

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

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

**VÎRLAN VASILII**

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

**211.03 – REȚELE INGINEREȘTI ÎN CONSTRUCȚII**

**Rezumatul tezei de doctor în științe tehnice**

**CHIȘINĂU, 2021**

Teza a fost elaborată în cadrul Universității Tehnice a Moldovei, Școala Doctorală Inginerie Mecanică și Civilă și pe baza instalației experimentale montată în satul Lozova, raionul Strășeni.

**Conducător științific:**

**UNGUREANU Dumitru**, doctor în științe tehnice, profesor universitar.

**Referenți oficiali:**

**IONEȚ Ion**, doctor în științe tehnice, conferențiar universitar, Universitatea Tehnică a Moldovei;

**SANDU Maria**, doctor în chimie, conferențiar cercetător, Institutul de Ecologie și Geografie;

**ZUBCOV Elena**, doctor habilitat în biologie, profesor cercetător, Institutul de Zoologie al AȘM.

**Componența Comisiei de Doctorat:**

**RUSU Ion, Președinte**, doctor habilitat în științe tehnice, profesor universitar, Universitatea Tehnică a Moldovei;

**PLEȘCA Petru, Secretar științific**, doctor în științe tehnice, conferențiar universitar, Universitatea Agrară de Stat din Moldova;

**UNGUREANU Dumitru, Membru/Conducător științific**, doctor în științe tehnice, profesor universitar, Universitatea Tehnică a Moldovei;

**LUPAȘCU Tudor, Membru**, doctor habilitat în chimie, profesor cercetător, Institutul de Chimie al AȘM.

Susținerea va avea loc la data de **24 septembrie 2021 la ora 15:00** pe adresa: MD 2060, mun. Chișinău, b-dul Dacia, nr. 39, a. 9-142 în ședința Comisiei de Doctorat din cadrul Universității Tehnice a Moldovei, mun. Chișinău.

Teza de doctor în științe tehnice și rezumatul pot fi consultate la biblioteca Universității Tehnice a Moldovei pe adresa: mun. Chișinău, str. Studenților, nr. 11, a. 5-519 și pe pagina web a ANACEC ([www.cnaa.md](http://www.cnaa.md)).

Rezumatul a fost expediat la **20 august 2021**.

Secretar științific al Comisiei de Doctorat,

**PLEȘCA Petru**, dr. șt. teh., conf. univ.

Conducător științific,

**UNGUREANU Dumitru**, dr. șt. teh., prof. univ.

Autor

**VÎRLAN Vasili**

(© Vîrlan Vasili, 2021)

## CUPRINS

REPERELE CONCEPTUALE ALE CERCETĂRII.....	4
CONȚINUTUL TEZEI.....	7
1. SINTEZA BIBLIOGRAFICĂ.....	7
1.1. Caracteristicile calitative ale apelor uzate menajere.....	7
1.2. Caracteristicile apelor uzate menajere provenite de la colectivități mici.....	7
1.3. Epurarea biologică naturală.....	7
1.4. Epurarea biologică artificială.....	7
1.5. Scheme tehnologice pentru eliminarea azotului și fosforului.....	8
2. PROGRAMUL ȘI METODICA INVESTIGAȚIILOR CERCETĂRIILOR ȘTIINȚIFICE ALE EPURĂRII APELOR UZATE CU SUPPORT SOLID MOBIL (PROCEDEUL HIBRID).....	10
2.1. Avantajele epurării apei uzate menajere prin procedeul hibrid.....	10
2.2. Instalația-pilot de epurare a apelor uzate menajere.....	10
2.3. Descrierea instalației-pilot de epurare a apelor uzate menajere.....	12
2.4. Algoritmii efectuării experimentelor în instalația-pilot de epurare a apelor uzate menajere.....	12
2.5. Studiul componenței apei uzate menajere brute.....	13
3. STUDIUL REGIMULUI HIDRODINAMIC ÎN REACTOARELE BIOLOGICE.....	14
3.1. Tipuri de reactoare biologice.....	14
3.2. Reactoare biologice cu mișcare ideală a fluxului de apă uzată menajeră.....	15
3.3. Bazele mișcării neideale a fluxului de apă uzată menajeră.....	15
3.4. Modelul de dispersie.....	16
4. REZULTATE ȘI APLICAȚII ÎN PRACTICĂ ALE INVESTIGAȚIILOR.....	18
4.1. Influența suportului solid mobil/încărcăturii flotante asupra eficienței epurării.....	18
4.2. Rezultatele obținute la studiul apei uzate menajere brute.....	18
4.3. Calcule și rezultate obținute în reactorul biologic experimental/pilot.....	19
4.4. Regimul hidrodinamic asupra performanțelor procesului de epurare.....	20
CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI.....	24
BIBLIOGRAFIE.....	25
ADNOTARE.....	27
FOAIA PRIVIND DATELE DE TIPAR.....	30

## REPERELE CONCEPTUALE ALE CERCETĂRII

**Actualitatea și importanța problemei abordate.** 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.

**Descrierea situației în domeniul de cercetare și identificarea obiectivelor de cercetare.** 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 locuitori echivalenți 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 biodegradabile (CBO-ului), a azotului prin procese de nitri–denitrificare și a fosforului prin procese biologice.

