piston. Există două modele pentru aceasta: modelul de dispersie și modelul rezervoarelor în serie. Ele sunt aproape echivalente. Aceste modele se aplică la fluxul turbulent în conducte, fluxul laminar în tuburi foarte lungi, reactoare biologice, canale, etc.

#### **Dispersia axială.**

Să presupunem că un impuls ideal al traserului este introdus în fluidul care intră într-un reactor. Impulsul se răspândește pe măsură ce trece prin reactor și pentru a caracteriza răspândirea conform acestui model (vezi figura 3.15), presupunem că un proces asemănător difuziei este suprapus peste fluxul de tip piston. Aceasta se numește dispersie sau dispersie longitudinală pentru a o distinge de difuzia moleculară. Coeficientul de dispersie  $D$  ( $m^2/s$ ) reprezintă acest proces de împrăștiere.

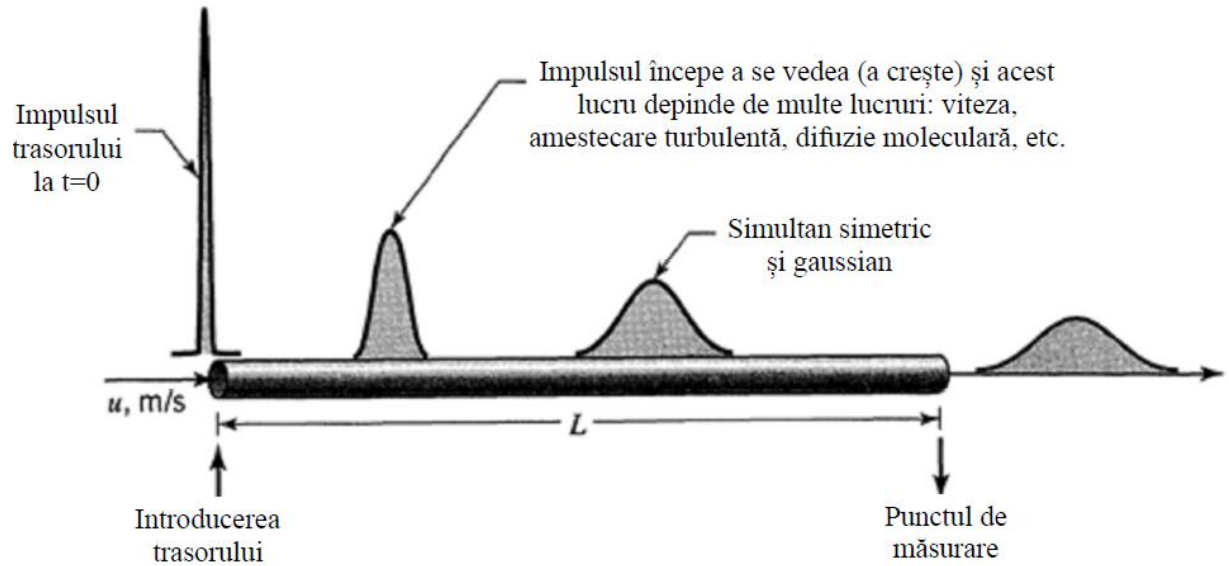
Prin urmare:

- valoarea mare a lui  $D$  înseamnă împrăștierea/amestecarea rapidă a curbei traserului;
- valoarea mică a lui  $D$  înseamnă răspândirea lentă a curbei traserului;
- $D = 0$  înseamnă că nu se răspândește, deci fluxul/mișcarea fluidului este tip piston.

De asemenea ( $D/uL$ ) este relația fără dimensiuni (adimensională) care caracterizează răspândirea fluidului în întregul reactor.

Evaluarea lui  $D$  sau  $D/uL$  are loc prin înregistrarea formei curbei traserului în timp ce trece prin ieșirea reactorului. În special, se măsoară:

- $\bar{t}$  - timpul mediu de trecere sau când curba trece spre ieșire;
- $\sigma^2$  - variația sau o măsură a răspândirii curbei.



**Fig. 3.15. Răspândirea traserului conform modelului de dispersie [5, pag. 294]**

Aceste măsuri,  $\bar{t}$  și  $\sigma^2$ , sunt legate direct de  $D$  și  $D/uL$ . Aceasta înseamnă că, pentru date continue sau discrete, este definită ca:

$$\bar{t} = \frac{\int_0^{\infty} t \cdot C \cdot dt}{\int_0^{\infty} C \cdot dt} = \frac{\sum t_i \cdot C_i \cdot \Delta t_i}{\sum C_i \cdot \Delta t_i} \quad (3.45)$$

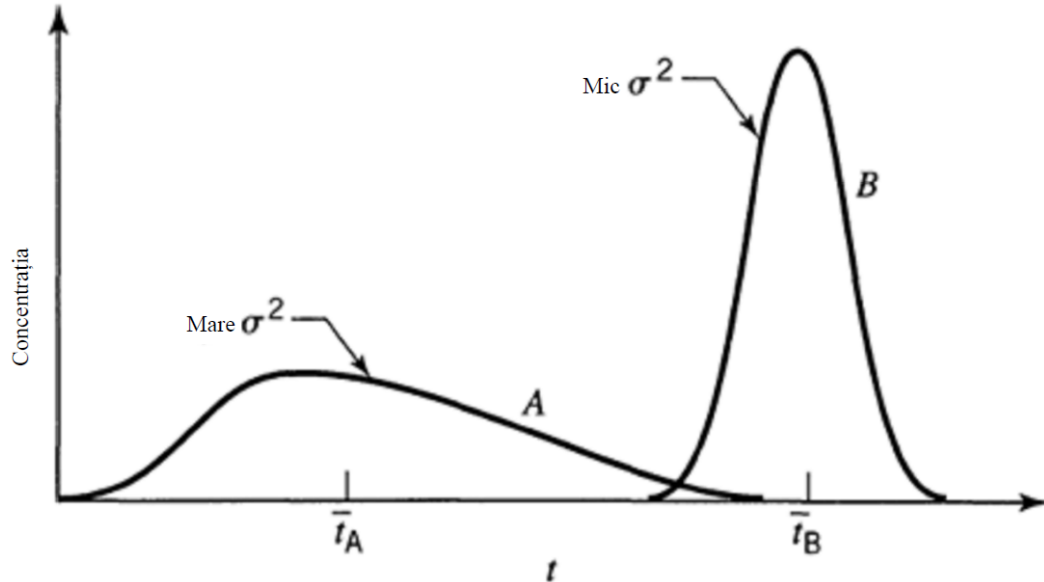
Varianța este definită ca:

$$\sigma^2 = \frac{\int_0^{\infty} (t - \bar{t})^2 \cdot C \cdot dt}{\int_0^{\infty} C \cdot dt} = \frac{\int_0^{\infty} t^2 \cdot C \cdot dt}{\int_0^{\infty} C \cdot dt} - \bar{t}^2 \quad (3.46)$$

sau în formă mai discretă:

$$\sigma^2 = \frac{\sum (t_i - \bar{t})^2 \cdot C_i \cdot \Delta t_i}{\sum C_i \cdot \Delta t_i} = \frac{\sum t_i^2 \cdot C_i \cdot \Delta t_i}{\sum C_i \cdot \Delta t_i} - \bar{t}^2 \quad (3.47)$$

Variația reprezintă pătratul răspândirii distribuției pe măsură ce trece prin ieșirea din reactor și are unități de  $(\text{timp})^2$ . Este deosebit de utilă pentru construirea curbelor experimentale cu una din familia de curbe teoretice. Figura 3.16 ilustrează acești termeni.



**Fig. 3.16. Deosebirea curbei la variație mare și variație mică [5, pag. 295]**

### 3.4.2. Modelul de dispersie pentru dimensiuni mici, $D/uL < 0,01$

Dacă impunem un impuls idealizat pe fluidul care curge, atunci dispersia modifică acest impuls așa cum se arată în figura 3.15. Pentru valori mici de dispersie (dacă  $D/uL$  este mic) curba de urmărire a propagării nu se modifică semnificativ în formă pe măsură ce trece punctul de măsurare (în timpul măsurării). În aceste condiții primim curba simetrică prezentată în figurile 3.15 și 3.17.

$$C = \frac{1}{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot (D/uL)}} \exp \left[ -\frac{(1-\theta)^2}{4 \cdot (D/uL)} \right] \quad (3.48)$$

Aceasta reprezintă o familie de curbe a lui Gaussiene, numită și eroare sau curbe normale. Ecuațiile care reprezintă această familie sunt:

$$E_\theta = \bar{t} \cdot E = \frac{1}{\sqrt{4 \cdot \pi \cdot (D/uL)}} \exp \left[ -\frac{(1-\theta)^2}{4 \cdot [D/uL]} \right] \quad (3.49)$$

$$E = \sqrt{\frac{u^3}{4 \cdot \pi \cdot D \cdot L}} \exp\left[-\frac{(L-ut)^2}{4 \cdot D \cdot L/u}\right] \quad (3.50)$$

$$\bar{t}_E = \frac{V}{v} = \frac{L}{u} \quad (3.51)$$

$$\delta_\theta^2 = \frac{\delta_t^2}{t^2} = 2 \cdot \left(\frac{D}{uL}\right) \text{ sau } \delta^2 = 2 \cdot \left(\frac{D \cdot L}{u^3}\right) \quad (3.52)$$

De reținut că  $D/uL$  este singurul parametru al acestei curbe. Figura 3.17 prezintă o serie de modalități de evaluare a acestui parametru dintr-o curbă experimentală: prin calcularea variației sale, prin măsurarea înălțimii maxime sau lățimea sa la punctul de inflexiune, sau prin găsirea lățimii care include 68% din suprafață.

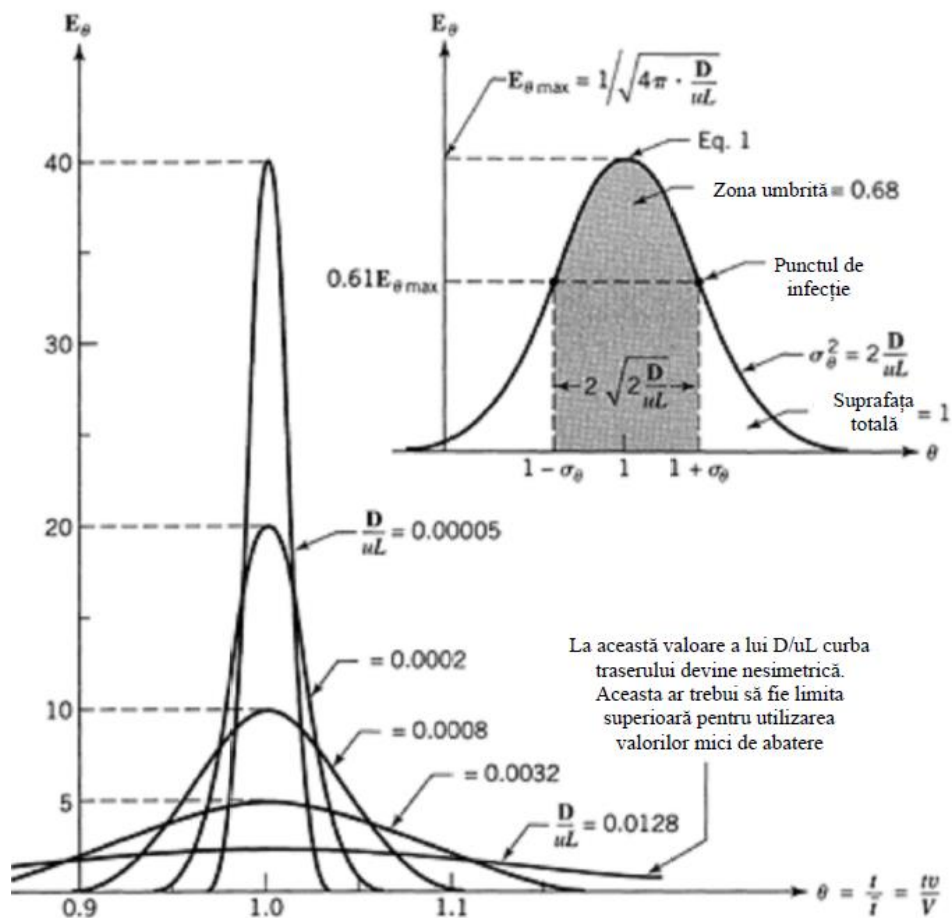


Fig. 3.17. Relația dintre  $D/uL$  și curba  $E$  adimensionată, curbă pentru extinderi foarte mici de dispersie [5, pag. 297]



Din fericire, pentru dimensiuni mici de dispersie numeroase simplificări și aproximări în analiza curbelor obținute cu ajutorul trasorului sunt posibile.

Primul, forma curbei trasorului este insensibilă față de condiția limită impusă de reactorul, închis sau deschis. Deci atât pentru reactoare închise, cât și pentru deschise  $C_{\text{impuls}} = \mathbf{E}$  și  $C_{\text{continuu}} = \mathbf{F}$  [5, pag. 297].

### 3.4.3. Deviația mare de la tipul piston, $D/uL > 0,01$

Aici răspunsul impulsului este larg și trece punctul de măsurare suficient de lent pentru a schimba forma. Aceasta oferă o curbă  $\mathbf{E}$  nesimetrică.

O complicație suplimentară intră în imagine pentru  $D/uL$  mare. Ce se întâmplă chiar la intrarea și la ieșirea din reactor afectează puternic forma curbei trasorului, precum și relația dintre parametrii curbei și  $D/uL$ .

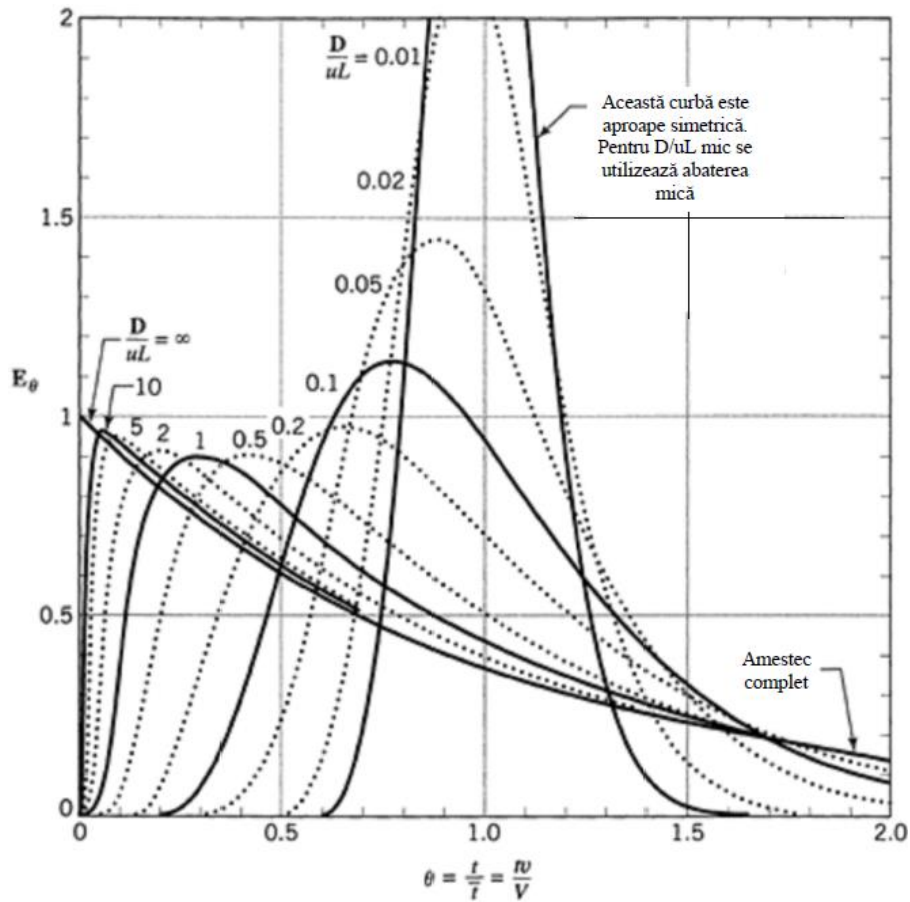
Să luăm în considerare două tipuri de condiții limită: fie fluxul este neperturbat pe măsură ce trece granițele de intrare și ieșire (numim acest lucru deschis), sau avem un flux tip piston în afara reactorului până la limite (numim acest lucru închis) [5, pag. 299].

#### Reactor închis.

Aici nu este disponibilă o expresie analitică pentru curba  $\mathbf{E}$ . În orice caz, putem construi curba prin metode numerice, vezi figura 3.18, sau să evalueze media și varianța exactă, după cum a fost făcut prima dată de Van der Laan (1958) [5, pag. 300]. Prin urmare:

$$\bar{t}_E = \bar{t} = \frac{V}{v} \quad \text{sau} \quad \bar{\theta}_E = \frac{\bar{t}_E}{\bar{t}} = \frac{\bar{t}_E \cdot v}{V} = 1 \quad (3.53)$$

$$\sigma_\theta^2 = \frac{\sigma_t^2}{\bar{t}^2} = 2 \cdot \left( \frac{D}{uL} \right) - 2 \cdot \left( \frac{D}{uL} \right)^2 \cdot [1 - e^{-uL/D}] \quad (3.54)$$



**Fig. 3.18. Curbele de răspuns ale traserului pentru reactoare închise și abateri mari de la fluxul de mișcare tip piston [5, pag. 300]**

### Reactor deschis.

Se întâmplă, de asemenea, să fie singura situație fizică (în afară de  $D/uL$  mic) unde expresia analitică pentru curba  $E$  nu este prea complexă. Rezultatele sunt date de curbele de răspuns prezentate în figura 3.19, și prin următoarele ecuații, derivate inițial de Levenspiel și Smith (1957) [5, pag. 300].

$$E_{\theta, \text{deschis}} = \frac{1}{\sqrt{4 \cdot \pi \cdot (D/ul)}} \exp \left[ -\frac{(1-\theta)^2}{4 \cdot \theta \cdot (D/uL)} \right] \quad (3.55)$$

$$E_{t, \text{deschis}} = \frac{u}{\sqrt{4 \cdot \pi \cdot D \cdot t}} \exp \left[ -\frac{(L-u \cdot t)^2}{4 \cdot D \cdot t} \right] \quad (3.56)$$

$$\bar{\theta}_{t, \text{deschis}} = \frac{\bar{t}_{E, \text{deschis}}}{t} = 1 + 2 \cdot \left( \frac{D}{uL} \right) \quad \text{sau} \quad t_{E, \text{deschis}} = \frac{V}{v} \cdot \left( 1 + 2 \cdot \frac{D}{uL} \right) \quad (3.57)$$

$$\sigma_{\theta, deschis}^2 = \frac{\sigma_{t, deschis}^2}{t^2} = 2 \cdot \frac{D}{uL} + 8 \cdot \left( \frac{D}{uL} \right)^2 \quad (3.58)$$

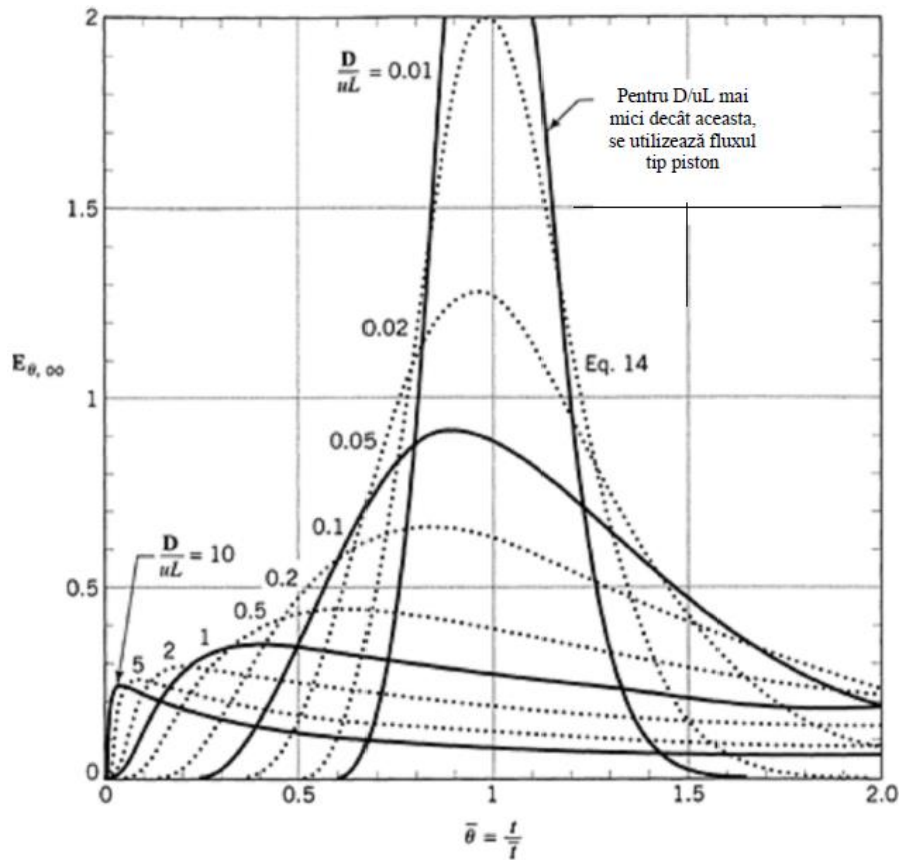


Fig. 3.19. Curbele de răspuns ale traserului pentru reactoare deschise și abateri mari de la fluxul de mișcare tip piston [5, pag. 300]

### 3.5. Concluzii

În urma studiului regimului hidrodinamic în reactoarele biologice concluzionăm:

- principalele tipuri de reactoare biologice utilizate pentru epurarea apelor uzate sunt: discontinuu, cu amestec complet, tip piston, cu amestec complet în serie, cu umplutură biologică fixă, cu umplutură biologică în mișcare;
- caracteristicile hidraulice ale reactoarelor neideale pot fi modelate prin luarea în considerare a dispersiei;
- modelele sunt utile pentru reprezentarea fluxului în reactoarele reale, pentru extinderea și pentru diagnosticarea fluxului;
- în funcție de mișcarea apei uzate în reactorul biologic obținem un grad mai mare sau mai mic de epurare.

## 4. REZULTATE ȘI APLICAȚII ALE INVESTIGAȚIILOR ÎN PRACTICĂ

### 4.1. Influența suportului solid mobil/încărcăturii flotante asupra eficienței epurării

Epurarea biologică cu ajutorul suportului solid mobil/încărcăturii flotante se utilizează pentru majorarea eficienței epurării apei uzate. Filmul biologic care se formează pe acest suport solid mobil, care conține biomasă, poate fi în repaus sau antrenat în mișcare. Instalațiile de acest tip mai poartă denumirea de instalații de epurare biologică cu culturi fixate. Filmul biologic este pus alternativ în contact cu oxigenul obținut de la sistemul de aerare și cu apa uzată supusă procesului de epurare.

Între procesul de epurare cu nămol activ și cel din filmul biologic sunt deosebiri structurale. În procesul cu nămol activ floconul este unitatea structurală de bază care conține toate speciile comunității din lanțul trofic necesare mineralizării substanțelor organice, în procesul cu film biologic speciile sunt organizate în lungul tehnologiei de epurare, în sensul reacțiilor succesive de degradare a materiei organice, astfel că apa uzată, pe măsura descompunerii substanțelor organice, în fiecare etapă a desfășurării fenomenului biochimic întâlnește bacteriile următoare din lanțul trofic. Pelicula biologică utilizează o succesiune de comunități biologice stabilite la diferite niveluri ale filmului și asociate cu diferite grade de epurare. Microorganismele din filmul biologic sunt mai ușor adaptabile la șocurile încărcării organice datorită acestei succesiuni ale asociațiilor populațiilor biologice existente în peliculă. În tehnologiile de epurare cu nămol activ amestecul polifazic ce conține flocoane trebuie să fie mereu agitat pentru a le menține în stare de suspensie, ceea ce conduce la un consum ridicat de energie. În procesele cu film biologic pelicula este fixată pe o suprafață solidă, dură și mobilă.