**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 menajere 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 (procedeul 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/procedeul 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 permanent 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),  $H_{apă}=2,8$  m, împărțită în 4 compartimente: bioreactor anoxic – bioreactor aerob – bioreactor aerob – decantor lamelar.

**Publicații.** La tema tezei au fost publicate 11 articole științifice. Totodată pe baza rezultatelor obținute a fost obținut un brevet de invenție.

**Structura și volumul tezei:** teza include următoarele compartimente: adnotare în limbile română, rusă și engleză, lista tabelor, lista figurilor, lista abrevierilor, introducere, patru capitole, concluzii generale și recomandări, bibliografie din 71 titluri, anexe, 122 pagini de text de bază, inclusiv 101 figuri și 56 tabele, declarația privind asumarea răspunderii, CV-ul autorului.

**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.

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

Sinteza bibliografică. În acest capitol sunt descrise caracteristicile calitative ale apelor uzate menajere, 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 avantajele procedeei hibrid. 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 menajere 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.

## CONȚINUTUL TEZEI

În **INTRODUCERE** este argumentată actualitatea problemei abordate, sunt formulate scopul principal și obiectivele lucrării, este descrisă originalitatea științifică a abordărilor aplicate, sunt expuse valoarea aplicativă și teoretică a lucrării, sunt prezentate rezultatele principale înaintate spre susținere.

### 1. SINTEZA BIBLIOGRAFICĂ

#### 1.1. Caracteristicile calitative ale apelor uzate menajere

Principalii indicatori de calitate sunt clasificați în 4 categorii:

- fizice (turbiditatea, culoarea, mirosul, temperatura);
- chimice (MS, oxigenul dizolvat, CBO<sub>5</sub>, CCO, COT, detergenți, uleiuri, grăsimi, ș.a.);
- bacteriologice (diferite tipuri de bacterii);
- biologice (bacterii, larve, viermi, etc.).

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

Apele uzate de la folosințele temporare (zone turistice, tabere, 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 și 100 g CBO<sub>5</sub>/om-zi.

#### 1.3. Epurarea biologică naturală

Construcțiile necesare epurării biologice naturale sunt: câmpurile de irigare și filtrare, filtrele de nisip, iazurile biologice, fitofiltrele (zonele umede construite).

#### 1.4. Epurarea biologică artificială

##### 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 [38].

### **Procedeu cu culturi hibride de microfloră (elemente/suporturi pentru fixarea biomasei)**

Procedeu 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 [38].

### **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.

### **Procedeu de epurare biologică cu membrane**

Este de dată recentă dezvoltarea și aplicarea bioreactoarelor cu membrane pentru epurarea apelor uzate. 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 [38].

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

Bioreactoarele secvenționale 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.

## **1.5. 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.

### **Tehnologii biologice de eliminare a azotului**

#### **Schema preanoxică**

##### **a. Ludzack-Ettinger**



Această schemă a fost dezvoltată de Ludzack-Ettinger. Conform acestei scheme, influentul este introdus într-o zonă anoxică, care este urmată de o zonă aerobă [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 [25, pag. 60].

c. Alimentare fracționată

Conceputul de preanoxic este utilizat la schemele de epurare cu alimentare fracționată. Acest proiect este utilizat la bazinele de aerare existente cu multiple treceri [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 [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 [25, pag. 65].

### **Tehnologii biologice de eliminare a fosforului**

a. Procedeele A/O

Procedeele A/O presupune îndepărtarea fosforului pe linia apei, în treapta biologică concomitent cu oxidarea substanțelor organice pe bază de carbon [28, pag. 20].

b. Procedeele Phostrip

Procedeele Phostrip implică îndepărtarea fosforului pe linia nămolului. În acest procedeu, o parte din nămolul activ recirculat este dirijat într-un rezervor anaerob de stripare a fosforului [28, pag. 20].

### **Tehnologii biologice de eliminare combinată a azotului și fosforului**

a. Procedeele 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 [25, pag. 81].

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 [25, pag. 81].

c. Procedeul UCT

Procedeul UCT are la bază procedeul 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 [25, pag. 82].

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 [25, pag. 83].

## **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**

În raport cu procedeul cu nămol activ cel hibrid are următoarele avantaje:

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

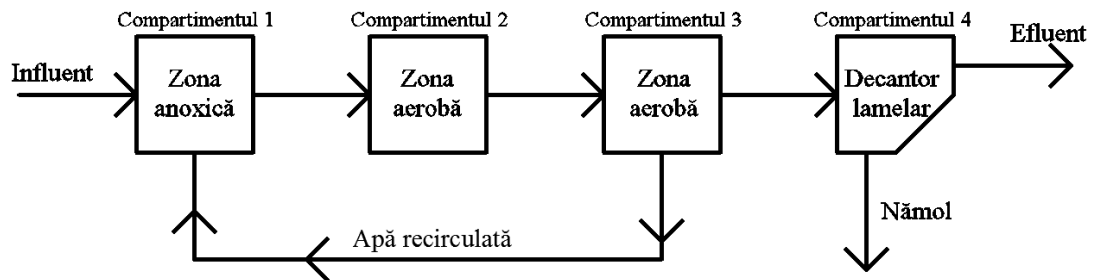
### **2.2. Instalația-pilot de epurare a apelor uzate menajere**

Pentru elaborarea experimentelor a fost confecționată și montată o instalație-pilot de epurare biologică a apelor uzate menajere. 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 permanent în mișcare (suportul solid mobil) – MBBR (Mobile Bed Biofilm Reactor). Instalația-pilot are dimensiunile 4,5 x 1,0 x 3,0 m (L x b x h), H<sub>apă</sub>=2,8 m, împărțită în 4

compartimente: bioreactor anoxic – bioreactor aerob – bioreactor aerob – decantor lamelar.  
 Conform calculelor această instalație-pilot are capacitatea de a epura un debit de 25,0 m<sup>3</sup>/zi.

### Schema tehnologică a instalației pilot propusă pentru cercetare

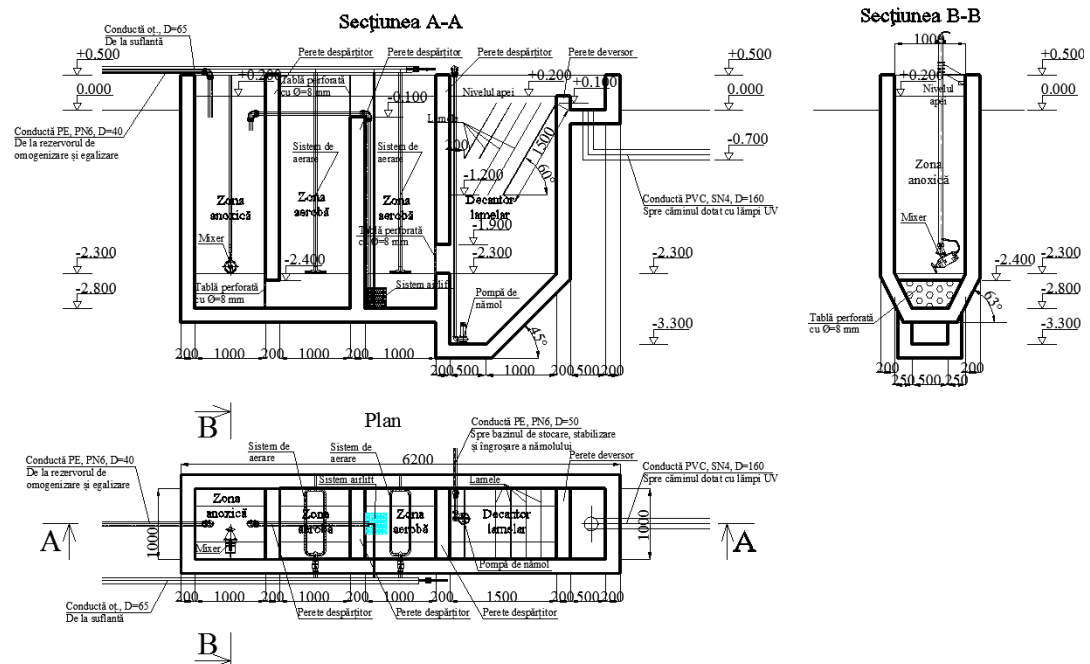
Conform Directivei Europene nr. 91/271/CEE din 30.05.1991 se cere ca în stațiile de epurare să fie aprobată o schemă tehnologică nu numai pentru eliminarea materiei biodegradabile (CBO) dar și pentru eliminarea azotului și a fosforului, de aceea instalația experimentală include în schema tehnologică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



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

### 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 NCM G.03.03.2015 [53, pag. 49].



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

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

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

Compartimentul nr. 1 (reactor anoxic). Conține elemente de suport solid mobil, dar nefiind aerat realizează reducerea anoxică a azotaților (denitrificarea) prin agitare cu un mixer.

Compartimentul nr. 2 (reactor aerob). Conține elemente de suport solid mobil, însă este aerat cu bule medii cu diametrul de 2 – 3 mm. Aici are loc oxidarea materiei organice biodegradabilă și respectiv eliminarea substanțelor biodegradabile ( $CBO_5$ ).

Compartimentul nr. 3 (reactor aerob). De asemenea conține elemente de suport solid mobil și este aerat cu bule medii cu diametrul de 2 – 3 mm. Aici au loc fenomene complexe de nitrificare care conduc la oxidarea azotului de amoniu. Totodată în acest compartiment este instalat un sistem aerlift care recirculează apa cu conținut de nitrați în bioreactorul anoxic.

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



**Fig. 2.3. Instalația-pilot de epurare a apelor uzate asupra căreia au avut loc experimentele**

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

A avut loc un șir ordonat de experimente repetate, prin controlarea unuia sau mai multor parametri inițiali, cu scopul de a obține cunoștințe noi, care să ducă la validarea economică a modelului. Pentru efectuarea experimentelor în cadrul instalației-pilot de epurare a apei uzate s-a propus un algoritm. Algoritmul de efectuare a experimentelor este prezentat mai jos.