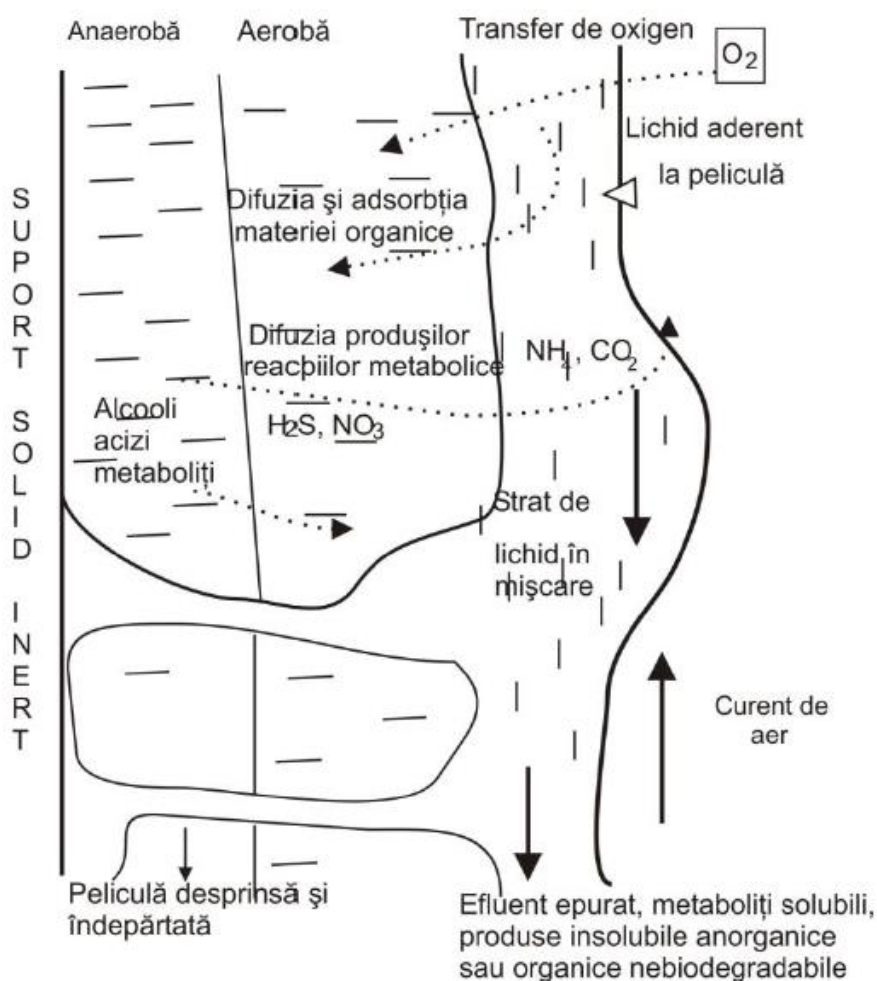
În raport cu procedeul cu nămol activ cel cu peliculă biologică are următoarele avantaje:

- activitate biologică superioară;
- randamentul de epurare crește prin recircularea apei cu nămol;
- economie de energie;
- repopularea rapidă a peliculei după desprinderea filmului;
- exploatare simplă.

În esență principiul procesului de epurare biologică cu peliculă este reprezentat în figura 4.1. La suprafața solidă mobilă se formează în timp o peliculă biologică aderentă peste care se scurge un film de lichid, iar la exteriorul acestuia apare un curent de gaz, în echi- sau

contracurent, ce permite reîmprospătarea oxigenului din apa uzată. În condiții favorabile de temperatură și oxigen dizolvat, pelicula adsoarbe materia organică din apa uzată și prin reacții biochimice o descompune. Între pelicula biologică și filmul de lichid apar continuu schimburi de substanță în ambele sensuri care stabilesc un echilibru dinamic în transferul de masă.

Aceleași procese de transfer de masă apar și între filmul de lichid și curentul de gaz din exteriorul acestuia. Toate aceste procese de transfer permit adsorbția materiei organice, a oxigenului și eliminarea produșilor secundari din reacțiile biochimice ce apar în filmul biologic [13, pag. 101].



**Fig. 4.1. Procesele fizice, chimice și biologice din pelicula biologică [13, pag. 101]**

Așadar, apar două mecanisme deosebit de importante în proces:

- bioadsorbția substanței organice în zona aerobă a peliculei biologice (două fenomene: fizic de adsorbție și biologic de asimilație);
- metabolism cu degradarea substanței organice adsorbite în zona mediană și anaerobă a peliculei.

Oxigenul din aerul atmosferic penetrează filmul de lichid și trece în pelicula biologică în prima ei parte. Ca urmare stratul dinspre suportul solid mobil intră în regim anaerob și va avea microorganismele caracteristice acestui mediu lipsit de oxigen. Metaboliții produși de biomasă – alcooli, acizi, dioxid de carbon, metan, hidrogen sulfurat, etc., traversează în sens invers interfața peliculă biologică – lichid și difuzează în curentul de gaz. În acest schimb continuu curentul de aer sărăcește în oxigen și se îmbogățește în alte gaze, în principal dioxid de carbon.

Consecințele acestor procese sunt dependente de metabolismul celulelor vii. Partea superficială aerobă a peliculei biologice tinde să rămână constantă. Stratul intern anaerob tinde să crească în grosime ca efect al procesului de sinteză. El are o rezistență mecanică mai redusă decât partea aerobă din cauza procesului de fermentație și, în consecință, la o anumită grosime pelicula se va desprinde de suportul solid mobil. În regim dinamic se stabilește un echilibru între creșterea biomasei și grosimea peliculei mature.

Când microorganismele din filmul biologic mor, pelicula se fragmentează, se desprinde de pe suportul solid mobil și este antrenată de curentul lichid. Materialul celular distrus este reținut în decantorul secundar sub formă de nămol, așadar, schema tehnologică trebuie să conțină un decantor necesar reținerii materialului desprins (nămolului).

Pentru realizarea procesului de degradare biochimică în pelicula biologică apare necesitatea respectării următoarelor cerințe de bază:

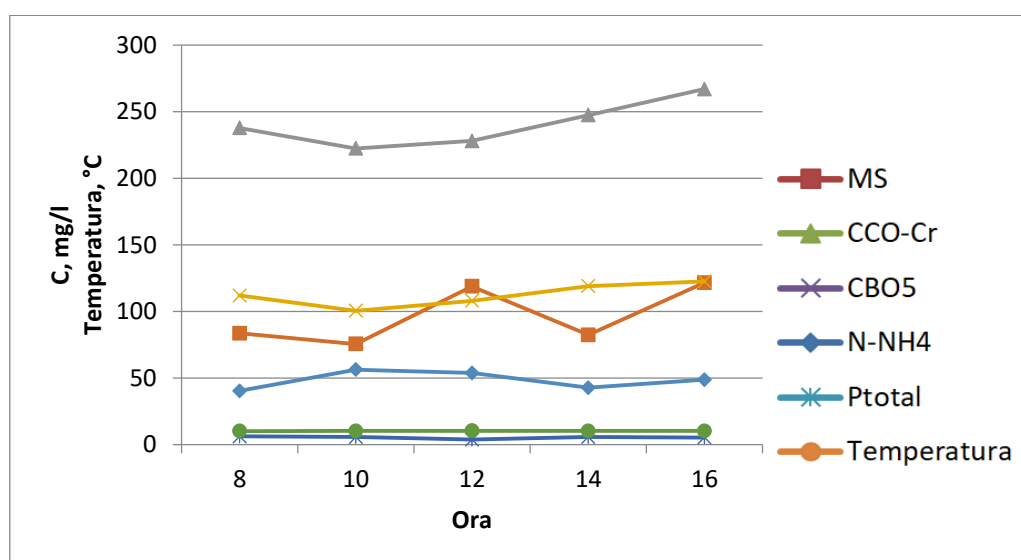
- crearea unei suprafețe mari de contact, pentru materialul solid inert pe care să se fixeze pelicula biologică – suportul solid mobil, trebuie să fie caracterizată printr-o suprafață specifică ridicată (raport suprafață/volum mare);
- aprovizionarea cu oxigen trebuie să se facă cu un debit corespunzător asigurării condițiilor aerobe necesare procesului biochimic;
- tratabilitatea biologică (biodegradabilitatea) a apei uzate trebuie să corespundă populației microbiene [13, pag. 102].

#### **4.2. Rezultatele obținute la studiul apei uzate menajere brute**

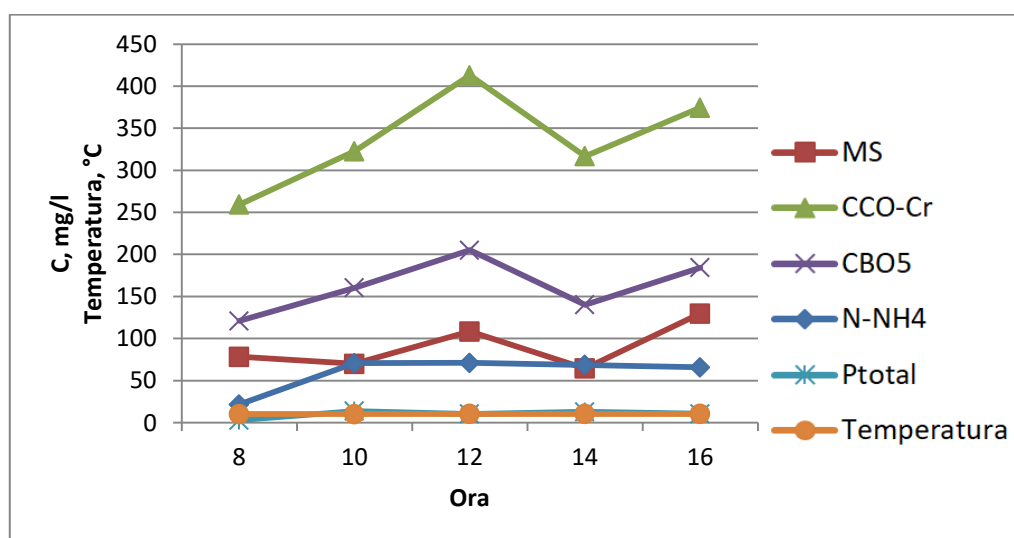
Conform programului efectuării experimentelor în instalația-pilot de epurare a apelor uzate descris mai sus s-au efectuat o mulțime de investigații a apei uzate brute pe fiecare lună aparte și pentru diferite ore. Conform rezultatelor obținute în capitolul 2.8 s-au elaborat grafice speciale pentru o vizibilitate mai clară a concentrațiilor diferitor parametri din apa uzată. Aceste grafice sunt prezentate mai jos.

**Tabelul 4.1. Variația componentei apei uzate brute în timpul anului**

Nr.	Lunile	MS, mg/l	CCO-Cr, mg/l O	CBO <sub>5</sub> , mg/l O	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , mg/l N	P <sub>total</sub> , mg/l	Temp., °C
1	Ianuarie	96,4	240,4	112,4	46,4	5,3	16,3
2	Februarie	90,1	337,1	162,1	59,4	10,1	16,3
3	Martie	275,3	515,6	243,4	34,6	6,8	17,3
4	Aprilie	420,2	730,9	296,7	31,7	11,5	18,4
5	Mai	223,2	419,8	187,9	40,6	11,7	18,6
6	Iunie	73,8	320,7	154,6	34,8	8,0	19,8
7	Iulie	101,6	242,8	115,3	8,6	4,7	19,9
8	August	90,2	267,4	128,4	51,6	5,6	19,2
9	Septembrie	359,3	591,5	270,5	13,6	4,3	19,3
10	Octombrie	491,8	574,7	268,0	39,7	14,9	18,7
11	Noiembrie	395,5	406,7	334,2	22,3	9,0	17,5
12	Decembrie	348,7	428,0	342,7	25,5	12,4	17,8
13	Media	247,17	422,96	218,01	34,06	8,69	18,3



**Fig. 4.2. Variația componentei apei uzate brute în timpul zilei (luna ianuarie)**



**Fig. 4.3. Variația componentei apei uzate brute în timpul zilei (luna februarie)**

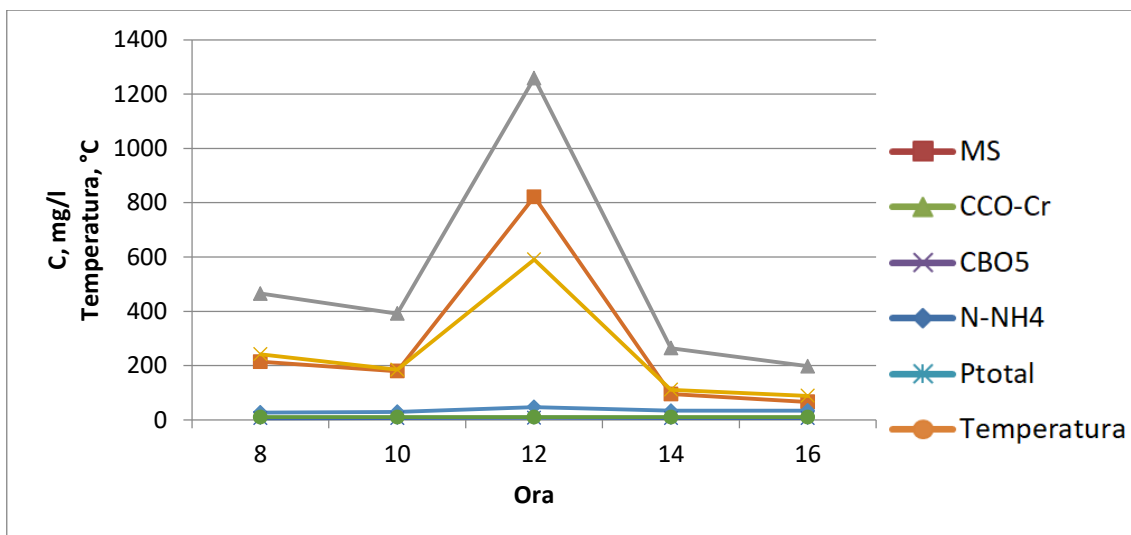


Fig. 4.4. Variația componentei apei uzate brute în timpul zilei (luna martie)

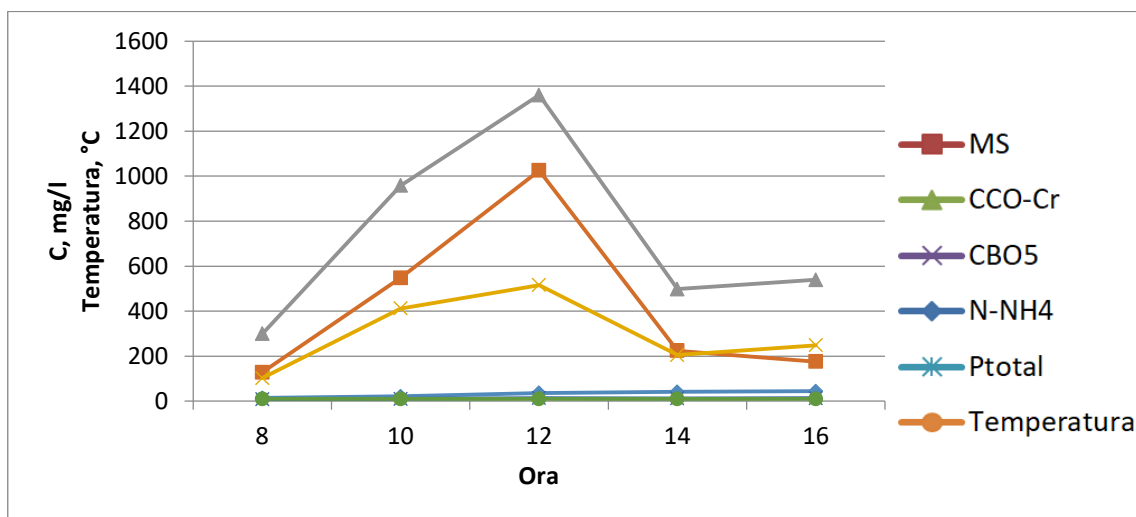


Fig. 4.5. Variația componentei apei uzate brute în timpul zilei (luna aprilie)

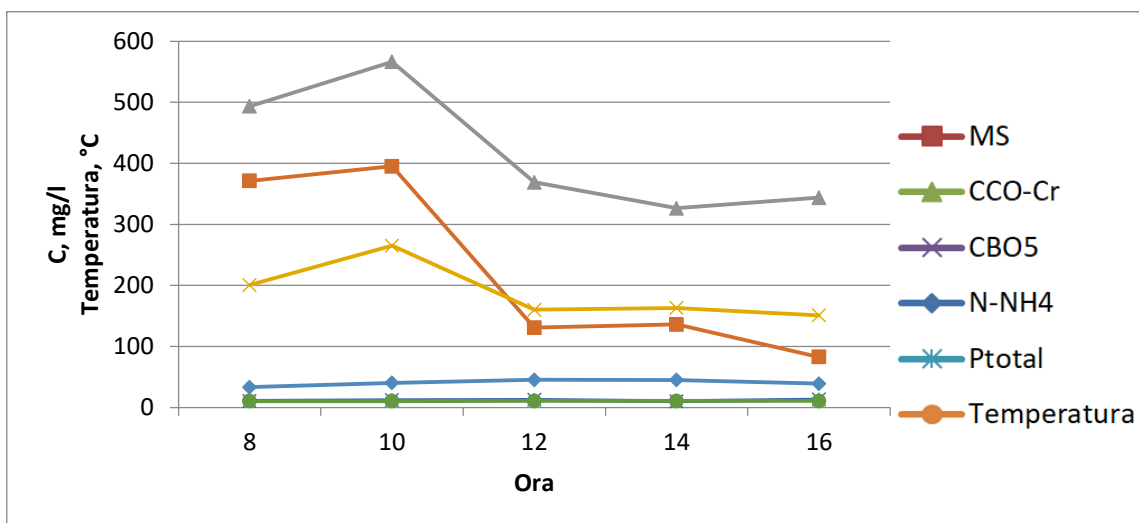


Fig. 4.6. Variația componentei apei uzate brute în timpul zilei (luna mai)



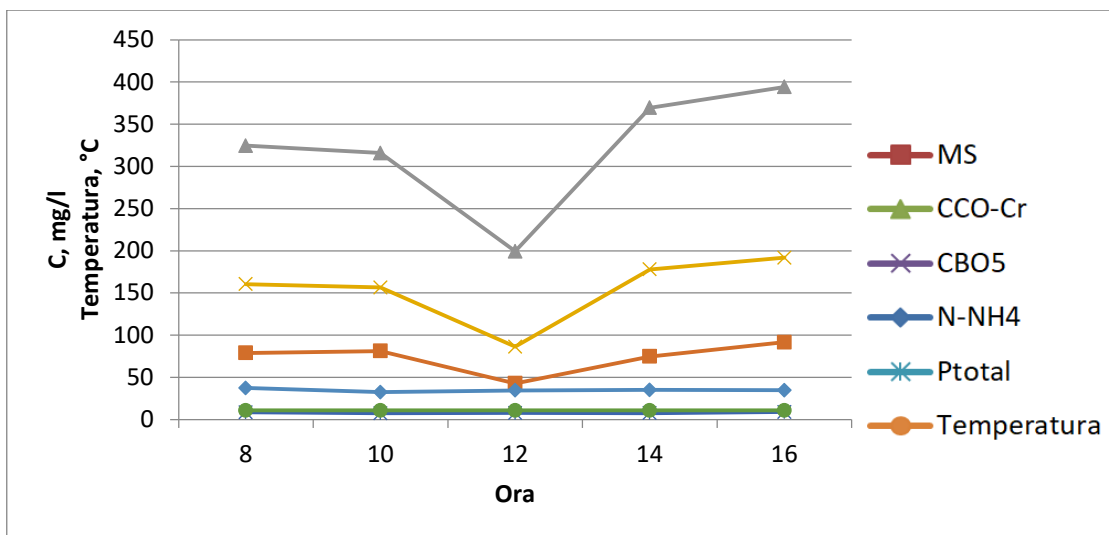


Fig. 4.7. Variația componentei apei uzate brute în timpul zilei (luna iunie)

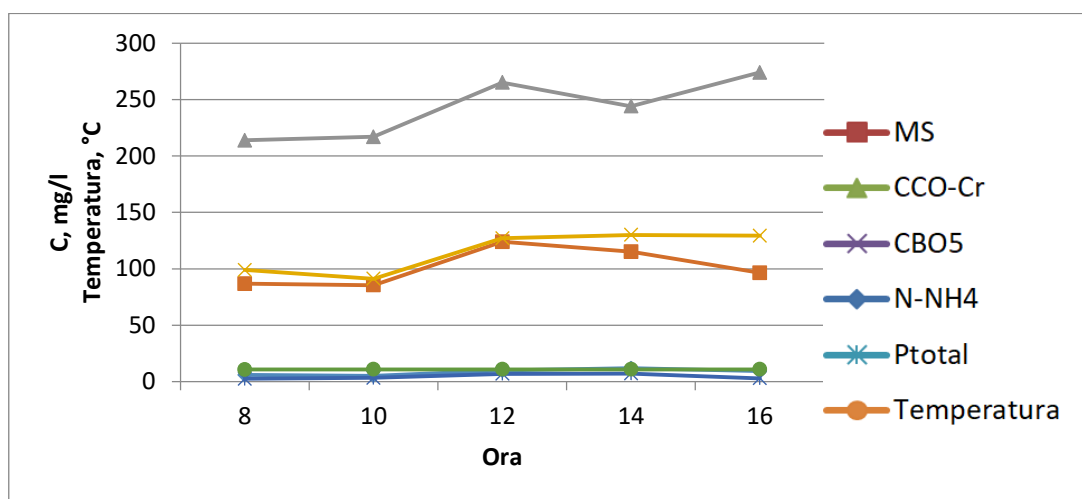


Fig. 4.8. Variația componentei apei uzate brute în timpul zilei (luna iulie)

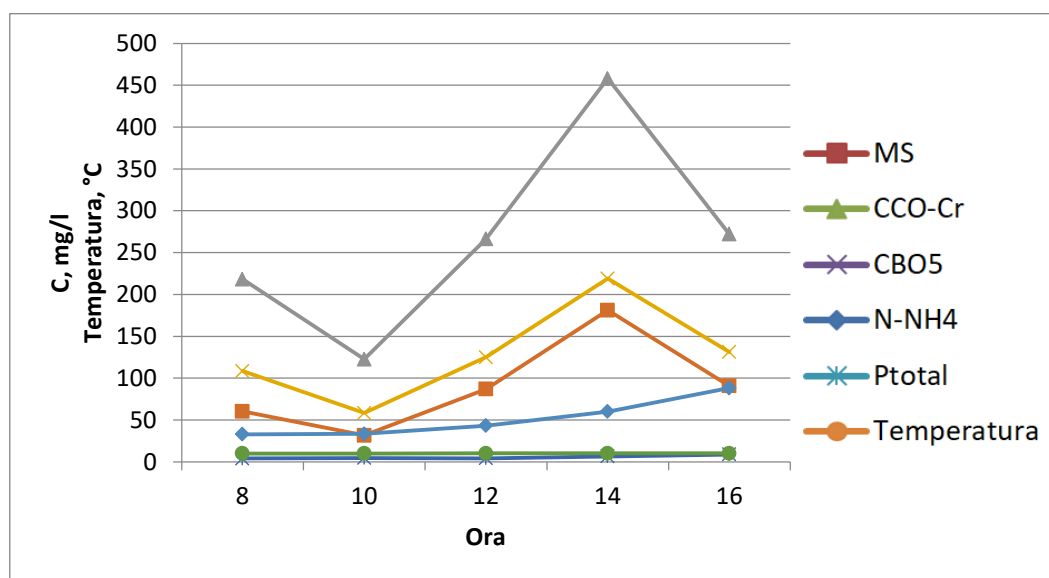


Fig. 4.9. Variația componentei apei uzate brute în timpul zilei (luna august)