### **Regimul de tranzit 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.
2. Studiul componenței apei uzate menajere brute (variația în timpul zilei/lunii).

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

1. 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);
2. Studiul eficienței de epurare obținut la diferite încărcări (masice și volumice), timp de retenție, doze de nămol activ (prin evacuarea nămolului activ în exces).
3. Analize:
  - a. încărcările poluanților (masice, volumice);
  - b. fizico-chimice (MS, CCO-Cr, CBO<sub>5</sub>, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, P<sub>total</sub>, temperatura).

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

1. Creșterea biofilmului (durata, grosimea, umiditatea);
2. Variația debitului de alimentare;
3. Studiul hidrodinamic;
4. Studiul eficienței de epurare;
5. Analize.

### **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 către modulul de epurare biologică 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.

## **2.5. Studiul componenței apei uzate menajere brute**

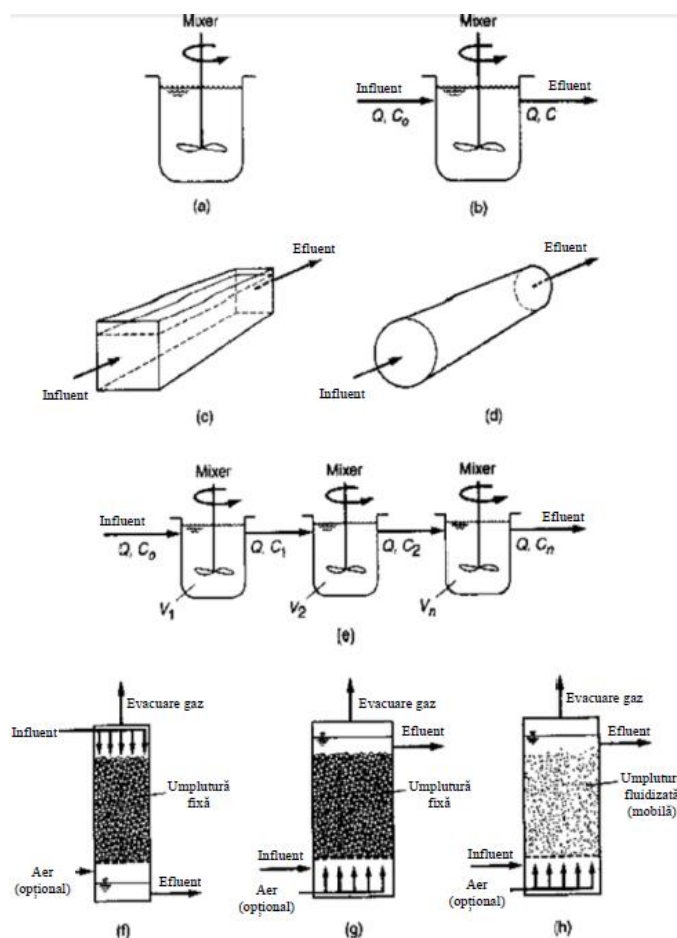
În cadrul prezentei teze s-a făcut un studiu privind concentrațiile parametrilor apei uzate menajere brute pe o perioadă de un an de zile.

### 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 cunoscute în general drept reactoare biologice. Principalele tipuri de reactoare biologice utilizate pentru epurarea apelor uzate, prezentate în figura 3.1, sunt:

- reactorul discontinuu/bioreactor secvențial ciclic - Sequencing Batch Reactor (SBR);
- reactorul cu amestec complet (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 umplutură biologică fixă (filtru biologic);
- reactorul cu umplutură biologică în mișcare - Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR).

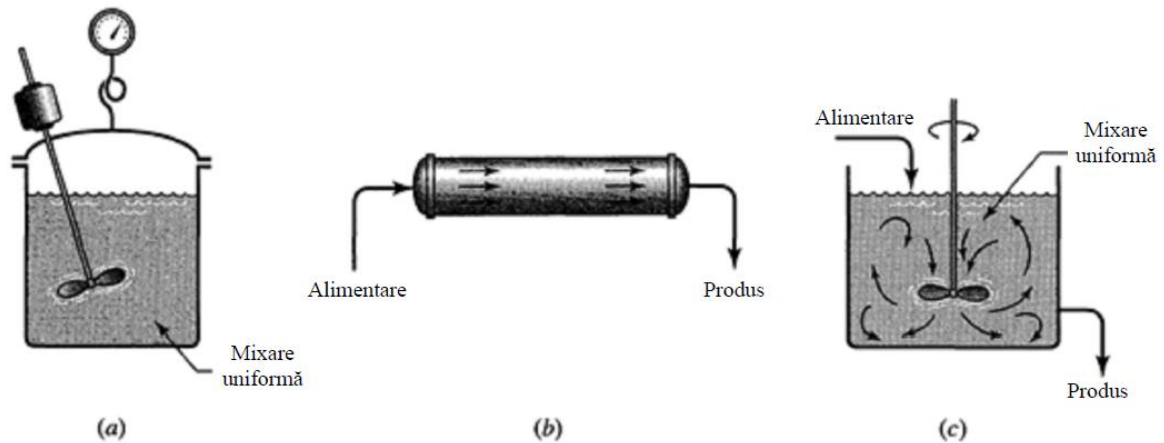


**Fig. 3.1. Tipuri de reactoare biologice. (a) reactor discontinuu, (b) reactor cu amestec complet, (c, d) reactoare tip piston, (e) reactoare cu amestec complet în serie, (f, g) reactoare cu umplutură fixă, (h) reactor cu umplutură în mișcare [20, pag. 219]**

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

Reactoarele biologice cu mișcare ideală a fluxului de apă uzată sunt: reactorul discontinuu, reactorul tip piston, reactorul cu amestecare completă.

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. [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]**

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

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 trece 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].

#### **Distribuția timpului de retenție (DTR)**

Abaterile de la cele modelele cu flux de mișcare ideal pot fi cauzate de amestecarea haotică a fluidului sau prin crearea de regiuni stătătoare (zone moarte) în reactor. Dacă se cunoaște cu exactitate ce se întâmplă în interiorul reactorului, atunci ar trebui, în principiu, să putem prezice comportamentul (mișcarea) fluidului în interiorul reactorului. 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].

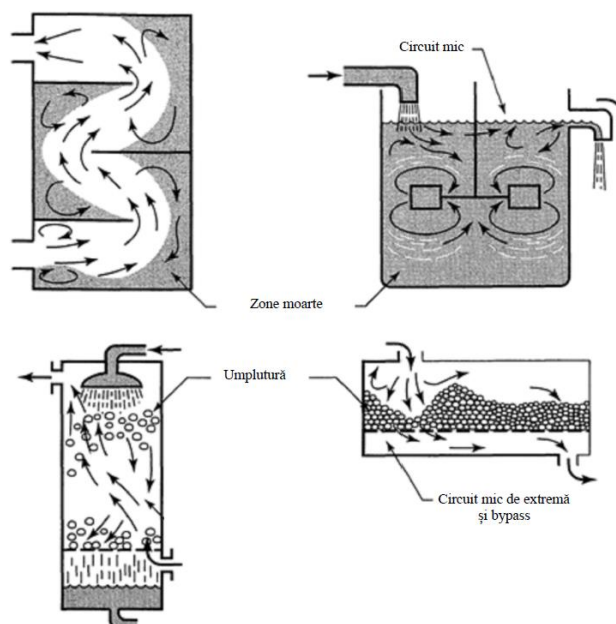


Fig. 3.5. Modele de fluxuri neideale care pot exista în echipamentul de proces [5, pag. 258]

### 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.

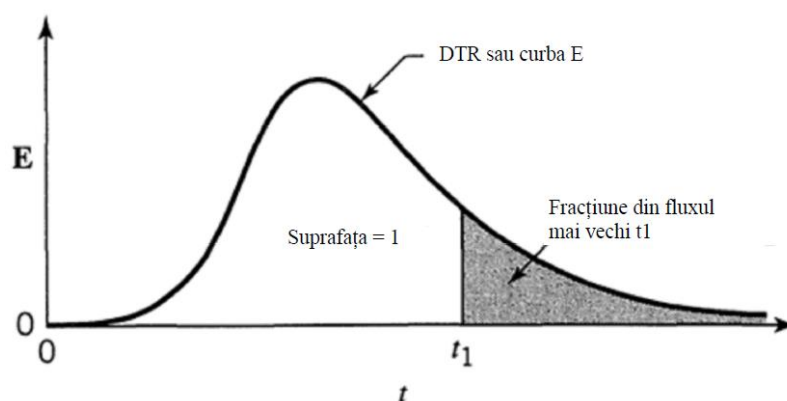


Fig. 3.6. Curba de distribuție a vârstei de ieșire **E** pentru fluidul care curge printr-un reactor, denumită și distribuția timpului de retenție sau DTR [5, pag. 261]

### 3.4. 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].

### Alegerea modelelor de dispersie

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  $D$  mic 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.