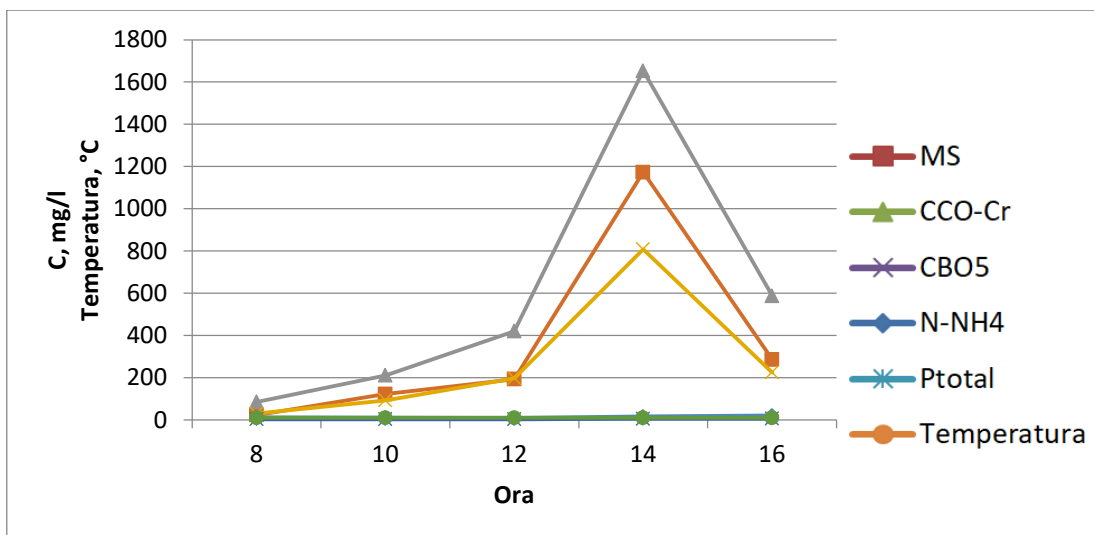


Fig. 4.10. Variația componentei apei uzate brute în timpul zilei (luna septembrie)

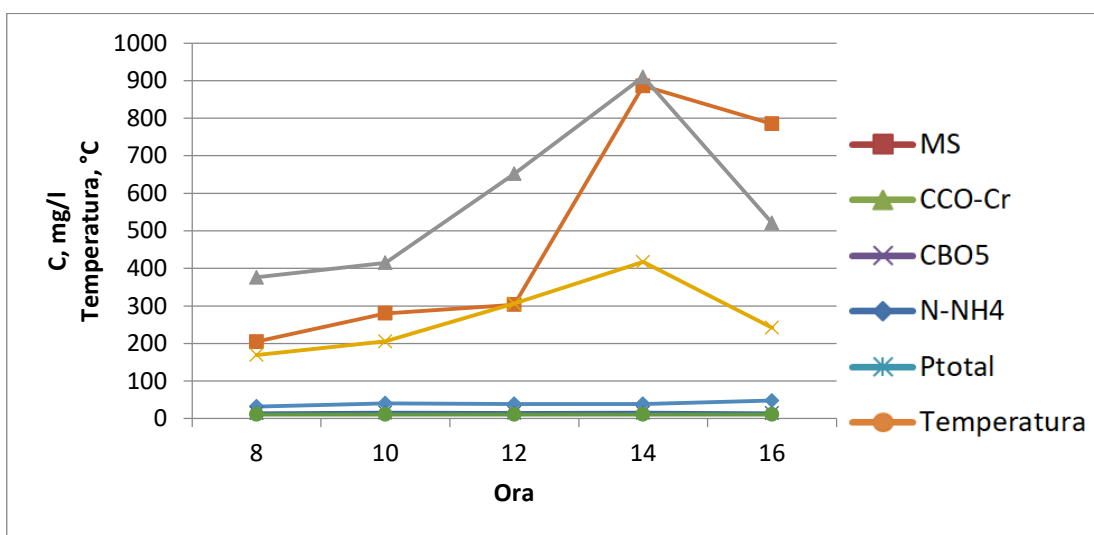


Fig. 4.11. Variația componentei apei uzate brute în timpul zilei (luna octombrie)

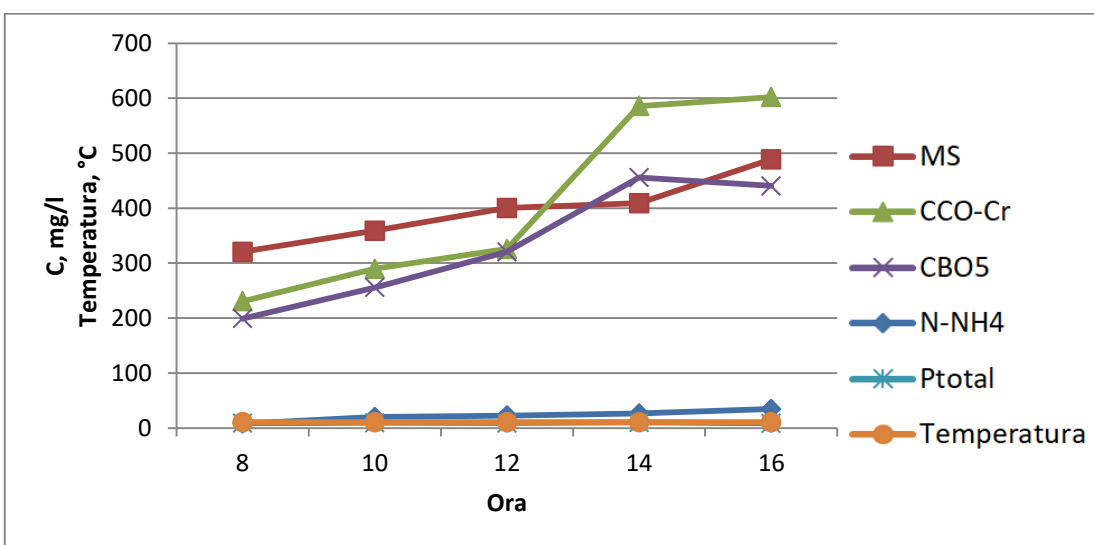


Fig. 4.12. Variația componentei apei uzate brute în timpul zilei (luna noiembrie)

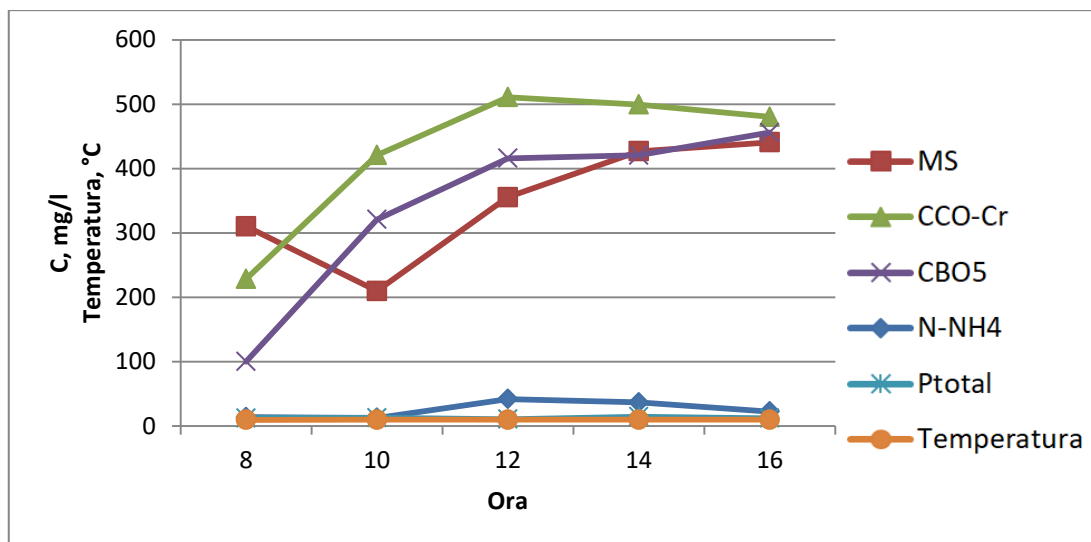


Fig. 4.13. Variația componentei apei uzate brute în timpul zilei (luna decembrie)

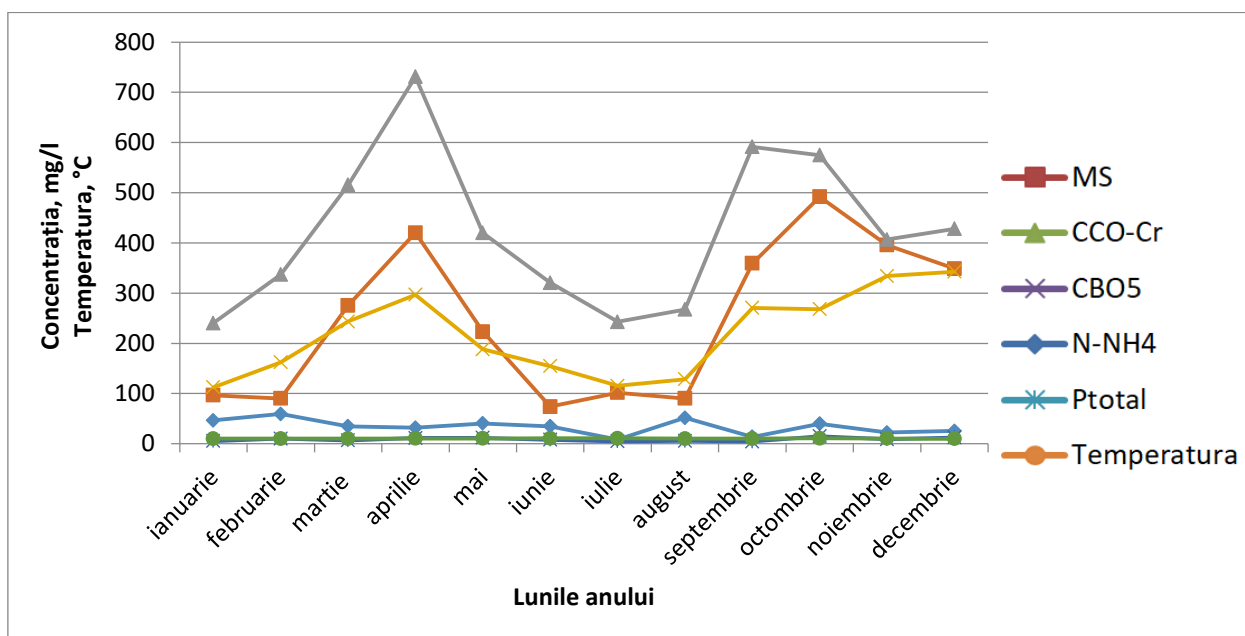


Fig. 4.14. Variația componentei apei uzate brute în timpul anului

#### 4.3. Calcule și rezultate obținute în reactorul biologic experimental/pilot

Rezultatele obținute cu privire la performanța epurării apei uzate în cadrul stației de epurare experimentală sunt prezentate mai jos.

**Tabelul 4.2. Rezultatele obținute după epurarea apei uzate, fără suport solid mobil**

Nr.	Parametrii	Intrare (mediu anual)	Ieșire (debit pompat/debit recirculat, m <sup>3</sup> /h)					
			0,5/1,0	0,5/1,5	1,0/2,0	1,0/3,0	2,0/4,0	2,0/6,0
1	MS, mg/l	247,17	16,4	26,0	21,6	20,2	39,2	16,0
2	CCO-Cr, mg/l O	422,96	78,5	82,1	108,1	41,1	136,8	129,6
3	CBO <sub>5</sub> , mg/l O	218,01	19,7	26,1	24,6	16,4	26,5	30,0
4	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , mg/l N	34,06	10,3	1,8	12,8	21,2	3,3	2,6
5	P <sub>total</sub> , mg/l	8,69	1,8	1,2	4,0	4,3	1,5	1,9

**Tabelul 4.3. Rezultatele obținute după epurarea apei uzate, cu suport solid mobil**

Nr.	Parametrii	Intrare (mediu anual)	Ieșire (debit pompat/debit recirculat, m <sup>3</sup> /h)					
			0,5/1,0	0,5/1,5	1,0/2,0	1,0/3,0	2,0/4,0	2,0/6,0
1	MS, mg/l	247,17	13,2	12,8	19,6	16,2	36,8	34,5
2	CCO-Cr, mg/l O	422,96	74,6	71,2	78,8	76,3	138,9	122,9
3	CBO <sub>5</sub> , mg/l O	218,01	14,3	12,6	16,2	14,9	28,5	26,3
4	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , mg/l N	34,06	6,0	5,6	8,0	7,2	6,4	6,2
5	P <sub>total</sub> , mg/l	8,69	0,9	0,9	1,0	0,8	1,8	1,4

Calculul gradului de eficiență pentru fiecare parametru în parte s-a efectuat cu ajutorul formulei 2.34.

Exemplu de calcul:

$$GE = \frac{C_i - C_f}{C_i} \cdot 100 = \frac{247,17 - 16,4}{247,17} \cdot 100 = 93,36 \, \%$$

Deoarece instalația-pilot de epurare a apei uzate cu ajutorul căreia s-au efectuat diferite experimente a fost supusă experimentelor pentru diferite cazuri, respectiv și gradul de eficiență a fost calculat pentru diferite cazuri. Rezultatele obținute sunt prezentate în tabelele 4.3. și 4.4.

**Tabelul 4.4. Rezultatele gradului de epurare obținute după epurarea apei uzate, fără suport solid mobil**

Nr.	Parametrii	Gradul de eficiență (%), debit pompat/debit recirculat, m <sup>3</sup> /h)					
		0,5/1,0	0,5/1,5	1,0/2,0	1,0/3,0	2,0/4,0	2,0/6,0
1	MS, mg/l	93,36	89,48	91,26	91,82	84,14	93,52
2	CCO-Cr, mg/l O	81,44	80,58	74,44	90,28	67,65	69,35
3	CBO <sub>5</sub> , mg/l O	90,96	88,02	88,71	92,47	87,84	86,23
4	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , mg/l N	69,75	94,71	62,41	37,75	90,31	92,36
5	P <sub>total</sub> , mg/l	79,28	86,19	53,97	50,51	82,73	78,13

**Tabelul 4.5. Rezultatele gradului de epurare obținute după epurarea apei uzate, cu suport solid mobil**

Nr.	Parametrii	Gradul de eficiență (%), debit pompat/debit recirculat, m <sup>3</sup> /h)					
		0,5/1,0	0,5/1,5	1,0/2,0	1,0/3,0	2,0/4,0	2,0/6,0
1	MS, mg/l	64,65	94,82	92,07	93,44	85,11	86,04
2	CCO-Cr, mg/l O	82,36	83,16	81,36	81,96	67,16	70,94
3	CBO <sub>5</sub> , mg/l O	93,44	94,22	92,56	93,16	86,92	87,93
4	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , mg/l N	82,38	83,55	76,51	78,86	81,20	81,79
5	P <sub>total</sub> , mg/l	89,64	89,64	88,49	90,79	79,28	83,88

Din tabelele de mai sus se observă că cele mai bune rezultate adică gradul de epurare cel mai ridicat este pentru condiția cu suport solid mobil (sistemul hibrid) pentru un debit mediu orar de 1,0 m<sup>3</sup>/h (25 m<sup>3</sup>/zi) cu recircularea de 3,0 m<sup>3</sup>/h.

În literatura de specialitate pentru acest tip de instalații se propune un timp de retenție de 1,0 – 1,2 ore pentru bioreactorul anoxic și 3,5 – 4,5 ore pentru bioreactoarele aerobe [50, pag. 49]. Pentru a micșora timpul de retenție a apei uzate în interiorul reactorului biologic și deoarece se încearcă obținerea unui flux de mișcare tip piston, stația de epurare experimentală a fost lăsată să lucreze un timp de 3 luni cu un debit constant de apă uzată egal cu 1,25 m<sup>3</sup>/h (30 m<sup>3</sup>/zi) și cu un debit recirculat egal cu 3,75 m<sup>3</sup>/h. Pentru aceste condiții au fost elaborate câteva încercări de laborator cu concentrațiile apei uzate brute și respectiv a apei uzate epurate. Rezultatele obținute sunt prezentate în tabelele 4.6. și 4.7.

**Tabelul 4.6. Rezultatele obținute, condiția cu suport solid mobil, regim de durată, cu debitul de epurare 1,25 m<sup>3</sup>/h, debitul recirculat 3,75 m<sup>3</sup>/h**

Nr.	Parametrii	Intrare	Ieșire	Intrare	Ieșire	Intrare	Ieșire	Intrare	Ieșire
1	MS, mg/l	514,0	29,8	487,5	28,9	395,9	28,7	333,2	26,8
2	CCO-Cr, mg/l O	705,5	110,4	715,9	110,2	601,2	109,8	419,7	107,9
3	CBO <sub>5</sub> , mg/l O	383,7	22,6	391,5	22,7	381,2	22,4	282,0	20,2
4	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , mg/l N	27,1	1,9	24,2	1,6	21,2	1,5	22,2	1,8
5	P <sub>total</sub> , mg/l	11,3	0,8	10,6	0,9	10,7	1,2	10,6	1,2

**Tabelul 4.7. Rezultatele gradului de eficiență obținut după epurarea apei uzate, cu suport solid mobil, regim de durată, cu debitul de epurare 1,25 m<sup>3</sup>/h, debitul recirculat 3,75 m<sup>3</sup>/h**

Nr.	Parametrii	Gradul de epurare, %	Gradul de epurare, %	Gradul de epurare, %	Gradul de epurare, %	Mediu, %
1	MS, mg/l	94,20	94,07	91,96	91,95	93,04
2	CCO-Cr, mg/l O	84,35	84,60	81,73	74,29	81,24
3	CBO <sub>5</sub> , mg/l O	94,10	94,20	94,12	92,83	93,81
4	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , mg/l N	92,98	93,38	92,92	91,89	92,79
5	P <sub>total</sub> , mg/l	92,92	91,50	88,78	88,67	90,46

#### **4.4. Regimul hidrodinamic asupra performanțelor procesului de epurare**

Curgerea fluidului (apă uzată – aer), în bazinele de epurare biologică a apelor uzate, este deosebit de importantă pentru multe aplicații în domeniul tehnic. În acest domeniu lucrează multe colective de cercetare, învățământ superior și industrie. Este un domeniu complicat din punct de vedere științific deoarece curgerea fluidelor își are legile ei proprii puțin cunoscute de mulți cercetători. Este un domeniu ce prezintă interese pentru specialiști deoarece dispersia aerului în apă și transferul oxigenului din gaz în mediul apos necesită o cantitate mare de energie. Prezenta teză analizează acest domeniu atât prin cercetări teoretice cât și prin cercetări experimentale cu scopul de a elucida aspectul care apare în crearea și mișcarea bulelor de aer prin mediul apos. În drumul lor ascensional, bulele de aer cedează lichidului, oxigenul atât de necesar procesului biologic. Conceptul de element de fluid sau „punct material” desemnează un volum mic în raport cu dimensiunile reactorului biologic dar suficient de mare pentru a conține un număr considerabil de molecule, pentru care pot fi definite proprietăți continue cum ar fi densitatea și concentrația. Elementele de fluid formează o populație statistică ai cărei indivizi vor avea propriile lor durate de retenție în reactor. Caracterizarea acestei populații, respectiv determinarea curgerii elementelor de fluid are loc prin mărimi statistice uzuale. Pentru analiza regimului hidrodinamic se consideră fluidul ca fiind format din elemente de fluid care pot sau nu să-și păstreze individualitatea la intrarea în reactor în timpul curgerii prin reactor.

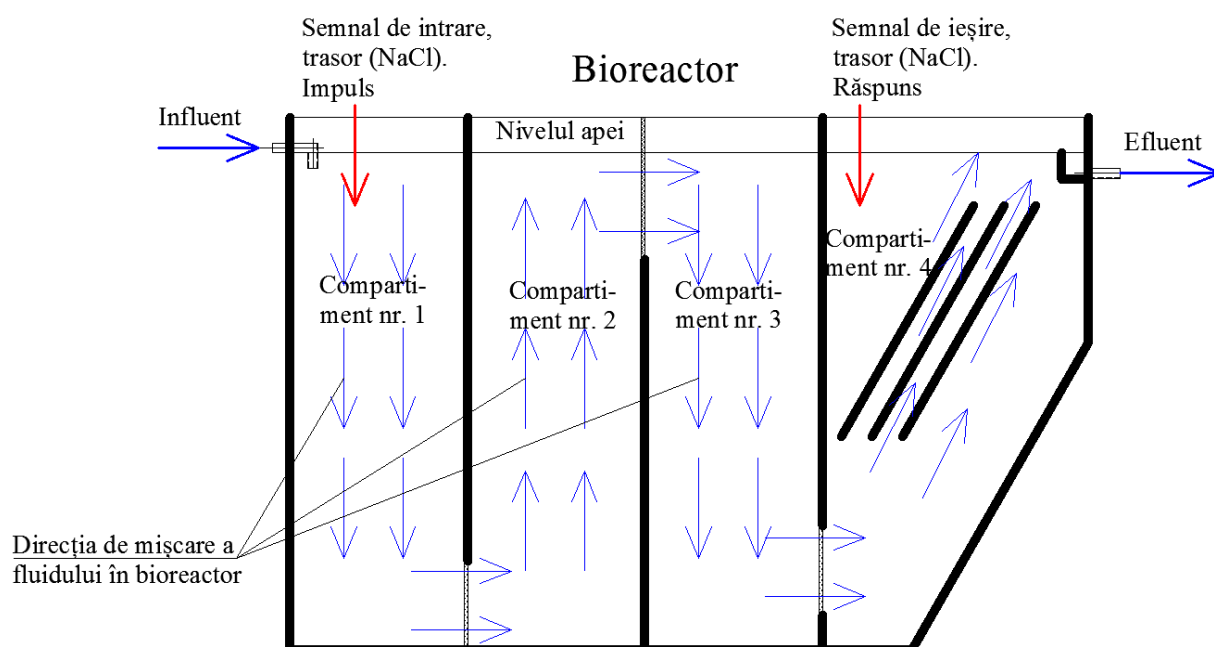
##### ***4.4.1. Metoda experimentală pentru stabilirea regimului hidrodinamic***

Pentru evaluarea funcțiilor de distribuție a vârstelor (regimului hidrodinamic) a fost folosită metoda tehnică impuls – răspuns, care constă în introducerea unui semnal în afluent și măsurarea răspunsului în efluent. Prin analiza răspunsului se obține informația dorită asupra sistemului.

Experimentele se efectuează în lipsa reacției chimice, iar fluidul circulă în regim staționar. Semnalul de intrare este introdus cu ajutorul unui traser care trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- să fie miscibil cu fluidul din aparat și să nu afecteze curgerea;
- să poată fi analizat de preferință prin metode fizice, chiar la concentrații mici;
- să fie inert (să nu reacționeze) cu fluidul din sistem, chiar la concentrații mici;
- să nu fie absorbit de pereții aparatului (instalației);
- să poată fi introdus în sistem în modul impus de tipul experimentului.

Pentru realizarea unui astfel de semnal, traserul se introduce pe traseul fluidului de proces (în primul compartiment). Debitul de traser adăugat determină realizarea unei concentrații,  $C$  (g/l), a acestuia în influent, la intrare. Introducerea traserului și analiza acestuia trebuie făcută cât mai aproape de aparat pentru a minimiza influența curgerii în conductele de alimentare și de evacuare. Traserul se introduce în afluent într-un interval foarte mic de timp, practic  $t = 0$  (toată masa odată). Datorită dispersiei care apare în urma amestecării în timpul curgerii, impulsurile de traser își modifică forma după introducerea în reactor, cu atât mai mult cu cât dispersia este mai mare. Astfel, curba de variație în timp a concentrației traserului la ieșire,  $C_{\text{impuls}}$  (vezi figurile 4.16 – 4.36), devine aplatizată în comparație cu semnalul inițial. Pentru experimente în calitate de traser a fost folosită clorura de sodiu (sarea de bucătărie), NaCl.



**Fig. 4.15. Schema de mișcare a fluidului în reactorul biologic – pilot/experimental**

Experimentele au fost efectuate pentru diferite debite de apă uzată și anume  $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$  și respectiv  $2,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , pentru diferite condiții conform programului efectuării experimentelor descris la capitolul 2.4.1.

Traserul (NaCl) se introduce în influent (direct în primul compartiment) într-un interval foarte mic de timp ( $t = 0$ ).

După un timp suficient de lung ca tot traserul să părăsească instalația-pilot, suprafața de sub curbă este egală cu cantitatea de traser introdusă raportată la unitatea de debit volumetric,  $v$ .

Au fost efectuate 21 de experimente pentru a stabili regimul hidrodinamic al apei uzate în reactorul biologic pentru diferite condiții cu diferite debite de apă și anume:

- condiția numărul 1. Fără suport solid mobil – debite 0,5; 1,0; 2,0 m<sup>3</sup>/h;
  - a. fără aerare și fără recirculare;
  - b. cu aerare, fără recirculare;
  - c. cu aerare și recirculare la diferite debite ale aerliftului (recircularea apei).
- condiția numărul 2. Cu suport solid mobil – debite 0,5; 1,0; 2,0 m<sup>3</sup>/h;
  - a. cu aerare, fără recirculare;
  - b. cu aerare și recirculare la diferite debite ale aerliftului (recircularea apei).

Conform programului efectuării experimentelor în instalația-pilot de epurare a apelor uzate menajere s-au obținut următoarele rezultate:

**Tabelul 4.8. Regimul de tranzit al apei uzate cu debitul de 0,5 m<sup>3</sup>/h.**

**Condițiile: fără suport solid mobil, fără aerare și fără recirculare**

T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l
0-390	1,14	690	2,59	990	2,40	1290	2,00	1590	1,64
450	1,22	750	2,58	1050	2,32	1350	1,93	1650	1,59
510	1,47	810	2,55	1110	2,24	1410	1,85		
570	1,80	870	2,53	1170	2,15	1470	1,77		
630	2,20	930	2,48	1230	2,07	1530	1,68		

**Tabelul 4.9. Regimul de tranzit al apei uzate cu debitul de 1,0 m<sup>3</sup>/h.**

**Condițiile: fără suport solid mobil, fără aerare și fără recirculare**

T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l
0-240	1,42	420	2,64	600	2,43	780	2,10	960	1,80
300	1,50	480	2,64	660	2,28	840	2,01	1020	1,70
360	2,08	540	2,59	720	2,18	900	1,91	1080	1,54

**Tabelul 4.10. Regimul de tranzit al apei uzate cu debitul de 2,0 m<sup>3</sup>/h.**

**Condițiile: fără suport solid mobil, fără aerare și fără recirculare**

T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l
0-150	1,49	270	2,43	390	2,34	510	1,86	630	1,55
210	1,82	330	2,43	450	2,10	570	1,67		

**Tabelul 4.11. Regimul de tranzit al apei uzate cu debitul de 0,5 m<sup>3</sup>/h.**

**Condițiile: fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, fără recirculare**

T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l
0-300	1,40	600	2,33	900	2,13	1200	1,94	1500	1,59
360	1,82	660	2,30	960	2,10	1260	1,89	1560	1,51
420	2,22	720	2,27	1020	2,04	1320	1,84	1620	1,43
480	2,36	780	2,22	1080	2,01	1380	1,78		
540	2,35	840	2,18	1140	1,98	1440	1,70		



**Tabelul 4.12. Regimul de tranzit al apei uzate cu debitul de 1,0 m<sup>3</sup>/h.****Condițiile: fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, fără recirculare**

T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l
0-180	1,48	360	2,25	540	2,13	720	1,85	900	1,65
240	1,94	420	2,25	600	2,03	780	1,80	960	1,56
300	2,30	480	2,22	660	1,93	840	1,73	1020	1,49

**Tabelul 4.13. Regimul de tranzit al apei uzate cu debitul de 2,0 m<sup>3</sup>/h.****Condițiile: fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, fără recirculare**

T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l
0-120	1,42	240	2,20	360	1,89	480	1,50	600	1,41
180	2,21	300	2,06	420	1,69	540	1,44		

**Tabelul 4.14. Regimul de tranzit al apei uzate cu debitul de 0,5 m<sup>3</sup>/h, debit recirc. 1,0 m<sup>3</sup>/h.****Condițiile: fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare**

T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l
0-240	1,40	540	2,32	840	2,15	1140	1,96	1440	1,61
300	1,48	600	2,28	900	2,10	1200	1,91	1500	1,51
360	1,82	660	2,26	960	2,06	1260	1,86	1560	1,44
420	2,16	720	2,23	1020	2,03	1320	1,80	1620	1,41
480	2,32	780	2,20	1080	1,99	1380	1,74	1680	1,40

**Tabelul 4.15. Regimul de tranzit al apei uzate cu debitul de 0,5 m<sup>3</sup>/h, debit recirc. 1,5 m<sup>3</sup>/h.****Condițiile: fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare**

T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l
0-210	1,38	510	2,27	810	2,12	1110	1,83	1410	1,63
270	1,50	570	2,26	870	2,07	1170	1,80	1470	1,58
330	2,12	630	2,23	930	2,01	1230	1,76	1530	1,49
390	2,28	690	2,21	990	1,94	1290	1,71	1590	1,41
450	2,30	750	2,17	1050	1,87	1350	1,67		

**Tabelul 4.16. Regimul de tranzit al apei uzate cu debitul de 1,0 m<sup>3</sup>/h, debit recirc. 2,0 m<sup>3</sup>/h.****Condițiile: fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare**

T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l
0-150	1,59	330	2,17	510	2,06	690	1,94	870	1,67
210	1,73	390	2,20	570	1,97	750	1,83	930	1,58
270	1,96	450	2,17	630	2,04	810	1,75		

**Tabelul 4.17. Regimul de tranzit al apei uzate cu debitul de 1,0 m<sup>3</sup>/h, debit recirc. 3,0 m<sup>3</sup>/h.****Condițiile: fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare**

T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l
0-150	1,50	330	2,36	510	2,18	690	2,02	870	1,74
210	1,87	390	2,33	570	2,10	750	1,95		
270	2,25	450	2,25	630	2,11	810	1,88		

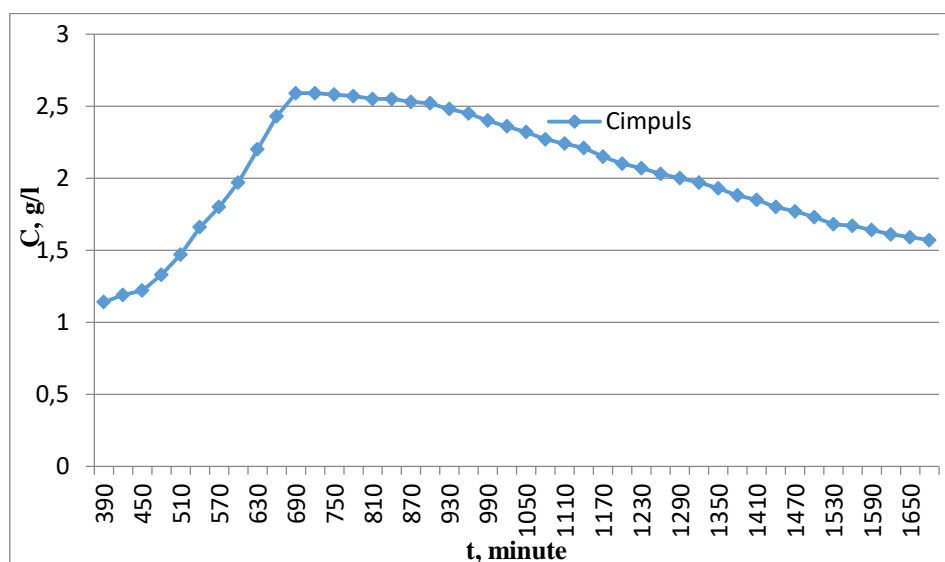
**Tabelul 4.18. Regimul de tranzit al apei uzate cu debitul de 2,0 m<sup>3</sup>/h, debit recirc. 4,0 m<sup>3</sup>/h.**  
**Condițiile: fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare**

T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l
0-120	1,53	300	2,26	480	1,89	660	1,70	880	1,48
180	2,44	360	2,12	540	1,86	720	1,66		
240	2,40	420	1,98	600	1,76	780	1,53		

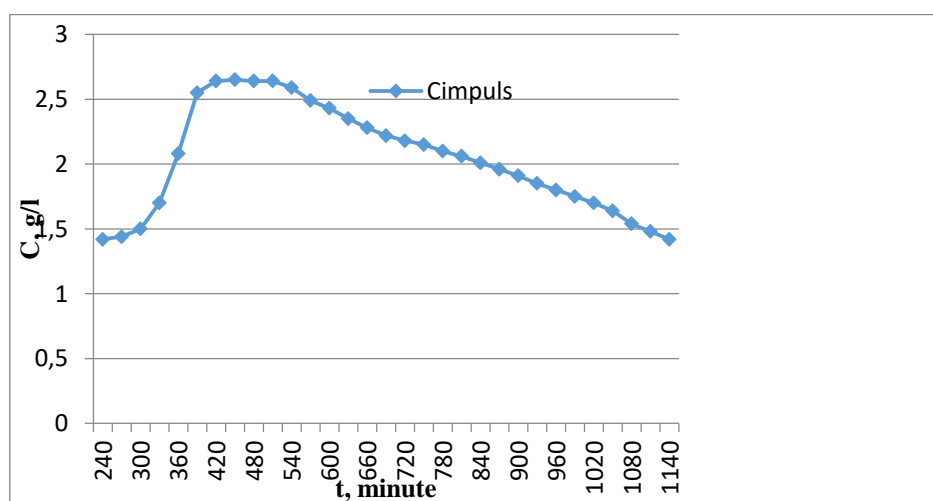
**Tabelul 4.19. Regimul de tranzit al apei uzate cu debitul de 2,0 m<sup>3</sup>/h, debit recirc. 6,0 m<sup>3</sup>/h.**  
**Condițiile: fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare**

T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l
0-60	1,59	180	2,41	300	2,08	420	1,85	540	1,77
120	2,35	240	2,27	360	1,90	480	1,81	600	1,62

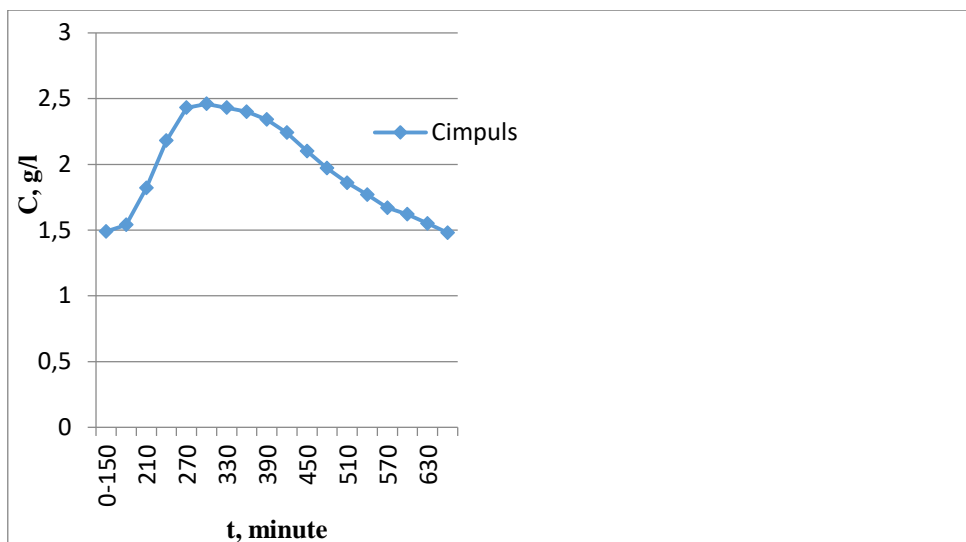
Rezultatele (curba C<sub>impuls</sub>) obținute sunt prezentate în graficele de mai jos.



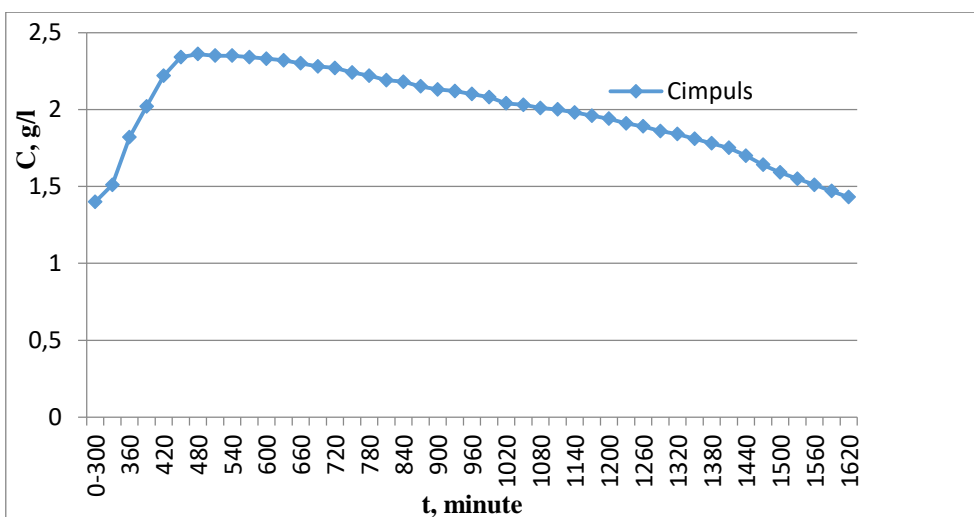
**Fig. 4.16. Curba C<sub>impuls</sub> pentru debitul pompat de 0,5 m<sup>3</sup>/h, cu condițiile – fără suport solid mobil, fără aerare și fără recirculare**



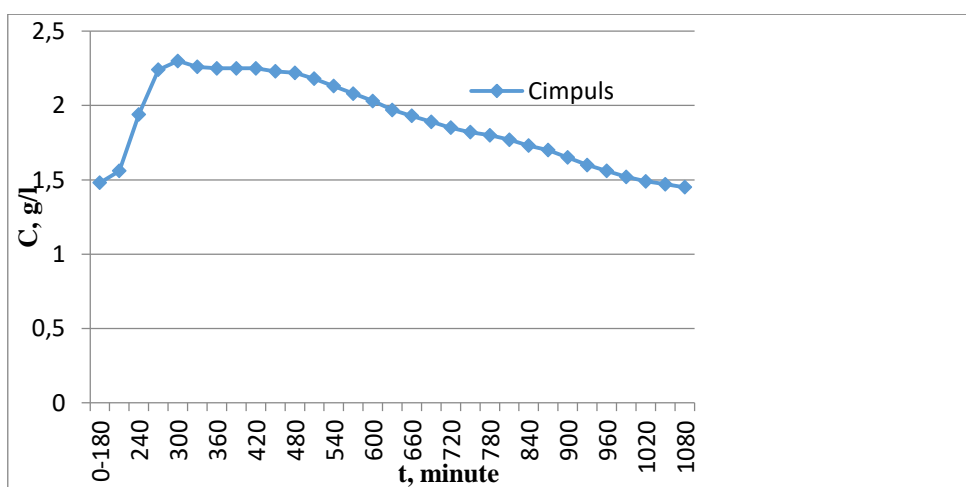
**Fig. 4.17. Curba C<sub>impuls</sub> pentru debitul pompat de 1,0 m<sup>3</sup>/h, cu condițiile – fără suport solid mobil, fără aerare și fără recirculare**



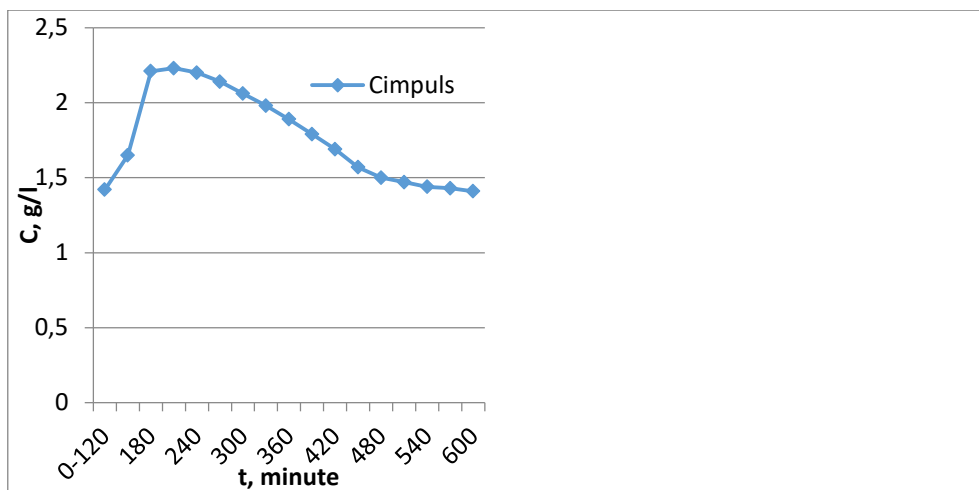
**Fig. 4.18. Curba  $C_{\text{impuls}}$  pentru debitul pompat de  $2,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile – fără suport solid mobil, fără aerare și fără recirculare**



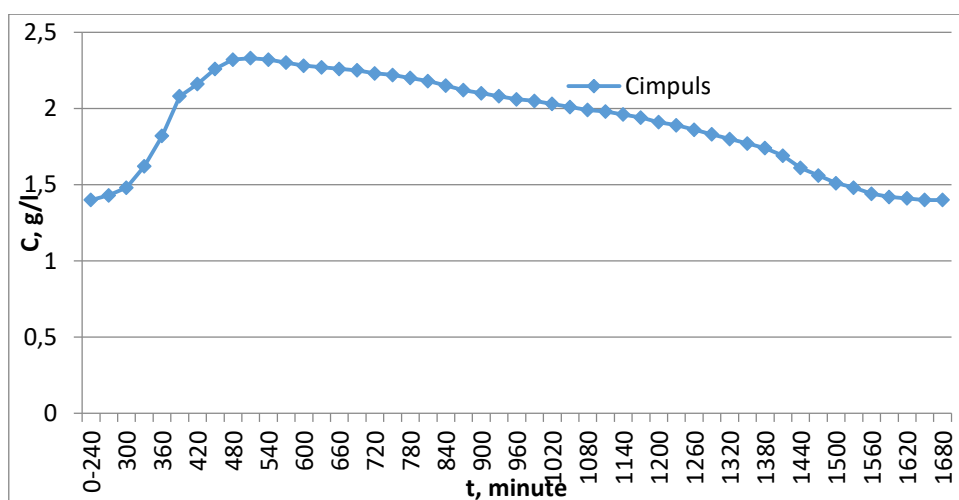
**Fig. 4.19. Curba  $C_{\text{impuls}}$  pentru debitul pompat de  $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile – fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, fără recirculare**



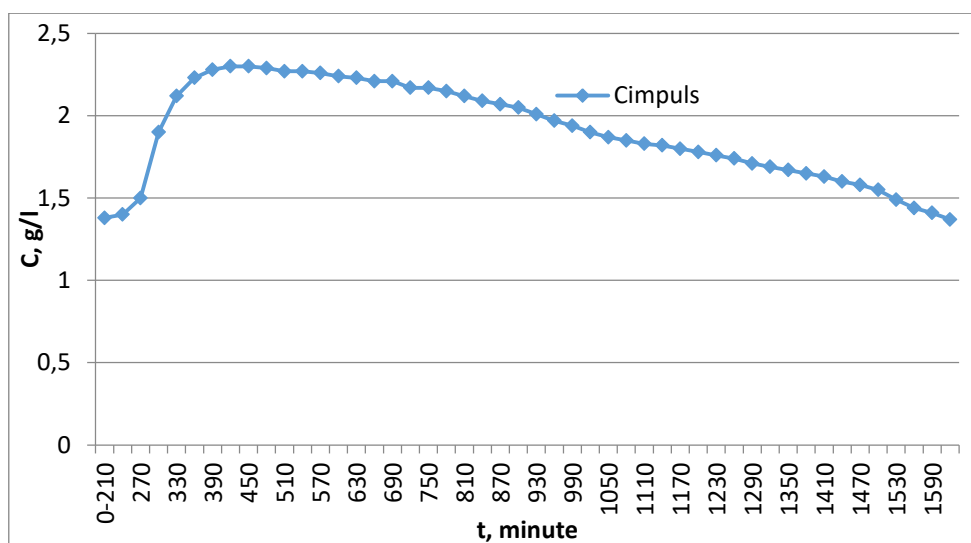
**Fig. 4.20. Curba  $C_{\text{impuls}}$  pentru debitul pompat de  $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile – fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, fără recirculare**



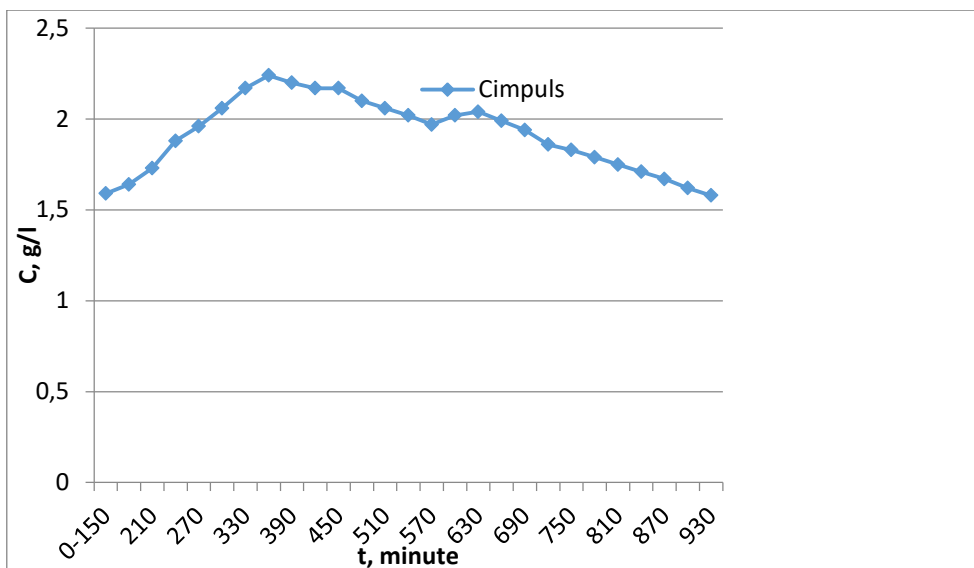
**Fig. 4.21.** Curba  $C_{\text{impuls}}$  pentru debitul pompat de  $2,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile – fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, fără recirculare



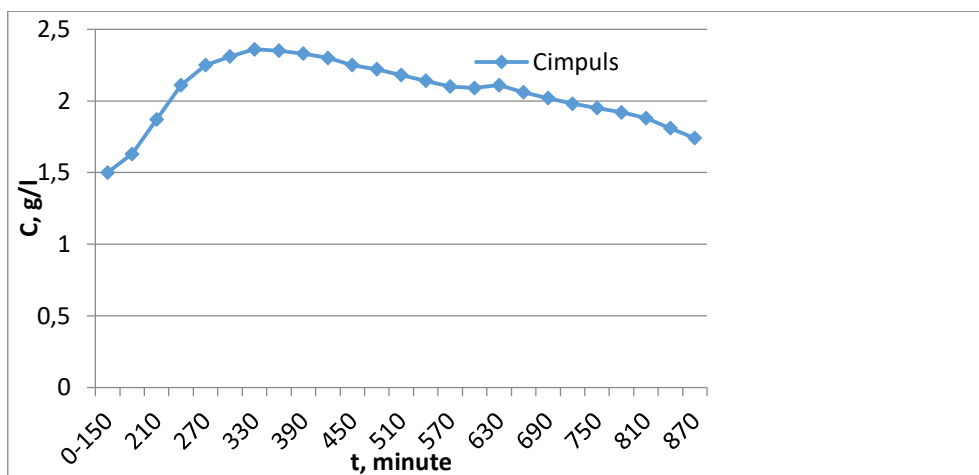
**Fig. 4.22.** Curba  $C_{\text{impuls}}$  pentru debitul pompat de  $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ , debitul recirculat  $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile – fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare



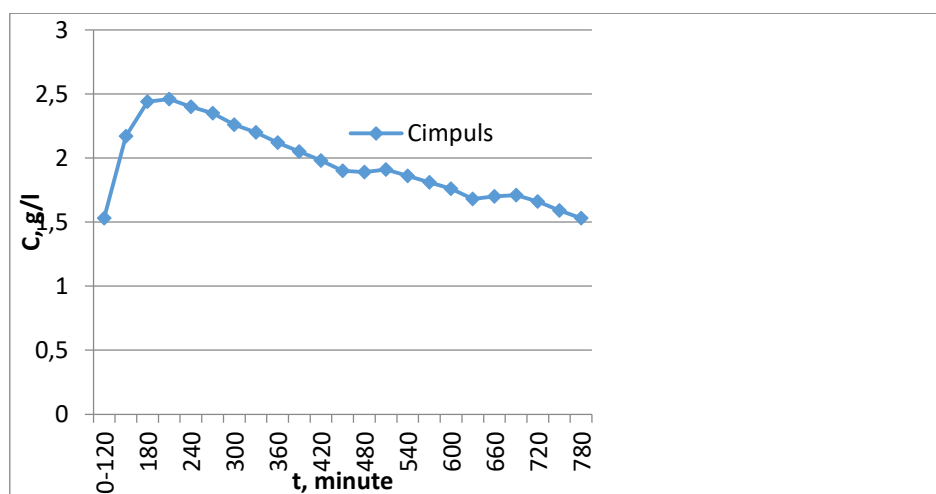
**Fig. 4.23.** Curba  $C_{\text{impuls}}$  pentru debitul pompat de  $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ , debitul recirculat  $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile – fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare