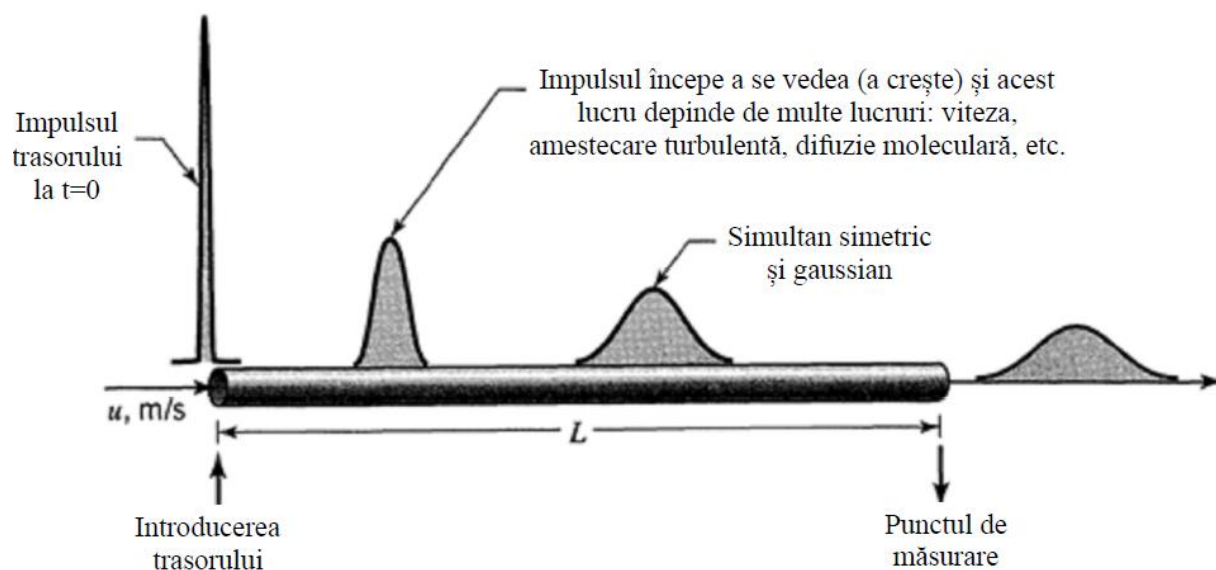


Fig. 3.15. Răspândirea traserului conform modelului de dispersie [5, pag. 294]

## 4. REZULTATE ȘI APLICAȚII ÎN PRACTICĂ ALE INVESTIGAȚIILOR

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

Epurarea biologică cu ajutorul suportului solid mobil 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 [13, pag. 101].

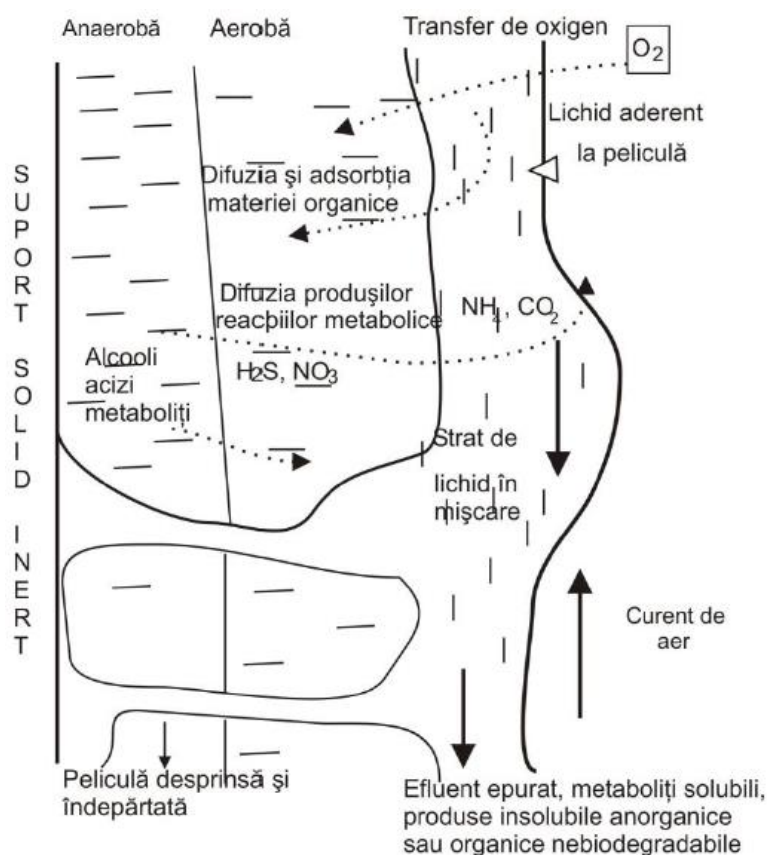


Fig. 4.1. Procesele fizice, chimice și biologice din pelicula biologică [13, pag. 101]

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

Conform algoritmului efectuării experimentelor în instalația-pilot de epurare a apelor uzate descris mai sus s-a efectuat un șir de investigații a apei uzate brute pe fiecare lună aparte și pentru diferite ore. Rezultatele centralizatoare privind calitatea apei uzate brute pe o perioadă de un an de zile sunt prezentate în tabelul 4.1.

**Tabelul 4.1. Variația componenței 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	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	Mediu	247,17	422,96	218,01	34,06	8,69	18,3

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

Cele mai bune rezultate sunt 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. Pentru a micșora timpul de retenție a apei uzate și deoarece se încearcă obținerea unui flux de mișcare tip piston, instalația 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.