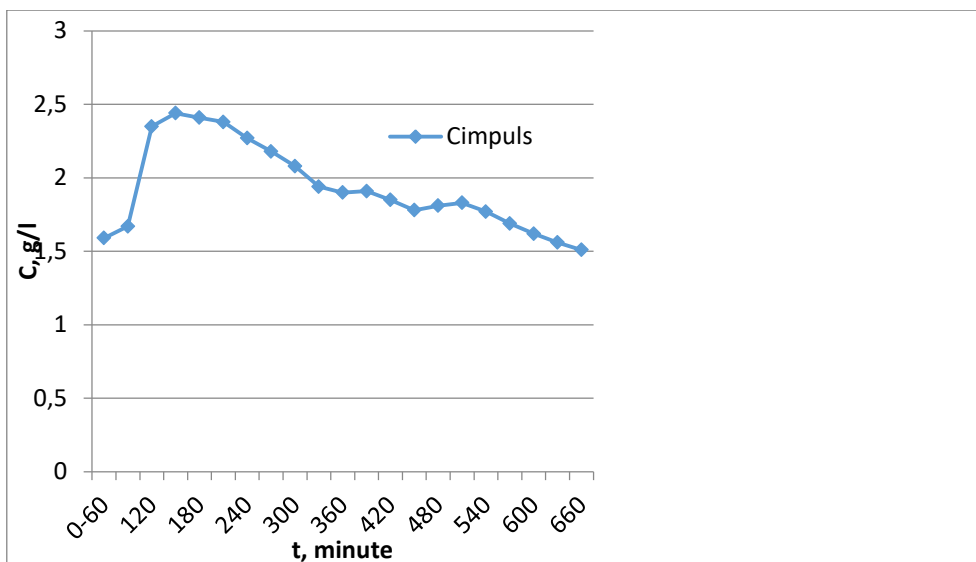
**Fig. 4.24.** Curba  $C_{\text{impuls}}$  pentru debitul pompat de  $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , debitul recirculat  $2,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile – fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare



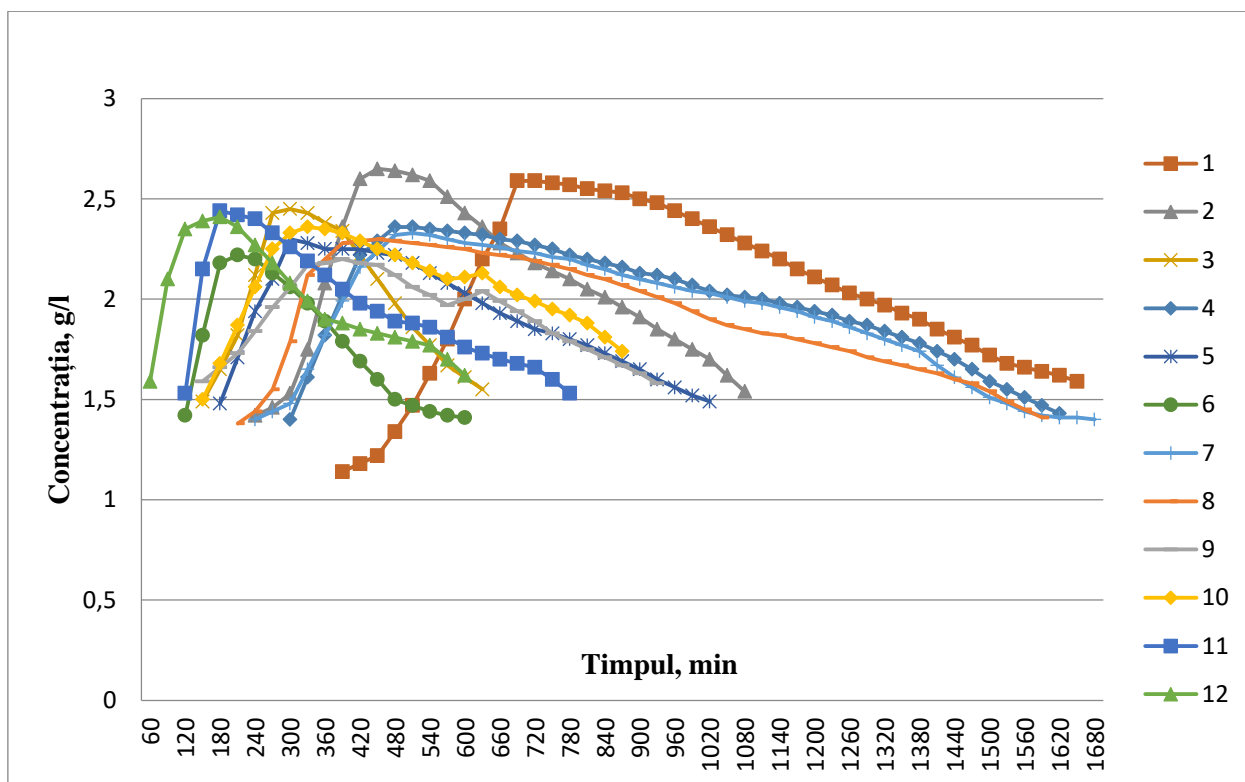
**Fig. 4.25.** Curba  $C_{\text{impuls}}$  pentru debitul pompat de  $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , debitul recirculat  $3,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile – fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare



**Fig. 4.26.** Curba  $C_{\text{impuls}}$  pentru debitul pompat de  $2,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , debitul recirculat  $4,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile – fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare



**Fig. 4.27. Curba  $C_{impuls}$  pentru debitul pompat de  $2,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , debitul recirculat  $6,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile – fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare**



**Fig. 4.28. Grafic cetalizator pentru curba  $C_{impuls}$  fără SSM pentru următoarele condiții:**  
**1, 2, 3 - fără aerare și fără recirculare debitele  $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $2,0 \text{ m}^3/\text{h}$ ;**  
**4, 5, 6 - cu aerare, cu mixare, fără recirculare debitele  $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $2,0 \text{ m}^3/\text{h}$ ;**  
**7 - 12 - cu aerare, cu mixare, cu recirculare debitele  $0,5/1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $0,5/1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $1,0/2,0 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $1,0/3,0 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $2,0/4,0 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $2,0/6,0 \text{ m}^3/\text{h}$**

Piesele/elementele de suport solid mobil (SSM) sunt confecționate din polietilenă care servesc la fixarea biomasei/biofilmului suplimentar la flocoanele de biomasă suspendată (nămol activ). Piesele/elementele de SSM ocupă aproximativ 50 și 60 % din volumul total al

bioreactoarelor. În bioreactoare apa uzată întâlnește piesele/elementele de SSM și împreună formează o masă comună. Această masă (suport solid mobil – apă uzată) este aerată intensiv cu aer comprimat cu ajutorul conductelor de aerare cu bule medii. Aerul propulsat din conductele de aerare cu bule medii duce la rotirea permanentă a pieselor/elementelor de SSM ceea ce conduce la fixarea biomasei și respectiv la formarea biofilmului pe suprafață și în interiorul acestor piese/elemente de suport solid mobil. Suprafața specifică a pieselor/elementelor de suport solid mobil este în jur de  $650 \text{ m}^2/\text{m}^3$ . Densitatea specifică este aproximativ egală cu 1, ceea ce permite pieselor/elementelor de suport solid mobil să plutească liber prin apă.

Avantajele pieselor/elementelor de suport solid mobil (SSM):

- majorarea suprafeței de fixare a biomasei/biofilmului până la  $650 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ;
- permite instalației de epurare adaptarea la șocuri de sarcină;
- piesele/elementele de suport solid mobil pot fi folosite la diferite bioreactoare;
- fixarea microorganismelor, majorează timpul de retenție în sistem a acestora, în rezultat având loc o reducere substanțială a consumului de substrat pentru sinteza de noi celule bacteriene și, respectiv, este mai mică producția de biomasă în exces (nămol biologic).

**Tabelul 4.20. Regimul de tranzit al apei uzate cu debitul de  $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ .**

**Condițiile: cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, fără recirculare**

T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l
0-120	1,68	480	2,63	840	2,38	1200	2,15	1560	1,85
180	1,69	540	2,62	900	2,33	1260	2,11	1620	1,81
240	1,73	600	2,55	960	2,30	1320	2,08	1680	1,73
300	1,84	660	2,52	1020	2,25	1380	2,03	1740	1,69
360	2,16	720	2,50	1080	2,22	1440	1,98	1800	1,68
420	2,50	780	2,44	1140	2,18	1500	1,93		

**Tabelul 4.21. Regimul de tranzit al apei uzate cu debitul de  $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ .**

**Condițiile: cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, fără recirculare**

T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l
0-90	1,29	330	2,30	570	2,19	810	2,01	1050	1,86
150	1,34	390	2,27	630	2,14	870	1,97	1110	1,82
210	1,99	450	2,26	690	2,09	930	1,93	1170	1,78
270	2,21	510	2,22	750	2,05	990	1,90	1230	1,74

**Tabelul 4.22. Regimul de tranzit al apei uzate cu debitul de  $2,0 \text{ m}^3/\text{h}$ .**

**Condițiile: cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, fără recirculare**

T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l
0-60	1,74	180	2,65	300	2,53	420	2,16	540	1,93
120	2,11	240	2,64	360	2,38	480	2,04	600	1,82

**Tabelul 4.23. Regimul de tranzit al apei uzate cu debitul de 0,5 m<sup>3</sup>/h, debit recirc. 1,0 m<sup>3</sup>/h.**  
**Condițiile: cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare**

T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l
0-90	1,57	570	2,44	1050	2,17	1530	1,89	2010	1,69
150	1,61	630	2,40	1110	2,15	1590	1,87	2070	1,66
210	1,79	690	2,37	1170	2,12	1650	1,85	2130	1,62
270	2,08	750	2,34	1230	2,08	1710	1,83	2190	1,59
330	2,44	810	2,31	1290	2,05	1770	1,81		
390	2,51	870	2,28	1350	2,02	1830	1,79		
450	2,51	930	2,25	1410	1,97	1890	1,76		
510	2,46	990	2,20	1470	1,93	1950	1,73		

**Tabelul 4.24. Regimul de tranzit al apei uzate cu debitul de 0,5 m<sup>3</sup>/h, debit recirc. 1,5 m<sup>3</sup>/h.**  
**Condițiile: cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare**

T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l
0-90	1,67	510	2,53	930	2,28	1350	2,00	1770	1,86
150	1,69	570	2,50	990	2,19	1410	1,97	1830	1,81
210	1,72	630	2,47	1050	2,19	1470	1,94	1890	1,78
270	1,88	690	2,44	1110	2,18	1530	1,92	1950	1,75
330	2,18	750	2,38	1170	2,14	1590	1,90	2010	1,75
390	2,50	810	2,35	1230	2,08	1650	1,88	2070	1,73
450	2,55	870	2,31	1290	2,04	1710	1,86	2130	1,70

**Tabelul 4.25. Regimul de tranzit al apei uzate cu debitul de 1,0 m<sup>3</sup>/h, debit recirc. 2,0 m<sup>3</sup>/h.**  
**Condițiile: cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare**

T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l
0-90	1,47	450	2,16	810	1,94	1170	1,76	1530	1,60
150	1,55	510	2,14	870	1,92	1230	1,73	1590	1,56
210	1,88	570	2,11	930	1,88	1290	1,71	1650	1,52
270	2,10	630	2,05	990	1,85	1350	1,68	1710	1,47
330	2,27	690	2,03	1050	1,83	1410	1,66		
390	2,22	750	1,99	1110	1,79	1470	1,63		

**Tabelul 4.26. Regimul de tranzit al apei uzate cu debitul de 1,0 m<sup>3</sup>/h, debit recirc. 3,0 m<sup>3</sup>/h.**  
**Condițiile: cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare**

T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l
0-60	1,74	300	2,66	540	2,41	780	2,18	1020	1,79
120	2,11	360	2,60	600	2,34	840	2,08	1080	1,77
180	2,70	420	2,52	660	2,28	900	1,93	1140	1,76
240	2,73	480	2,46	720	2,24	960	1,84	1200	1,75

**Tabelul 4.27. Regimul de tranzit al apei uzate cu debitul de 2,0 m<sup>3</sup>/h, debit recirc. 4,0 m<sup>3</sup>/h.**  
**Condițiile: cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare**

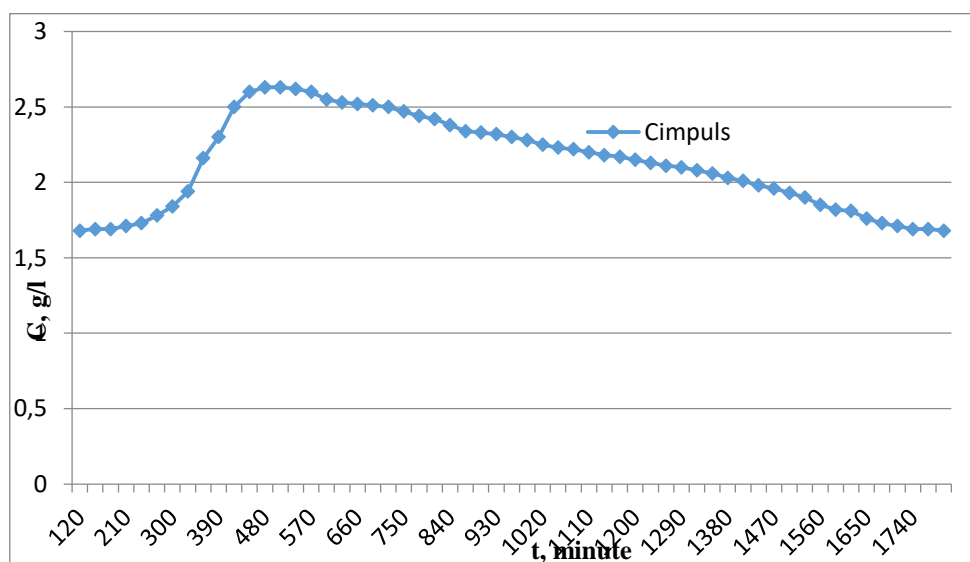
T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l
0-30	1,87	210	2,88	390	2,28	570	1,94	750	1,85
90	2,28	270	2,73	450	2,13	630	1,91		
150	2,99	330	2,49	510	1,98	690	1,88		



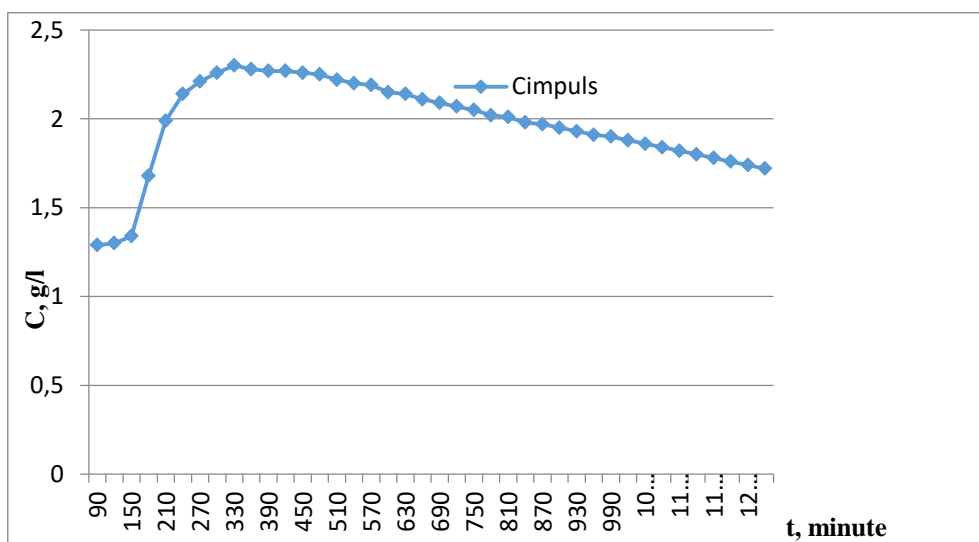
**Tabelul 4.28. Regimul de tranzit al apei uzate cu debitul de 2,0 m<sup>3</sup>/h, debit recirc. 6,0 m<sup>3</sup>/h.**  
**Condițiile: cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare**

T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l	T,min	C, g/l
0-30	1,63	210	2,21	390	1,93	570	1,73		
90	1,88	270	2,17	450	1,84	630	1,67		
150	2,30	330	2,02	510	1,79				

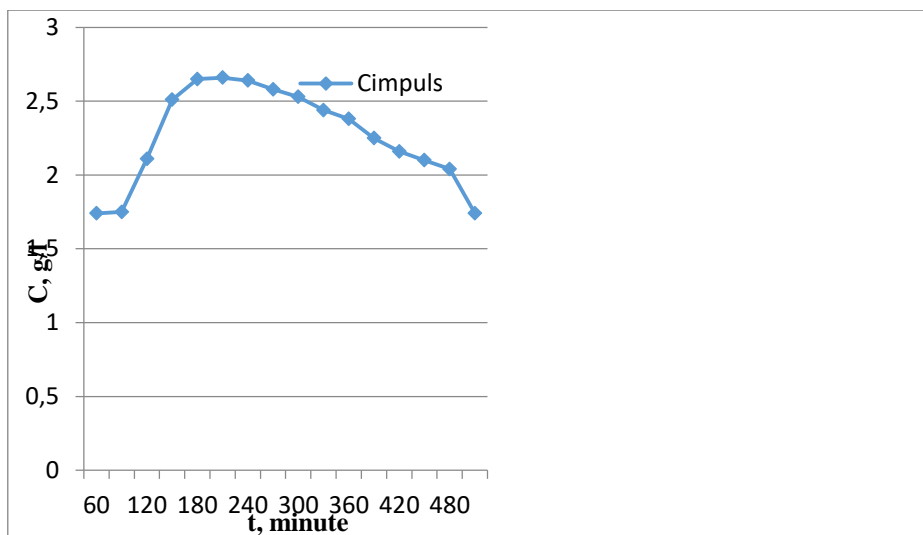
Rezultatele (curba C<sub>impuls</sub>) obținute sunt prezentate în graficele de mai jos.



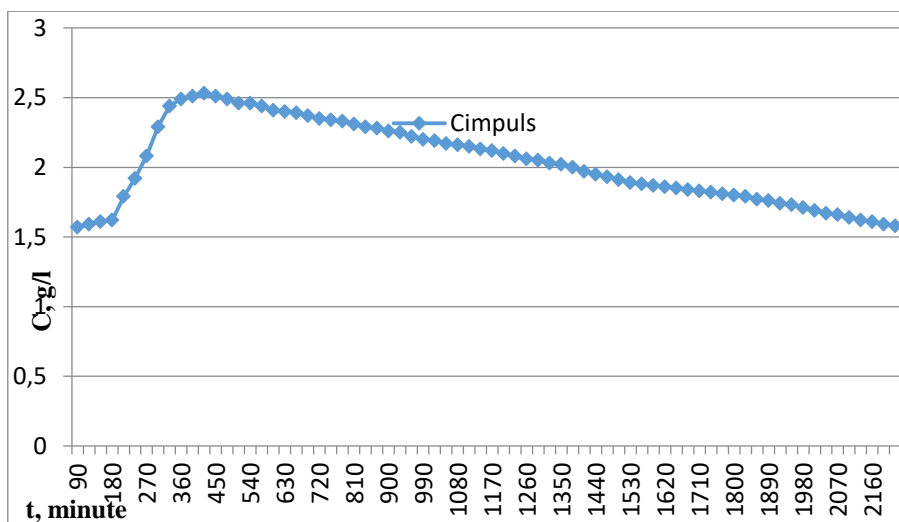
**Fig. 4.29. Curba C<sub>impuls</sub> pentru debitul pompat de 0,5 m<sup>3</sup>/h, cu condițiile – cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, fără recirculare**



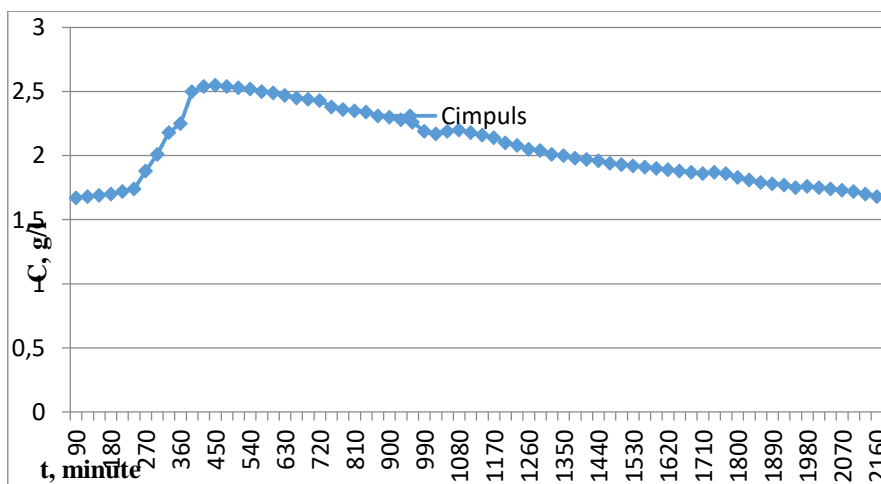
**Fig. 4.30. Curba C<sub>impuls</sub> pentru debitul pompat de 1,0 m<sup>3</sup>/h, cu condițiile – cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, fără recirculare**



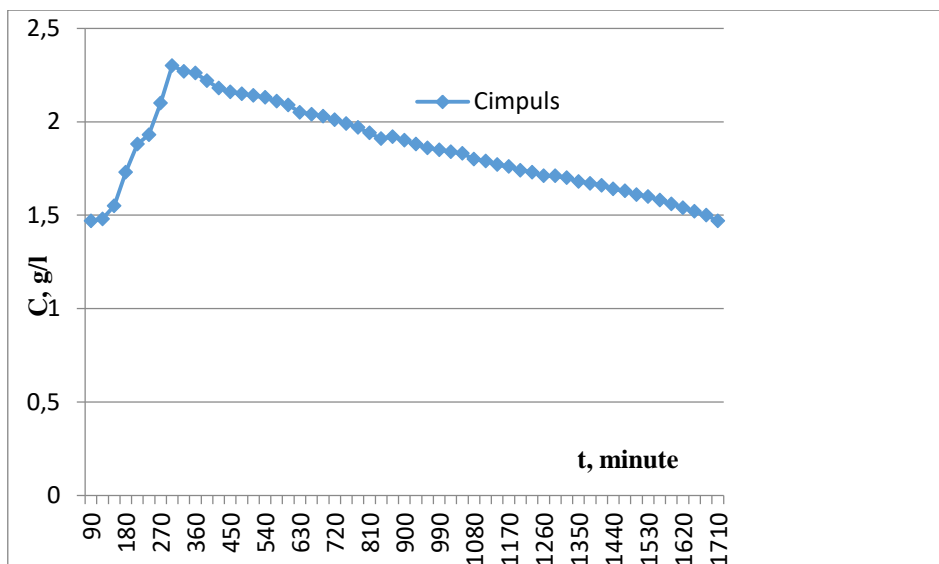
**Fig. 4.31. Curba  $C_{impuls}$  pentru debitul pompat de  $2,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile – cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, fără recirculare**



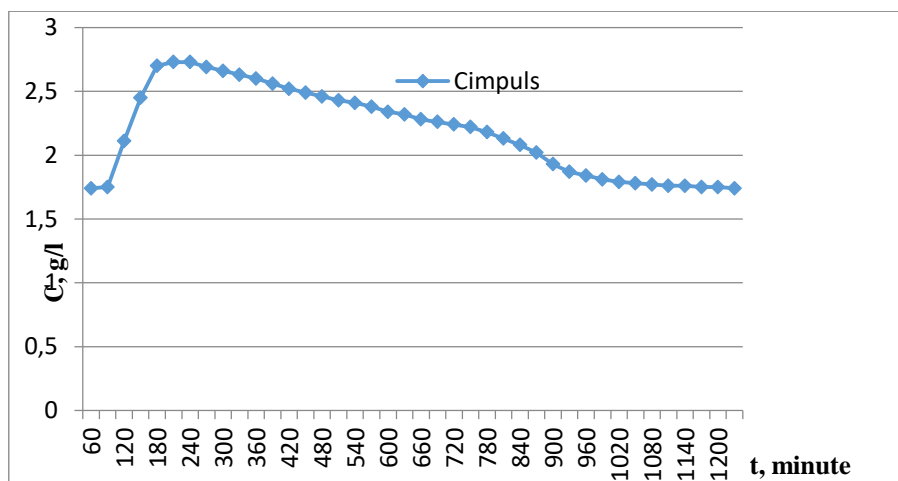
**Fig. 4.32. Curba  $C_{impuls}$  pentru debitul pompat de  $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ , debitul recirculat  $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile – cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare**



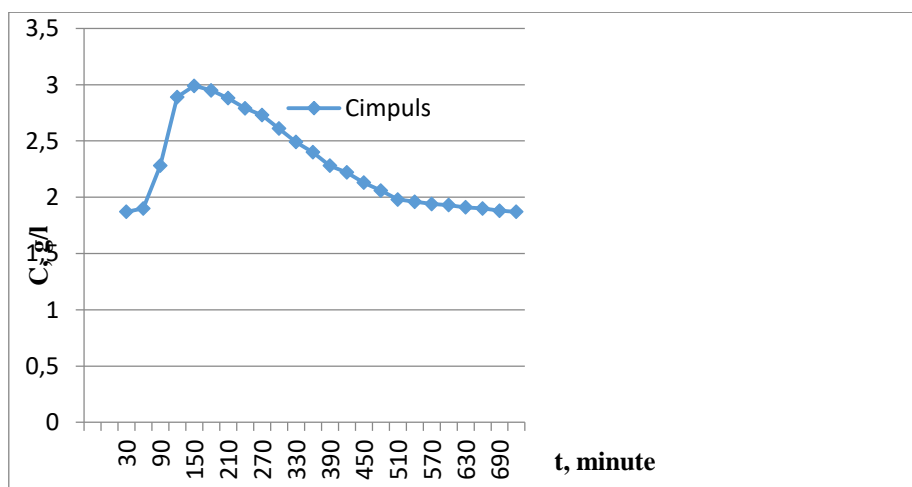
**Fig. 4.33. Curba  $C_{impuls}$  pentru debitul pompat de  $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ , debitul recirculat  $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile – cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare**



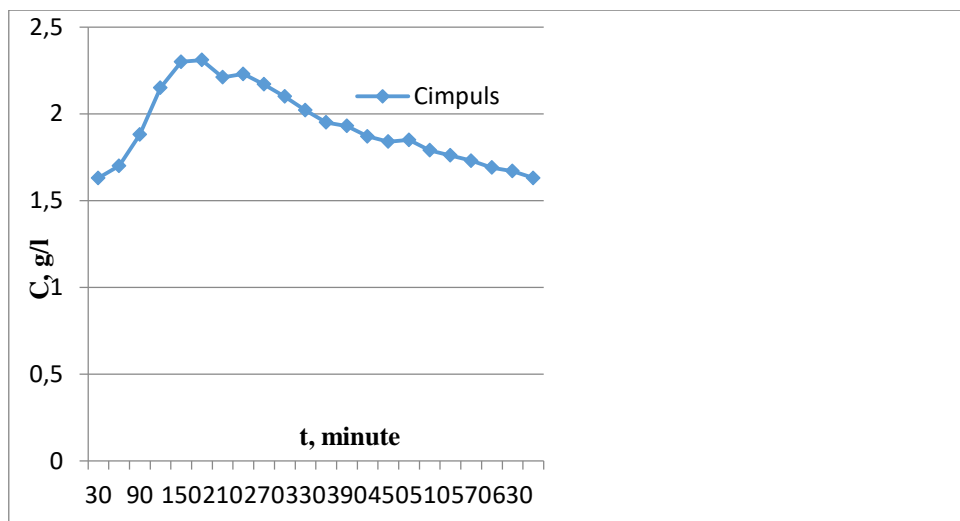
**Fig. 4.34. Curba  $C_{impuls}$  pentru debitul pompat de  $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , debitul recirculat  $2,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile – cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare**



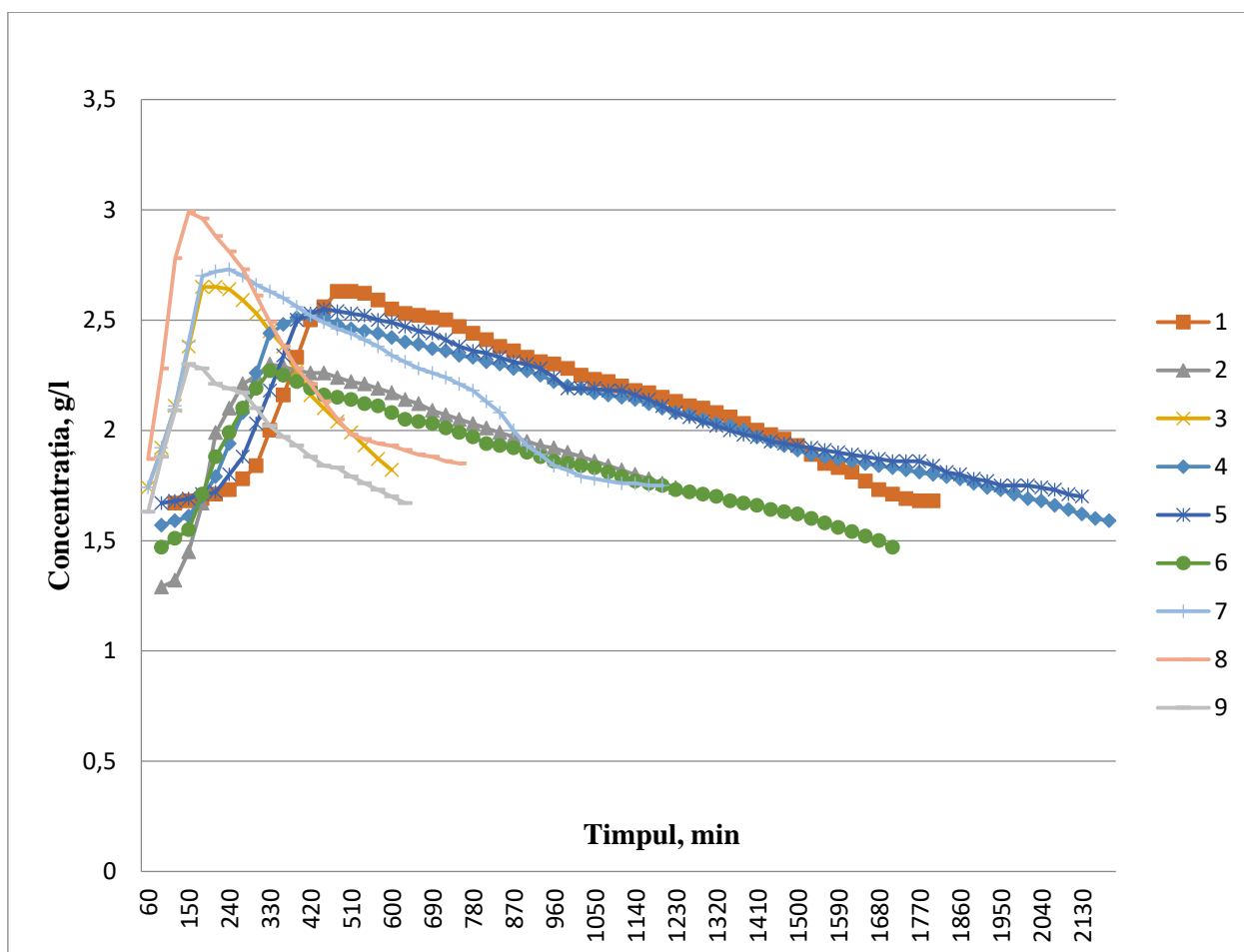
**Fig. 4.35. Curba  $C_{impuls}$  pentru debitul pompat de  $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , debitul recirculat  $3,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile – cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare**



**Fig. 4.36. Curba  $C_{impuls}$  pentru debitul pompat de  $2,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , debitul recirculat  $4,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile – cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare**



**Fig. 4.37. Curba  $C_{impuls}$  pentru debitul pompat de  $2,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , debitul recirculat  $6,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile – cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare**



**Fig. 4.38. Grafic cetalizator pentru curba  $C_{impuls}$  cu SSM pentru următoarele condiții:  
 1, 2, 3 - cu aerare, cu mixare, fără recirculare debitele  $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $2,0 \text{ m}^3/\text{h}$ ;  
 4 - 9 - cu aerare, cu mixare, cu recirculare debitele  $0,5/1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $0,5/1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $1,0/2,0 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  
 $1,0/3,0 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $2,0/4,0 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $2,0/6,0 \text{ m}^3/\text{h}$**

#### 4.4.2. Calculul modelului de dispersie, $D/uL$

După obținerea curbelor  $C_{\text{impuls}}$  s-a trecut la calculul modelului de dispersie ( $D/uL$ ) pentru a stabili unde se află reactorul biologic experimental față de informația existentă în literatura de specialitate, adică stabilirea gradului de dispersie a fluidului (apă uzată - aer), de tip piston, amestec complet sau undeva între aceste două tipuri.

Calculul modelului (gradului) de dispersie ( $D/uL$ ) au fost efectuate cu ajutorul formulelor 3.45, 3.47, 3.52 și 3.58. Rezultatele acestor calcule sunt prezentate în tabelele de mai jos.

Exemple de calcul:

$$\bar{t} = \frac{\int_0^{\infty} t \cdot C \cdot dt}{\int_0^{\infty} C \cdot dt} = \frac{\sum t_i \cdot C_i \cdot \Delta t_i}{\sum C_i \cdot \Delta t_i} = \frac{39232,8}{38,5} = 1019,03 \text{ , min} = 16,98 \text{ ore}$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum (t_i - \bar{t})^2 \cdot C_i \cdot \Delta t_i}{\sum C_i \cdot \Delta t_i} = \frac{\sum t_i^2 \cdot C_i \cdot \Delta t_i}{\sum C_i \cdot \Delta t_i} - \bar{t}^2 = \frac{43519860}{38,5} - 1038430 = 91955,97$$

$$\delta_{\theta}^2 = \frac{\delta_t^2}{\bar{t}^2} = \frac{91955,97}{1038430} = 0,88$$

$$\sigma_{\theta}^2 = 2 \cdot \frac{D}{uL} + 8 \cdot \left( \frac{D}{uL} \right)^2 \text{ , această relație o transformăm într-o formulă de gradul 2 și obținem:}$$

$$8 \cdot \left( \frac{D}{uL} \right)^2 + 2 \cdot \frac{D}{uL} - \sigma_{\theta}^2 = 0$$

$$8 \cdot \left( \frac{D}{uL} \right)^2 + 2 \cdot \frac{D}{uL} - 0,088 = 0$$

Din relația obținută s-a calculat ecuația de gradul 2.

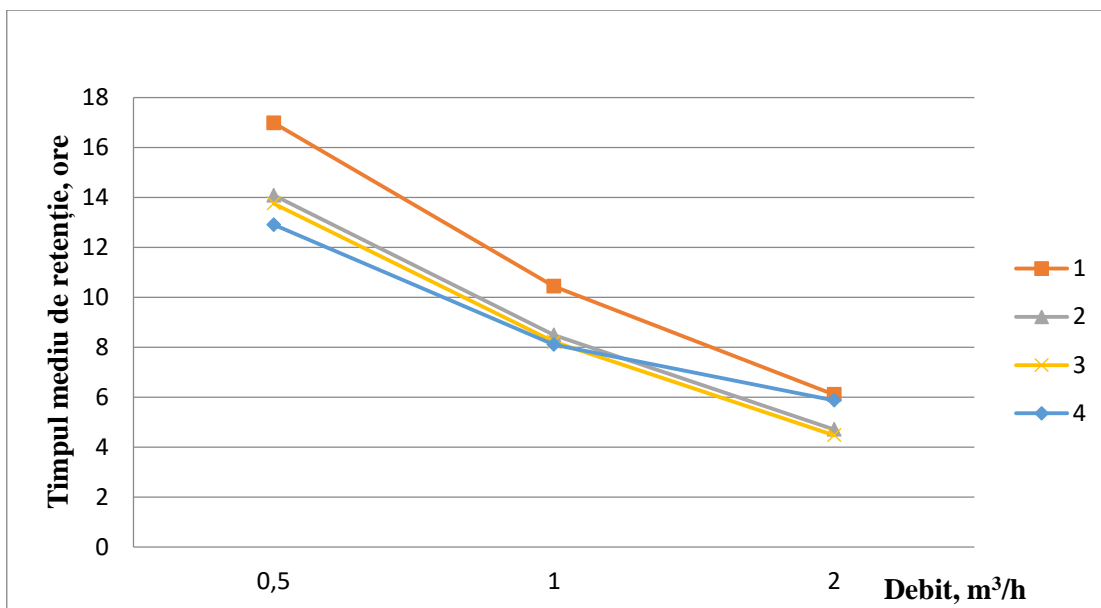
$$\Delta = b^2 - 4 \cdot a \cdot c = 2^2 - 4 \cdot 8 \cdot (-0,088) = 4 + 2,81 = 6,81$$

$$\left(\frac{D}{uL}\right) = \frac{-b + \sqrt{\Delta}}{2 \cdot a} = \frac{-2 + \sqrt{6,81}}{2 \cdot 8} = \frac{-2 + 2,60}{16} = \frac{0,60}{16} = 0,037$$

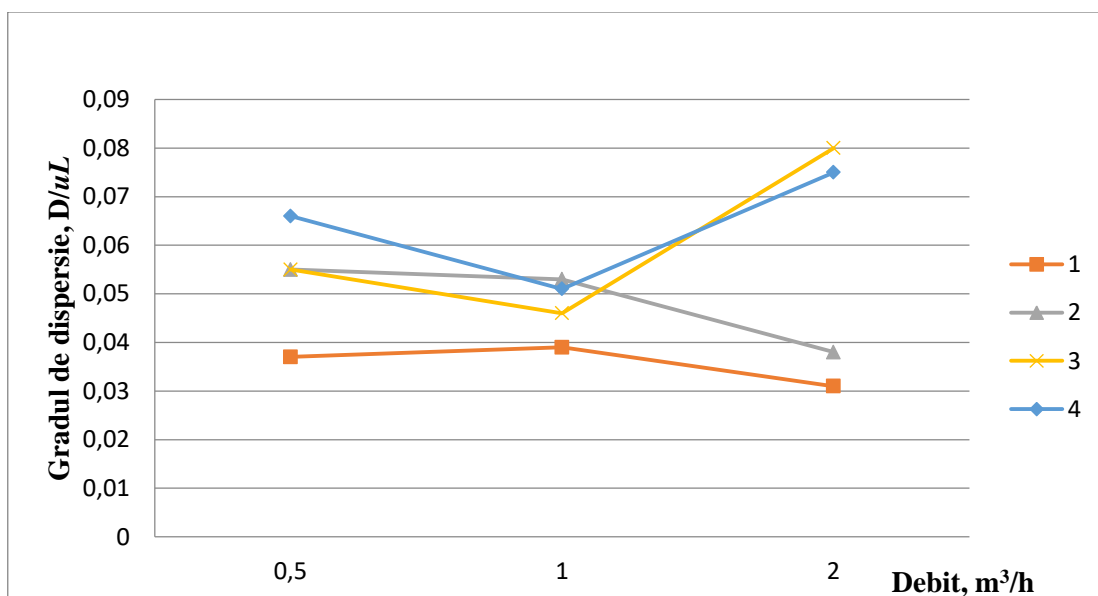
La fel ca și calculele de mai sus au fost efectuate calcule pentru fiecare caz în parte. Rezultatele obținute sunt prezentate în tabelele de mai jos.

**Tabelul 4.29. Rezultatele modelului de dispersie obținute pentru condiția numărul 1. Fără suport solid mobil - debite 0,5; 1,0; 2,0 m<sup>3</sup>/h**

Nr.	Condițiile	$\bar{t}$ , ore	$\delta^2$	$\delta^2_{\theta}$	D/uL
1	Debitul - 0,5 m <sup>3</sup> /h, fără suport solid mobil, fără aerare și fără recirculare	16,98	91955,97	0,088	0,037
2	Debitul - 1,0 m <sup>3</sup> /h, fără suport solid mobil, fără aerare și fără recirculare	10,44	36198,34	0,092	0,039
3	Debitul - 2,0 m <sup>3</sup> /h, fără suport solid mobil, fără aerare și fără recirculare	6,11	9784,37	0,072	0,031
4	Debitul - 0,5 m <sup>3</sup> /h, fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, fără recirculare	14,09	98312,0,5	0,137	0,055
5	Debitul - 1,0 m <sup>3</sup> /h, fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, fără recirculare	8,49	34425,32	0,132	0,053
6	Debitul - 2,0 m <sup>3</sup> /h, fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, fără recirculare	4,71	7313,98	0,091	0,038
7	Debitul - 0,5 m <sup>3</sup> /h, debitul recirculat 1,0 m <sup>3</sup> /h, fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare	13,76	92935,82	0,136	0,055
8	Debitul - 0,5 m <sup>3</sup> /h, debitul recirculat 1,5 m <sup>3</sup> /h, fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare	12,91	102388,85	0,170	0,066
9	Debitul - 1,0 m <sup>3</sup> /h, debitul recirculat 2,0 m <sup>3</sup> /h, fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare	8,22	27357,44	0,112	0,046
10	Debitul - 1,0 m <sup>3</sup> /h, debitul recirculat 3,0 m <sup>3</sup> /h, fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare	8,11	30197,20	0,127	0,051
11	Debitul - 2,0 m <sup>3</sup> /h, debitul recirculat 4,0 m <sup>3</sup> /h, fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare	4,48	15380,31	0,212	0,080
12	Debitul - 2,0 m <sup>3</sup> /h, debitul recirculat 6,0 m <sup>3</sup> /h, fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare	5,88	24332,87	0,195	0,075



**Fig. 4.39. Variația timpului de retenție fără SSM pentru următoarele condiții:**  
**1 - fără aerare și fără recirculare; 2 - cu aerare, cu mixare, fără recirculare;**  
**3, 4 - cu aerare, cu mixare, cu recirculare**

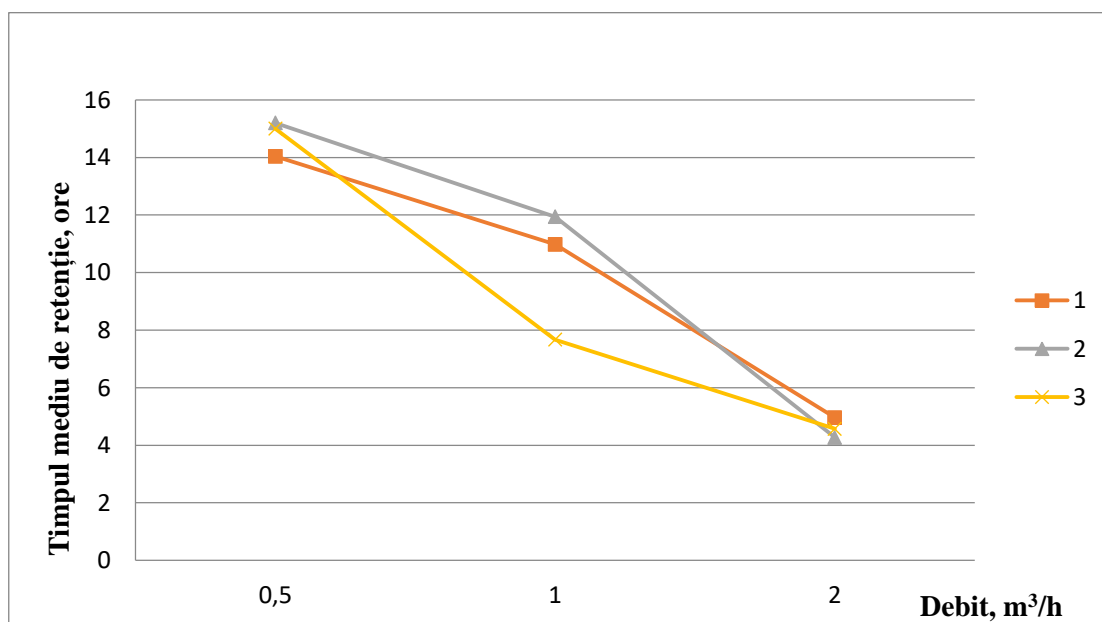


**Fig. 4.40. Gradul de dispersie  $D/uL$  fără SSM pentru următoarele condiții:**  
**1 - fără aerare și fără recirculare; 2 - cu aerare, cu mixare, fără recirculare;**  
**3, 4 - cu aerare, cu mixare, cu recirculare**

**Tabelul 4.30. Rezultatele modelului de dispersie obținute pentru condiția numărul 2.**  
**Cu suport solid mobil - debite 0,5; 1,0; 2,0 m³/h**

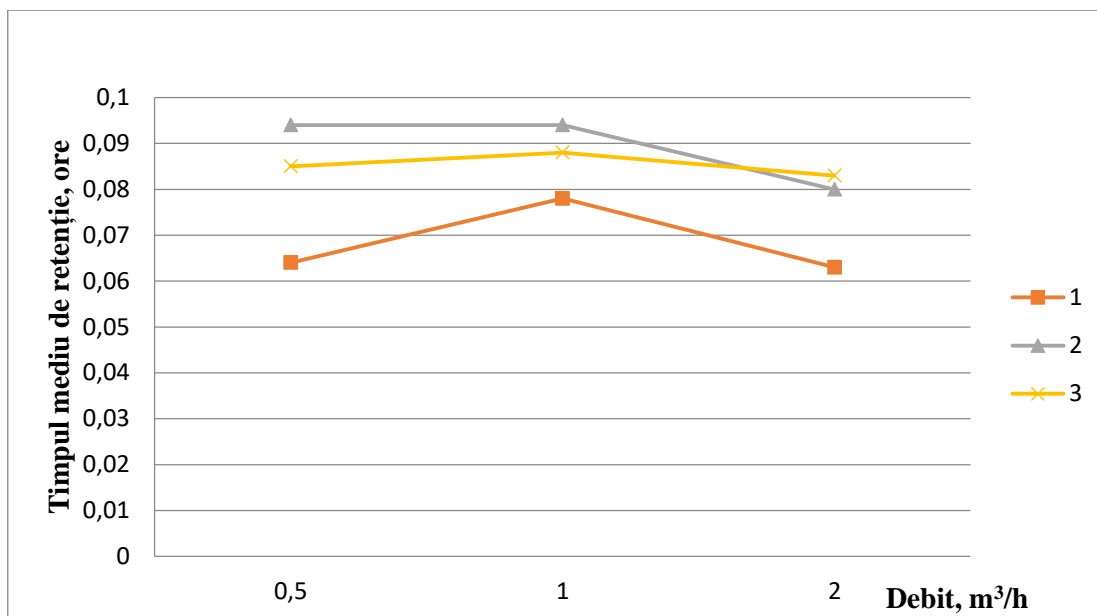
Nr.	Condițiile	$\bar{t}$ , ore	$\delta^2$	$\delta_0^2$	$D/uL$
1	Debitul - 0,5 m³/h, cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, fără recirculare	14,04	116008,95	0,163	0,064
2	Debitul - 1,0 m³/h, cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, fără recirculare	10,98	89838,52	0,206	0,078

3	Debitul - 2,0 m <sup>3</sup> /h, cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, fără recirculare	4,96	14040,66	0,158	0,063
4	Debitul - 0,5 m <sup>3</sup> /h, debitul recirculat 1,0 m <sup>3</sup> /h, cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare	15,20	218263,56	0,262	0,094
5	Debitul - 0,5 m <sup>3</sup> /h, debitul recirculat 1,5 m <sup>3</sup> /h, cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare	15,00	186776,20	0,230	0,085
6	Debitul - 1,0 m <sup>3</sup> /h, debitul recirculat 2,0 m <sup>3</sup> /h, cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare	11,94	133212,75	0,259	0,094
7	Debitul - 1,0 m <sup>3</sup> /h, debitul recirculat 3,0 m <sup>3</sup> /h, cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare	7,67	50864,11	0,239	0,088
8	Debitul - 2,0 m <sup>3</sup> /h, debitul recirculat 4,0 m <sup>3</sup> /h, cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare	4,27	14062,83	0,213	0,080
9	Debitul - 2,0 m <sup>3</sup> /h, debitul recirculat 6,0 m <sup>3</sup> /h, cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare	4,57	16866,74	0,224	0,083



**Fig. 4.41. Variația timpului de retenție cu SSM pentru următoarele condiții:**  
**1 - cu aerare, cu mixare, fără recirculare; 2, 3 - cu aerare, cu mixare, cu recirculare**





**Fig. 4.42. Gradul de dispersie  $D/uL$  cu SSM pentru următoarele condiții: 1 - cu aerare, cu mixare, fără recirculare; 2, 3 - cu aerare, cu mixare, cu recirculare**

Conform [20, pag. 249], pentru valorile obținute a lui  $D/uL$  se atribuie următoarelor valori ale dispersiei:

- $D/uL = 0$ , nu este dispersie (mișcare ideală a fluidului);
- $D/uL < 0,05$ , dispersie mică;
- $D/uL = 0,05 - 0,25$ , dispersie moderată;
- $D/uL > 0,25$ , dispersie mare;
- $D/uL \rightarrow \infty$ , amestecare completă.