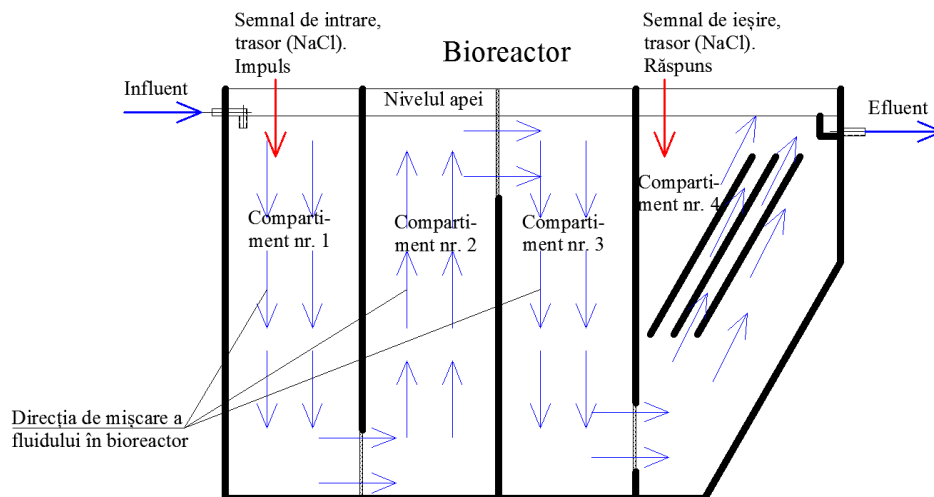
**Tabelul 4.6. Rezultatele obținute, condiția cu suport solid mobil, regim de durată, cu debitul de epurare 1,25 m<sup>3</sup>/h, debitul recirculat 3,75 m<sup>3</sup>/h**

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	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

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

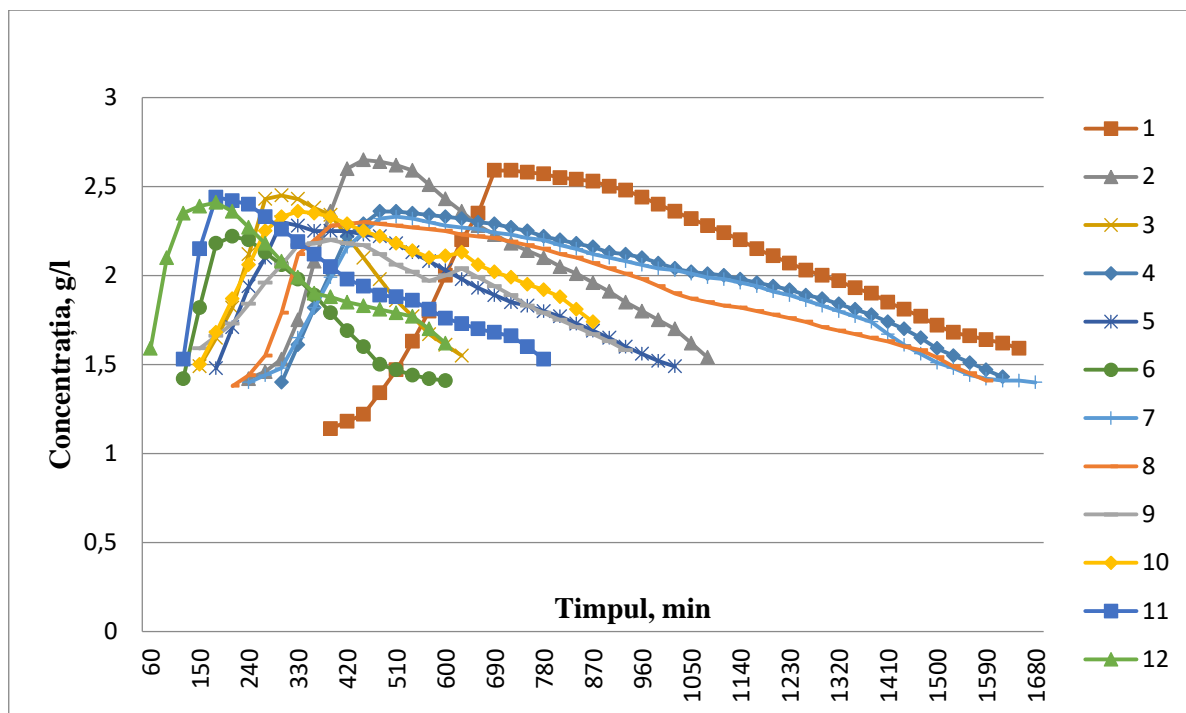
##### Metoda experimentală pentru stabilirea regimului hidrodinamic

Pentru evaluarea funcțiilor de distribuție a vârstelor (regimului hidrodinamic) a fost folosită metoda tehnică impuls – răspuns, care constă în introducerea unui semnal în influent și măsurarea răspunsului în efluent. Pentru realizarea unui astfel de semnal, traserul se introduce pe traseul fluidului (în primul compartiment). Traserul se introduce în influent 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. Pentru experimente în calitate de traser a fost folosită clorura de sodiu (sarea de bucătărie), NaCl.