Rezultatele prezentate în tabelul 4.30 pentru condițiile reactorului biologic cu suport solid mobil (procedeu de epurare hibrid), sunt aproape de 0,05, ceea ce demonstrează că mișcarea fluidului în interiorul acestui reactor tinde spre o mișcare cu dispersie mică, adică reactorul biologic este aproape de tip piston.

Pentru debitul egal cu 1,0 m³/h și debitul recirculat 3,0 m³/h, cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare obținem un timp mediu de retenție egal cu 7,67 ore pentru compartimentele reactor anoxic – reactor aerob – reactor aerob – decantor lamelar ceea ce rezultă un timp de 1,91 h pentru fiecare compartiment.

Pentru debitul egal cu 2,0 m³/h și debitul recirculat 6,0 m³/h, cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare obținem un timp mediu de retenție egal cu 4,57 ore pentru compartimentele reactor anoxic – reactor aerob – reactor aerob – decantor lamelar ceea ce rezultă un timp de 1,14 ore pentru fiecare compartiment.

Având în vedere că stația de epurare experimentală a fost lăsată să lucreze timp de 3 luni cu un debit de  $1,25 \text{ m}^3/\text{h}$  iar rezultatele obținute au fost destul de bune întreaga instalație se poate de redimensionat pentru un debit de  $1,25 \text{ m}^3/\text{h} = 30 \text{ m}^3/\text{zi}$ . Astfel prin interpolare obținem un timp mediu de tranzit a apei uzate în jur de 1,71 ore pentru fiecare compartiment.

Reieșind din acestea se propune pentru proiectarea acestor tipuri de stații de epurare adoptarea timpului de retenție a apei uzate egal cu 3,6 ore pentru reactoarele aerobe (câte 1,8 ore pentru fiecare din cele 2 compartimente aerob).

Pentru compartimentul numărul 1 (bioreactorul anoxic) se propune un timp de retenție egal cu 1,0 ore.

Totodată trebuie de respectat numaidecât suprafața specifică a SSM și volumul de SSM pentru fiecare bioreactor conform descrierii și calculelor prezentului document.

Totodată pentru fiecare proiect în parte se va verifica volumul întregii instalației în dependență de încărcarea cu materie organică ( $\text{CBO}_5$ ) și a azotului de amoniu. Se referă la apele uzate industriale și/sau apele uzate menajere cu concentrații mari.

#### **4.4.3. Obținerea curbei $E$ , distribuția timpului de retenție**

În capitolul 4.4.1 au fost elaborate (prezentate) curbele  $C_{\text{impuls}}$ , însă pentru o claritate mai mare privind distribuția timpului de retenție este nevoie de obținut curba  $E$ . Pentru a găsi curba  $E$  din curba  $C_{\text{impuls}}$ , pur și simplu se schimbă scara de concentrație astfel încât zona sub curbă să fie unitatea. Prin urmare, pur și simplu se împart lecturile de concentrație  $M/v$ , conform figurei 3.9. Totodată există și o altă funcție a DTR, numită  $E_0$ . Pentru ambele curbe  $E$  și  $E_0$  au fost efectuate calcule pentru toate condițiile conform programului, însă doar pentru debitul de  $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$  adică debitul cel mai apropiat de debitul final adoptat egal cu  $1,25 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Exemple de calcul:

$$\theta = \frac{t}{t} = \frac{240}{626,4} = 0,38$$

$$E = \frac{C}{M/v} = C \cdot v/M = 0 \cdot 1/10 = 0$$

M fiind masa tratorului (sarea de bucătărie). Pentru fiecare experiment s-a folosit câte 10 kg de sare de bucătărie.

$$E_{\theta} = \bar{t} \cdot E = 10,44 \cdot 0 = 0$$

Astfel de calcule au fost efectuate pentru fiecare caz în parte. Rezultatele obținute sunt prezentate în tabelele și graficele de mai jos.

**Tabelul 4.31. Rezultatele obținute pentru condiția numărul 1.  
Fără suport solid mobil, fără aerare și fără recirculare - debitul 1,0 m<sup>3</sup>/h**

$\theta$	E	E <sub>0</sub>		$\theta$	E	E <sub>0</sub>		$\theta$	E	E <sub>0</sub>
0,38	0,0	0,0		0,80	0,122	1,27		1,42	0,049	0,51
0,42	0,002	0,02		0,85	0,117	1,22		1,47	0,043	0,44
0,47	0,008	0,08		0,90	0,107	1,11		1,52	0,038	0,39
0,52	0,028	0,29		0,95	0,101	1,05		1,57	0,033	0,34
0,57	0,066	0,68		1,00	0,093	0,97		1,61	0,028	0,29
0,61	0,113	1,17		1,04	0,086	0,89		1,66	0,022	0,22
0,66	0,122	1,27		1,09	0,080	0,83		1,71	0,012	0,12
0,71	0,123	1,28		1,28	0,064	0,66		1,76	0,006	0,06
0,76	0,122	1,27		1,38	0,054	0,56		1,80	0,0	0,0

**Tabelul 4.32. Rezultatele obținute pentru condiția numărul 1.  
Fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, fără recirculare - debitul 1,0 m<sup>3</sup>/h**

$\theta$	E	E <sub>0</sub>		$\theta$	E	E <sub>0</sub>		$\theta$	E	E <sub>0</sub>
0,35	0,0	0,0		0,94	0,097	0,82		1,52	0,056	0,47
0,41	0,031	0,26		1,00	0,094	0,79		1,58	0,052	0,44
0,47	0,070	0,59		1,05	0,089	0,75		1,64	0,049	0,41
0,52	0,099	0,84		1,11	0,083	0,70		1,70	0,045	0,38
0,58	0,105	0,89		1,17	0,082	0,69		1,76	0,041	0,34
0,64	0,102	0,86		1,23	0,072	0,61		1,82	0,036	0,30
0,70	0,101	0,85		1,29	0,069	0,58		1,88	0,031	0,26
0,76	0,101	0,85		1,35	0,064	0,54		1,94	0,028	0,23
0,82	0,101	0,85		1,41	0,061	0,51				
0,88	0,098	0,83		1,47	0,057	0,48				

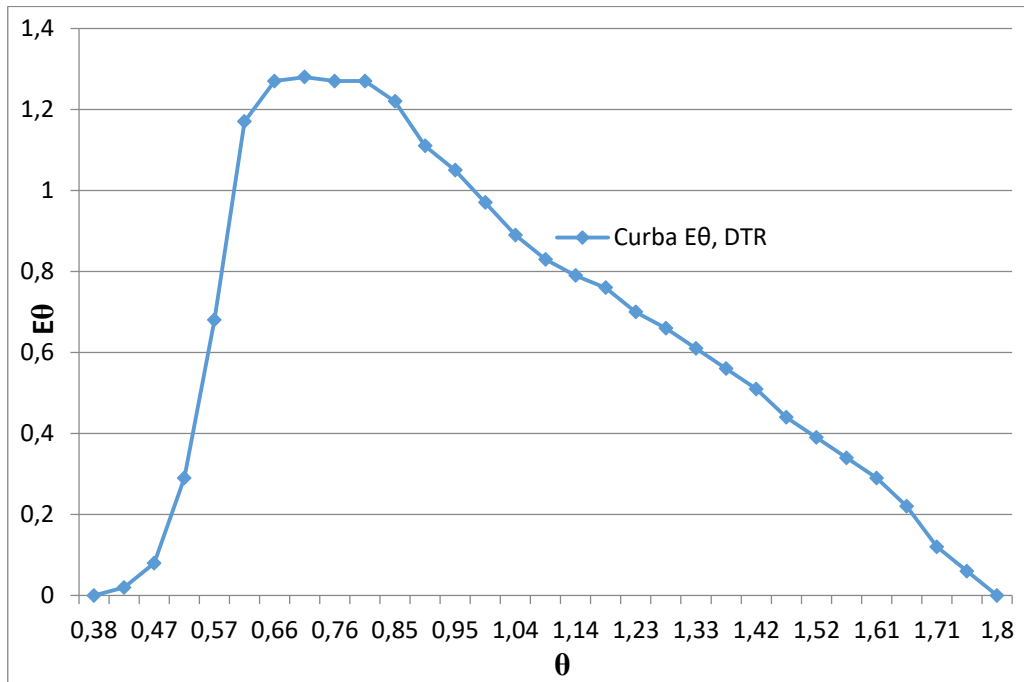
**Tabelul 4.33. Rezultatele obținute pentru condiția numărul 1.  
Fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare,  
cu recirculare - debitul 1,0 m<sup>3</sup>/h, debitul recirculat 2,0 m<sup>3</sup>/h**

$\theta$	E	E <sub>0</sub>		$\theta$	E	E <sub>0</sub>		$\theta$	E	E <sub>0</sub>
0,31	0,0	0,0		0,87	0,097	0,79		1,43	0,074	0,60
0,37	0,044	0,36		0,93	0,097	0,79		1,50	0,066	0,54
0,43	0,053	0,43		1,00	0,090	0,73		1,56	0,063	0,51
0,50	0,068	0,55		1,06	0,086	0,70		1,62	0,059	0,48
0,56	0,076	0,62		1,12	0,082	0,67		1,68	0,055	0,45
0,62	0,086	0,70		1,18	0,077	0,63		1,75	0,051	0,41
0,68	0,097	0,79		1,25	0,082	0,67		1,81	0,047	0,38

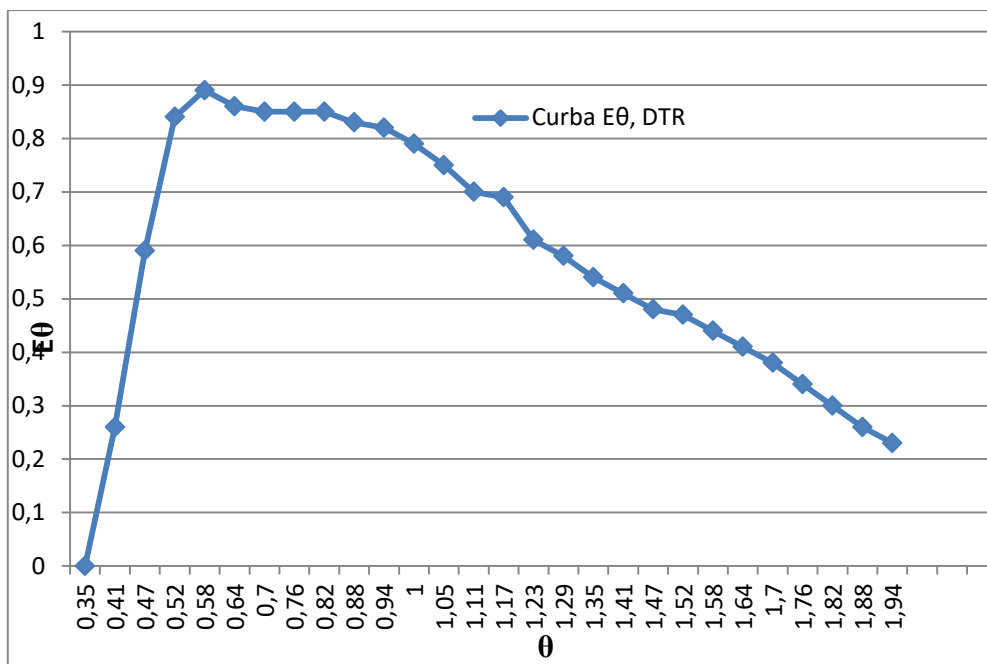
0,75	0,104	0,85		1,31	0,084	0,69		1,87	0,042	0,34
0,81	0,100	0,82		1,37	0,079	0,64		1,93	0,032	0,26

**Tabelul 4.34. Rezultatele obținute pentru condiția numărul 1.  
Fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare,  
cu recirculare - debitul 1,0 m<sup>3</sup>/h, debitul recirculat 3,0 m<sup>3</sup>/h**

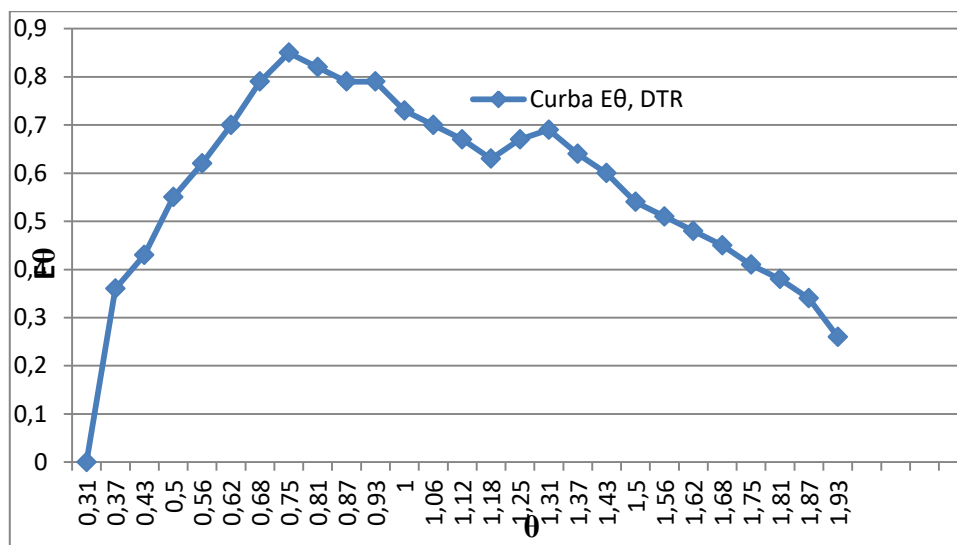
$\theta$	E	E <sub>0</sub>		$\theta$	E	E <sub>0</sub>		$\theta$	E	E <sub>0</sub>
0,31	0,0	0,0		0,87	0,110	0,89		1,43	0,082	0,66
0,37	0,043	0,34		0,93	0,105	0,85		1,50	0,078	0,63
0,43	0,067	0,54		1,00	0,102	0,82		1,56	0,075	0,60
0,50	0,091	0,73		1,06	0,098	0,79		1,62	0,072	0,58
0,56	0,105	0,85		1,12	0,094	0,76		1,68	0,068	0,55
0,62	0,111	0,90		1,18	0,090	0,72		1,75	0,061	0,49
0,68	0,116	0,94		1,25	0,089	0,72		1,81	0,054	0,43
0,75	0,115	0,93		1,31	0,091	0,73				
0,81	0,113	0,91		1,37	0,086	0,69				



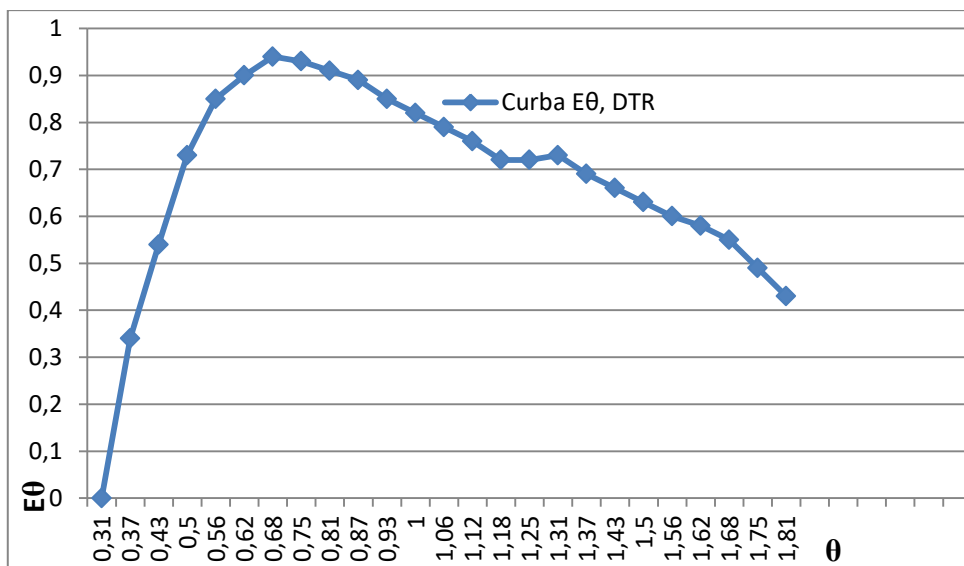
**Fig. 4.43. Curba E<sub>0</sub> pentru debitul pompat de 1,0 m<sup>3</sup>/h,  
cu condițiile - fără suport solid mobil, fără aerare și fără recirculare**



**Fig. 4.44. Curba  $E_\theta$  pentru debitul pompat de  $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile - fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, fără recirculare**



**Fig. 4.45. Curba  $E_\theta$  pentru debitul pompat de  $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile - fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare, debitul recirculat  $2,0 \text{ m}^3/\text{h}$**



**Fig. 4.46. Curba  $E_0$  pentru debitul pompat de  $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile - fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare, debitul recirculat  $3,0 \text{ m}^3/\text{h}$**

**Tabelul 4.35. Rezultatele obținute pentru condiția numărul 2.**

**Cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, fără recirculare - debitul  $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$**

$\theta$	E	$E_0$		$\theta$	E	$E_0$		$\theta$	E	$E_0$
0,13	0,00	0,00		0,77	0,093	1,021		1,41	0,064	0,702
0,18	0,001	0,010		0,81	0,091	0,999		1,45	0,062	0,680
0,22	0,005	0,054		0,86	0,090	0,988		1,50	0,061	0,669
0,27	0,039	0,428		0,91	0,086	0,944		1,54	0,059	0,647
0,31	0,070	0,768		0,95	0,085	0,933		1,59	0,057	0,625
0,36	0,085	0,933		1,00	0,082	0,900		1,63	0,055	0,603
0,40	0,092	1,010		1,04	0,080	0,878		1,68	0,053	0,581
0,45	0,097	1,065		1,09	0,78	0,856		1,73	0,051	0,559
0,50	0,101	1,108		1,13	0,76	0,834		1,77	0,049	0,538
0,54	0,099	1,087		1,18	0,073	0,801		1,82	0,047	0,516
0,59	0,098	1,076		1,22	0,072	0,790		1,86	0,045	0,494
0,63	0,098	1,076		1,27	0,69	0,757		1,91	0,043	0,472
0,68	0,097	1,065		1,32	0,68	0,746				
0,72	0,096	1,054		1,36	0,66	0,724				

**Tabelul 4.36. Rezultatele obținute pentru condiția numărul 2.**

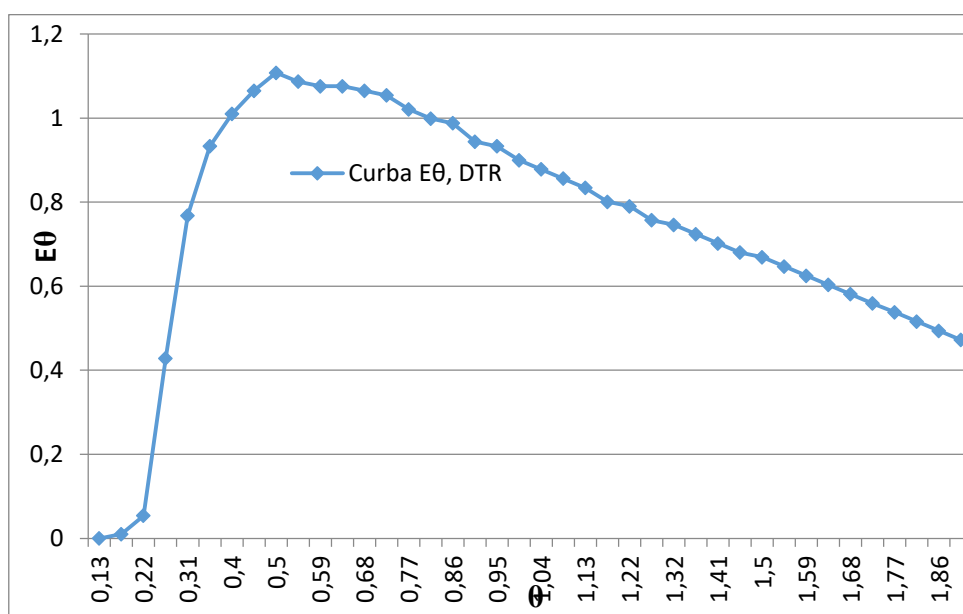
**Cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare - debitul  $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , debitul recirculat  $2,0 \text{ m}^3/\text{h}$**

$\theta$	E	$E_0$		$\theta$	E	$E_0$		$\theta$	E	$E_0$
0,13	0,00	0,00		0,92	0,057	0,680		1,72	0,026	0,310
0,17	0,001	0,011		0,96	0,056	0,668		1,76	0,024	0,286
0,21	0,008	0,095		1,01	0,054	0,644		1,80	0,024	0,286
0,25	0,026	0,310		1,05	0,052	0,620		1,84	0,023	0,274
0,29	0,041	0,489		1,09	0,050	0,597		1,88	0,021	0,250
0,34	0,046	0,549		1,13	0,047	0,561		1,93	0,020	0,238
0,38	0,063	0,752		1,17	0,044	0,525		1,97	0,019	0,226
0,42	0,083	0,991		1,21	0,045	0,537		2,01	0,017	0,202
0,46	0,080	0,955		1,26	0,043	0,513		2,05	0,016	0,191

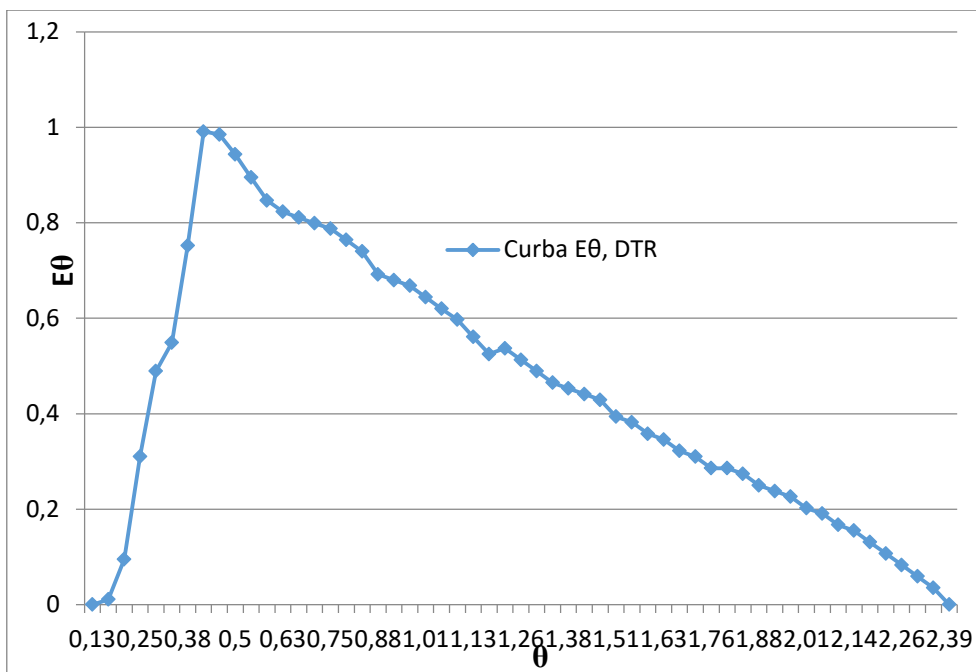
0,50	0,079	0,943		1,30	0,041	0,489		2,09	0,014	0,167
0,54	0,075	0,895		1,34	0,039	0,465		2,14	0,013	0,155
0,59	0,071	0,847		1,38	0,038	0,453		2,18	0,011	0,131
0,63	0,069	0,823		1,42	0,037	0,441		2,22	0,009	0,107
0,67	0,068	0,811		1,47	0,036	0,429		2,26	0,007	0,083
0,71	0,067	0,799		1,51	0,033	0,394		2,30	0,005	0,059
0,75	0,066	0,788		1,55	0,032	0,382		2,35	0,003	0,035
0,80	0,064	0,764		1,59	0,030	0,358		2,39	0,00	0,00
0,84	0,062	0,740		1,63	0,029	0,346				
0,88	0,058	0,692		1,68	0,027	0,322				

**Tabelul 4.37. Rezultatele obținute pentru condiția numărul 2.  
Cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare,  
cu recirculare - debitul 1,0 m<sup>3</sup>/h, debitul recirculat 3,0 m<sup>3</sup>/h**

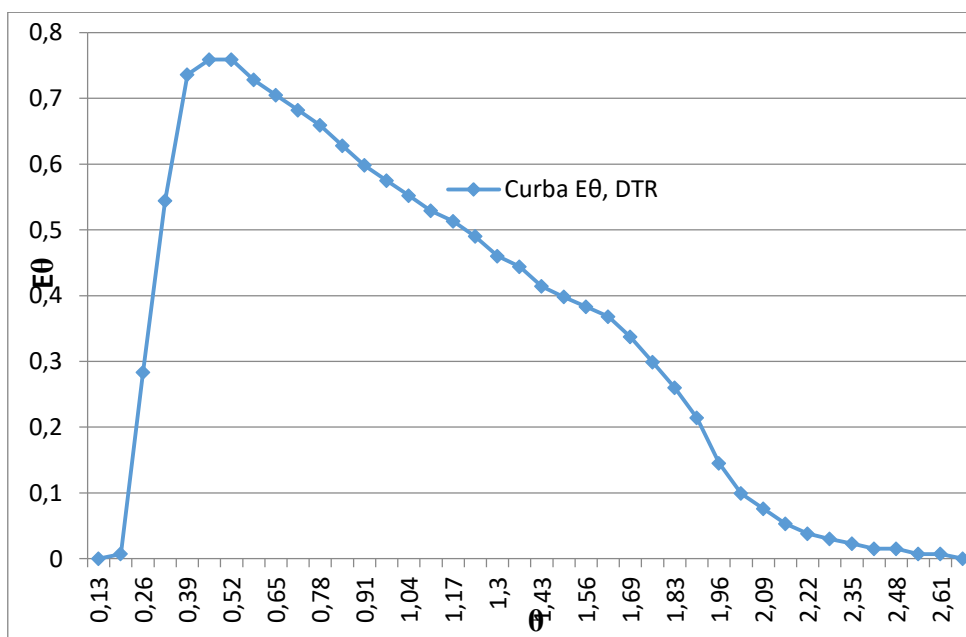
$\theta$	E	E <sub>0</sub>		$\theta$	E	E <sub>0</sub>		$\theta$	E	E <sub>0</sub>
0,13	0,00	0,00		1,04	0,072	0,552		1,96	0,019	0,145
0,20	0,001	0,007		1,11	0,069	0,529		2,02	0,013	0,099
0,26	0,037	0,283		1,17	0,067	0,513		2,09	0,010	0,076
0,33	0,071	0,544		1,24	0,064	0,490		2,15	0,007	0,053
0,39	0,096	0,736		1,30	0,060	0,460		2,22	0,005	0,038
0,46	0,099	0,759		1,37	0,058	0,444		2,28	0,004	0,030
0,52	0,099	0,759		1,43	0,054	0,414		2,35	0,003	0,023
0,59	0,095	0,728		1,50	0,052	0,398		2,41	0,002	0,015
0,65	0,092	0,705		1,56	0,050	0,383		2,48	0,002	0,015
0,72	0,089	0,682		1,63	0,048	0,368		2,54	0,001	0,007
0,78	0,086	0,659		1,69	0,044	0,337		2,61	0,001	0,007
0,85	0,082	0,628		1,76	0,039	0,299		2,67	0,00	0,00
0,91	0,078	0,598		1,83	0,034	0,260				
0,98	0,075	0,575		1,89	0,028	0,214				



**Fig. 4.47. Curba E<sub>0</sub> pentru debitul pompat de 1,0 m<sup>3</sup>/h,  
cu condițiile - cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, fără recirculare**



**Fig. 4.48. Curba  $E_0$  pentru debitul pompat de  $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile – cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare, debitul recirculat  $2,0 \text{ m}^3/\text{h}$**



**Fig. 4.49. Curba  $E_0$  pentru debitul pompat de  $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , cu condițiile - cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare, debitul recirculat  $3,0 \text{ m}^3/\text{h}$**

#### 4.5. Concluzii

După obținerea rezultatelor în instalația de epurare experimentală, se ajunge la următoarele concluzii:



- în raport cu procedeul cu nămol activ cel cu peliculă biologică are următoarele avantaje: activitate biologică superioară, randamentul de epurare crește prin recircularea apei cu nămol, economie de energie, repopularea rapidă a peliculei după desprinderea filmului, exploatare simplă;
- rezultatele obținute cu privire la epurarea apei uzate în cadrul stației de epurate experimentală sunt de un grad foarte ridicat și satisface normativele de proiectare naționale și europene;
- rezultatele obținute privind modelul de dispersie a fluidului în interiorul reactorului biologic pentru condițiile reactorului biologic cu suport solid mobil (procedeu de epurare hibrid) sunt aproape de 0,05 ceea ce demonstrează că mișcarea fluidului în interiorul acestui reactor tinde spre o mișcare cu dispersie mică, adică reactorul biologic este aproape de tip piston.

## CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI

### Concluzii

- pentru eliminarea compușilor azotului și fosforului este nevoie de compartimentat bioreactoarele pentru diferite condiții de epurare (anaerob, anoxic, aerob) și cu recircularea apei cu nămol;
- concentrațiile apei uzate brute variază pe timpul zilei, astfel înaintea epurării biologice este nevoie de inclus un rezervor pentru omogenizarea concentrațiilor;
- rezultatele obținute privind modelul de dispersie a fluidului în interiorul reactorului biologic pentru condițiile reactorului biologic cu suport solid mobil (procedeu de epurare hibrid) sunt aproape de 0,05 ceea ce demonstrează că mișcarea fluidului în interiorul acestui reactor tinde spre o mișcare cu dispersie mică, adică reactorul biologic este aproape de tip piston;
- prin utilizarea suportului solid mobil, bulele de aer care intră în contact cu apa supusă epurării va avea o mișcare haotică, dispersându-se în bule mai mărunte, astfel timpul de contact cu apa uzată și cu microflora va fi mult mai mare ceea ce va duce la micșorarea debitului de aer și, respectiv, la micșorarea consumului de energie electrică;
- rezultatele obținute la epurarea apei uzate în cadrul stației de epurare experimentală sunt de un grad ridicat și satisface normativele de proiectare naționale și europene, astfel a fost obținut avizul sanitar, avizul ecologic și evaluarea tehnică.

### Recomandări

- pentru proiectarea acestor tipuri de stații de epurare (procedeu hibrid) adoptarea timpului de retenție a apei uzate este egal cu 3,6 ore pentru reactoarele aerobe (câte 1,8 ore pentru fiecare din cele 2 compartimente aerobe);
- pentru compartimentul numărul 1 (bioreactorul anoxic) se propune un timp de retenție egal cu 1,0 ore;
- pentru compartimentele 1 și 2 (anoxic și aerob nr. 1) de utilizat 50 % de SSM din volumul bioreactoarelor, iar pentru compartimentul 3 (aerob nr. 2) de utilizat 60 % de SSM din volumul reactorului, cu suprafața SSM de cel puțin  $650 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ;
- implementarea stațiilor de epurare a apei uzate tip Vavibloc (conform rezultatelor obținute pe baza instalației – pilot de epurare a apei uzate) de realizat pe teritoriul Republicii Moldova.

## BIBLIOGRAFIE

1. DIMA, M. *Epurarea apelor uzate*. Iași: Tehnopress, 2002. 526 p.
2. FOGLER, S. H. *Elements of chemical reaction engineering. Fifth edition*. Indiana: Pearson Education, Inc, 2016. 937 p.
3. HARLAN, H. *Biological wastewater treatment processes II: MBBR processes*. New York: CED Engineering, 2017, 45 p.
4. KOYODE, C. A. *Modeling of chemical kinetics and reactor design*. Houston: Gulf Publishing Company, 2001. 1095 p.
5. LEVENSPIEL, O. *Chemical reaction engineering. Third edition*. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1999. 668 p.
6. MICHAEL, H. G. *Nitrification and denitrification in the activated sludge process*. Canada: Wiley-Interscience, 2002, 193 p.
7. SEEGER, H. *The history of German waste water treatment*. Kassel: Universität Gesamthochschule Kassel, 1999. 56 p.
8. UNGUREANU, D. *Eliminarea nutrienților din apele uzate la stațiile de epurare din localitățile canalizate*. Chișinău: Bons Offices, 2005. 36 p.
9. JOEL C. R. *Review of martin resources refinery wastewater treatment system*. Albuquerque: CMD Smith, 2015. 30 p.
10. ANDRONIC, L., DUȚĂ, A. *Analize fizico-chimice și metode avansate de epurare a apelor uzate*. Brașov: Universitatea Transilvania, 2013. 162 p.
11. KELLER, J., GIESEN, A. *Advancements in Aerobic Granular Biomass Processes*. Gent: Neptune and Innowatech End User Conference, 2010, 52 p.
12. MARK, E. Davis, ROBERT, J. Davis. *Fundamentals of chemical reaction engineering*. New York: McGraw-Hill Companies Inc, 2003. 368 p.
13. ROBESCU, D., STROE F. *Tehnici de epurare a apelor uzate*. București: Tehnica, 2011. 124 p.
14. VLAICU, I., HAȚEGAN I. *Alimentarea cu apă a Timișoarei*. Timișoara: Brumar, 2012. 103 p.
15. ФЁДОРОВ, Н. Ф., ШИФРИН, С. М. *Канализация*. Москва: 1968. 592 с.
16. IANCULESCU, O., IONESCU, Gh. C., RACOVÎȚEANU, R. *Epurarea apelor uzate*. București: Matrixrom, 2001. 248 p.

17. IANCULESCU, O., MOLNAR, A., CSABA, D. *Stații de epurare de capacitate mică*. București: Matrixrom, 2002. 194 p.
18. LESLIE GRADY, C. P., DAIGGOR, G. T., LIM, H. C. *Biological wastewater treatment*. New York: Marcel Dekker, 1999. 1076 p.
19. MARCOLINI, L. R., NEU, K., RUSTEN, B. *When less is Truly MORE - the Next Generation of MBBR Technology. Small Media Biofilm in a Continuous Flow Intermittent Cleaning Mode*. Stevens Point: Wisconsin Wastewater Operators Association, 2013. 48 p.
20. TCHOBANOGLOUS, G., BURTON, F. L., STENSEL, H. D. *Wastewater engineering. Treatment and reuse. Fourth edition*. New York: McGraw-Hill Companies Inc, 2003. 1819 p.
21. НИКОЛАЕНКО, Е. В., АВДИН, В. В., СПЕРАНСКИЙ, В. В. *Нитрификация и денитрификация городских сточных вод*. Челябинск: Южно Уральский Государственный Университет, 2006. 41 p.
22. UNGUREANU, D., VÎRLAN, V. și alții. *Îndrumar metodic pentru întocmirea proiectului de an. Partea a III-a. Epurarea biologică și dezinfectia apelor uzate*. Chișinău: UTM, 2013. 106 p.
23. Suport de curs. *Ingineria proceselor chimice și biologice*. Iași: Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi", 2011. 25 p.
24. BROOKES, A. *Immersed Membrane Bioreactors for Produced Water Treatment*: PhD thesis. Cranfield: Cranfield University, 2005. 158 p.
25. CĂLIN, A. *Epurarea avansată a apelor uzate. Stații compacte de capacitate mică*: Teză de doctorat. București: UTCB, 2008. 185 p.
26. CIOCAN, I. D. *Contribuții la îmbunătățirea procesului de aerare a apelor uzate*: Teză de doctorat. Iași: Universitatea Tehnică Gheorghe Asachi din Iași, 2011. 129 p.
27. COVALIOVA, O. *Metode fizico-chimice combinate de tratare a apelor uzate reziduale tehnogene*: Autoreferatul tezei de doctor habilitat în științe chimice. Chișinău: Institutul de Chimie, 2016. 44 p.
28. FLORENTINA, M. D. *Reducerea avansată a fosforului în cadrul stațiilor de epurare a apelor uzate*: Teză de doctorat (rezumat). București: UTCB, 2014. 54 p.
29. IURCIUC, C. E. *Studii și cercetări privind epurarea avansată a apelor uzate în vederea valorificării efluentului la irigarea culturilor energetice*. Teză de doctorat (rezumat). Iași: Universitatea Tehnică Gheorghe Asachi din Iași, 2013. 67 p.
30. JOHANN, T. *Formation, structure and function of aerobic granular sludge*: PhD thesis. Munchen: Technische Universitat Munchen, 2004. 134 p.

31. KREUK, M. *Aerobic granular sludge – scaling up a new technology*: PhD thesis. Delft: Technische Universiteit Delft, 2006. 199 p.
32. MASIC, A. *Investigation of a biofilm reactor model with suspended biomass*: PhD thesis. Lund: Lund University, 2013. 89 p.
33. **VÎRLAN, V.** *Stații individuale de epurare a apelor uzate cu capacitatea până la 100 m<sup>3</sup>/zi*: Teză de master. Chișinău: UTM, 2013. 80 p.
34. **VÎRLAN, V., UNGUREANU, D.** *Considerații despre decantoarele lamelare/tubulare pentru sedimentarea materiilor în suspensie în stațiile de epurare a apelor uzate*. Conferința tehnico-științifică internațională. “Probleme actuale ale urbanismului și amenajării teritoriului”. Chișinău: UTM. 2020. ISBN 978-9975-71-849-3. Pag. 329 – 334.
35. **VÎRLAN, V.** *Curgerea apei uzate supuse aerării și agitării prin reactorul biologic*. Chișinău: UTM Meridian Ingineresc, ISSN 1683-853X, 2018. Pag. 48 – 50.
36. **ВЫРЛАН, В.** *Гидродинамический режим жидкости в биореакторе*. Науково-технічний збірник. “Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки”. Київ: Київський національний університет будівництва і архітектури, ISSN 2524-0021, 2017. Pag. 66 – 72.
37. **VÎRLAN, V.** *Metode și scheme de eliminare a fosforului din apele uzate*. Chișinău: UTM Meridian Ingineresc, ISSN 1683-853X, 2016. Pag. 22 – 26.
38. UNGUREANU, D., **VÎRLAN, V.** *Considerații privind clasificarea procedeelelor de epurare biologică a apelor uzate*. Conferința tehnico-științifică cu participare internațională. “Instalații pentru construcții și economie de energie”. Iași: Universitatea Tehnică Gheorghe Asachi din Iași, 2016. Pag. 241 – 251.
39. **VÎRLAN, V.** *Metode de epurare a apelor uzate industriale*. “Organisation du II<sup>ème</sup> Seminaire Doctoral. De ma premier communication vers ma premier publication scientifique”. Chișinău: UTM. 2016, Pag. 102 – 107.
40. UNGUREANU, D., CIOBANU, N., **VÎRLAN, V., ANGHELUȚĂ, V.** *Mini stație de epurare biologică a apelor uzate cu funcționare ciclică (BSC Radial Plus)*. Conferința tehnico-științifică internațională. “Probleme actuale ale urbanismului și amenajării teritoriului”. Chișinău: UTM. ISBN 978-9975-71-849-3, 2016, Pag. 206 – 213.
41. **VÎRLAN, V.** *Epurarea avansată a apelor uzate*. Conferința tehnico-științifică internațională. “Probleme actuale ale urbanismului și amenajării teritoriului”. Chișinău: UTM. ISBN 978-9975-71-849-3, 2016. Pag. 214 – 219.

42. **VÎRLAN, V.** *Sisteme vacuumate pentru canalizarea apelor uzate din localitățile cu relief plat.* Conferința tehnico-științifică internațională. “Probleme actuale ale urbanismului și amenajării teritoriului”. Chișinău: UTM. ISBN 978-9975-71-849-3, 2016. Pag. 220 – 225.
43. **VÎRLAN, V.** *Sisteme de canalizare sub presiune.* Conferința tehnico-științifică internațională. “Probleme actuale ale urbanismului și amenajării teritoriului”. Chișinău: UTM. ISBN 978-9975-71-849-3, 2016. Pag. 226 – 229.
44. УНГУРЕАНУ, Д., **ВЫРЛАН, В.** *Системы естественной биологической очистки коммунальных сточных вод в почвенно-растительных фильтрах (фитофильтрах).* Науково-технічний збірник. “Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки”. Київ: Київський національний університет будівництва і архітектури, ISSN 2524-0021, 2016. Pag. 370 – 379.
45. Legea nr. 303 din 13.12.2013 privind serviciul public de alimentare cu apă și de canalizare. Publicat: 14.03.2014 în Monitorul Oficial nr. 60-65/123. MODIFICAT LP74 din 21.06.20, MO153-158/26.06.20 art.278; în vigoare 26.06.21.
46. Legea nr. 1515 din 16.06.1993 privind protecția mediului înconjurător. Publicat: 30.10.1993 în Monitorul Oficial nr. 10 art.283. MODIFICAT LP253 din 22.11.18, MO1-5/04.01.19 art. 4; în vigoare 04.02.19.
47. Legea nr. 1513 din 16.06.1993 privind asigurarea sanitaro-epidemiologică a populației. Publicat: 30.10.1993 în Monitorul Oficial nr. 009 art. 263.
48. Legea nr. 721 din 02.02.1996 privind calitatea în construcții. Publicat: 25.04.1996 în Monitorul Oficial nr. 25 art. 259. MODIFICAT LP304 din 26.12.12, MO48/05.03.13 art. 150.
49. Hotărârea Guvernului numărul 90 din 19.02.2020 cu privire la modificarea Hotărârii Guvernului nr. 950/2013 pentru aprobarea Regulamentului privind cerințele de colectare, epurare și deversare a apelor uzate în sistemul de canalizare și/sau în emisare pentru localitățile urbane și rurale. Publicat: 13.03.2020 în Monitorul Oficial nr. 75-83 art. 219.
50. Directiva 91/271/CEE a Consiliului Europei din 21.05.1991 privind tratarea apelor urbane reziduale.
51. NCM G.03.02.2015. *Rețele și instalații exterioare de canalizare.* Chișinău: Incercom, 2015. 280 p.
52. NCM G.03.01.2017. *Stații de capacitate mică de epurare a apelor uzate comunale.* Chișinău: Incercom, 2017. 88 p.
53. NCM G.03.03.2015. *Instalații interioare de alimentare cu apă și canalizare.* Chișinău: Incercom, 2015. 153 p.

54. NP 133/1-2011. Normativ privind proiectarea, execuția și exploatarea sistemelor de alimentare cu apă și canalizare a localităților. Sisteme de alimentare cu apă a localităților. București, 2011. 266 p.
55. NP 133/2-2011. Normativ privind proiectarea, execuția și exploatarea sistemelor de alimentare cu apă și canalizare a localităților. Sisteme de canalizare a localităților. București, 2013. 273 p.
56. СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Москва: Госстрой. 1984, 130 с.
57. TGL 7762. Small sewage treatment plants. Application, design, construction and working. Deutsche Demokratische Republik, 1979. 12 p.
58. TGL 7762. Small sewage treatment plants. Application, dimensioning, design, maintenance. Deutsche Demokratische Republik, 1987. 8 p.
59. ATV A 262E. Principles for the dimensioning, construction and operation of plant beds for communal wastewater with capacities up to 1000 total number of inhabitants and population equivalents. Germany, 1998. 12 p.
60. ATV A 106E. Design and construction planning of wastewater treatment facilities. Germany, 1995. 29 p.
61. SM SR EN 12255-6:2012. Stații de epurare. Partea 6: Procedeu cu nămoluri activate. 2012.
62. SM SR EN 12255-7:2012. Stații de epurare. Partea 7: Reactoare biologice cu peliculă fixată. 2012.
63. SR 1343-1. Alimentări cu apă. Determinarea cantităților de apă potabilă pentru localități urbane și rurale. 2006.
64. SM SR ISO 6060:2006. Calitatea apei. Determinarea consumului chimic de oxigen. 2006.
65. 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. 2007.
66. <https://pierderideapa.files.wordpress.com/2015/07/istoricul-statiilor-de-epurare.pdf>.
67. <https://www.statie-epurare.com/documente/legislatie/scurt-istoric-alimentarea-si-tratarea-apelor.pdf>.
68. <http://www.mosvodokanal.ru/about/history/sewerage.php>.
69. <https://acc.md/istorie/>.
70. **Vîrlan, V.** Instalație și procedeu de epurare a apelor uzate și încărcătură flotantă. Brevet de invenție nr. MD4483 C1 2017.12.31. Chișinău, 2017.
71. Petrone R. J. Packaged wastewater treatment unit. Patent no. US 7077959 (B2). 2006.

## **ANEXE**

Anexa 1. Rapoarte de încercări.

Anexa 2. Brevet de invenție.

Anexa 3. Avizul ecologic pentru stația de epurare tip Vavibloc.

Anexa 4. Avizul sanitar pentru stația de epurare tip Vavibloc.

Anexa 5. Evaluarea tehnică pentru stația de epurare tip Vavibloc.

Anexa 6. Fotografii din timpul efectuării experimentelor.



## **DECLARAȚIA PRIVIND ASUMAREA RĂSPUNDERII**

Subsemnatul, declar pe răspundere personală că materialele prezentate în teza de doctorat sunt rezultatul propriilor cercetări și realizări științifice. Conștientizez că, în caz contrar, urmează să suport consecințele în conformitate cu legislația în vigoare.

Vîrlan Vasili

Semnătura

Data

## CV

**Nume și prenume:** Vîrlan Vasili.

**Cetățenie:** Republica Moldova.

### Studii:

Universitatea Tehnică a Moldovei, Școala Doctorală Inginerie Mecanică și Civilă.
Noiembrie, 2015 prezent
Ciclul III. Doctorand

Universitatea Agrară de Stat din Moldova, Facultatea Cadastru și Drept. Catedra: Îmbunătățiri Funciare și Fizică.
Septembrie, 2016 Februarie, 2018
Masterat – Hidroameliorație. Chișinău, Moldova

Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea Urbanism și Arhitectură. Catedra: Ecotehnie, management ecologic și ingineria apelor.
Septembrie, 2010 Februarie, 2013
Masterat – Managementul sistemelor de inginerie sanitară și protecția mediului. Chișinău, Moldova

Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea Urbanism și Arhitectură. Catedra: Ecotehnie, management ecologic și ingineria apelor.
Septembrie, 2006 Iunie, 2010
Diplomă de licență – Ingineria și protecția apelor. Chișinău, Moldova

**Stagii:** Diferite seminare și traininguri cu tematica epurării biologice a apelor uzate, în perioada 2013 – 2020, în Republica Moldova, România, Lituania, Polonia. Expoziții cu tematica epurării biologice a apelor uzate în Republica Moldova, Romania, Germania, Rusia.

**Domenii de interes științific:** 211.03 – Rețele ingineresti în construcții. Epurarea biologică a apelor uzate.

**Participări în proiecte științifice naționale și internaționale:** -

**Participări la manifestări științifice (naționale și internaționale):** -

**Lucrări științifice și științifico-metodice publicate:**

Articole științifice - 11;

Îndrumar metodic - 1;

Brevet de invenție - 1.

**Premii, mențiuni, distincții, titluri onorifice etc.: -**

**Apartenență la societăți/asociații științifice naționale și internaționale:** Membru al Asociației Inginerilor de Instalații din Republica Moldova.

**Activități în cadrul colegiilor de redacție ale revistelor științifice: -**

**Cunoașterea limbilor (cu indicarea gradului de cunoaștere):**

Româna – maternă;

Rusa – 4;

Engleza – 3.

5 fiind cel mai înalt.

**Date de contact de serviciu (adresă, telefon, e-mail):**

Republica Moldova, mun. Chișinău, com. Trușeni, str. Kiev, nr. 20;

Tel. dom.: 022 591 233;

Tel. mob.: 0600 34 121;

E-mail: virlan.vasili@yahoo.com