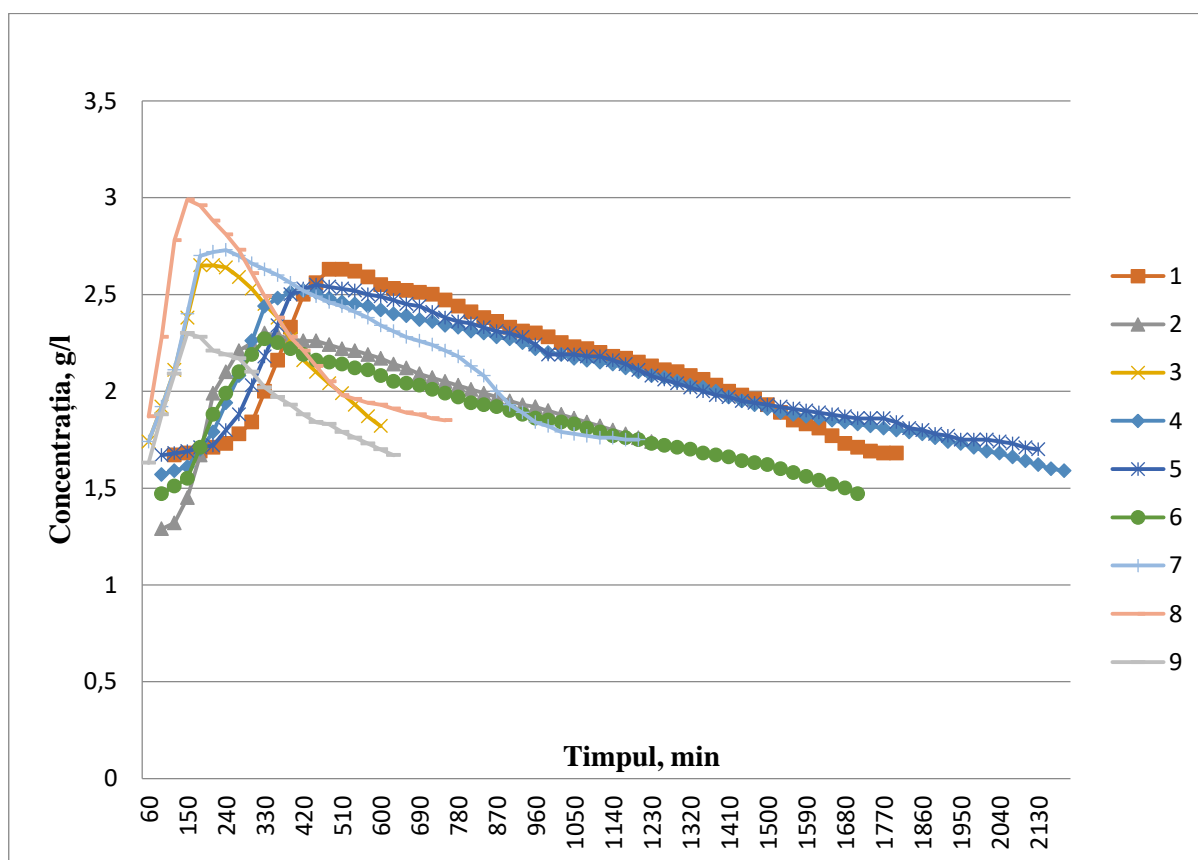


**Fig. 4.15. Schema de mișcare a fluidului în reactorul biologic-pilot/experimental**

Experimentele au fost efectuate pentru diferite debite de apă uzată și anume 0,5 m<sup>3</sup>/h, 1,0 m<sup>3</sup>/h și 2,0 m<sup>3</sup>/h, pentru diferite condiții conform algoritmului efectuării experimentelor. În total au fost efectuate 21 de experimente.



**Fig. 4.28. Grafic cetalizator pentru curba  $C_{impuls}$  fără SSM, condițiile: 1, 2, 3 - fără aerare, fără recirculare, debite  $0,5\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $1,0\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $2,0\text{ m}^3/\text{h}$ ; 4, 5, 6 - cu aerare, cu mixare, fără recirculare, debite  $0,5\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $1,0\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $2,0\text{ m}^3/\text{h}$ ; 7 - 12 - cu aerare, cu mixare, cu recirculare, debite  $0,5/1,0\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $0,5/1,5\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $1,0/2,0\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $1,0/3,0\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $2,0/4,0\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $2,0/6,0\text{ m}^3/\text{h}$**



**Fig. 4.38. Grafic cetalizator pentru curba  $C_{impuls}$  cu SSM, condițiile: 1, 2, 3 - cu aerare, cu mixare, fără recirculare, debite  $0,5\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $1,0\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $2,0\text{ m}^3/\text{h}$ ; 4 - 9 - cu aerare, cu mixare, cu recirculare, debite  $0,5/1,0\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $0,5/1,5\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $1,0/2,0\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $1,0/3,0\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $2,0/4,0\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $2,0/6,0\text{ m}^3/\text{h}$**

### Calculul modelului de dispersie, $D/uL$

După obținerea curbelor  $C_{impuls}$  s-a trecut la calculul modelului de dispersie ( $D/uL$ ) pentru a stabili gradul de dispersie a fluidului (apă uzată - aer) în instalația experimentală.

**Tabelul 4.29. Rezultatele modelului de dispersie obținute pentru condiția numărul 1. Fără suport solid mobil**

Nr.	Condițiile	$\bar{t}$ , ore	$\delta^2$	$\delta^2_0$	$D/uL$
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

**Tabelul 4.30. Rezultatele modelului de dispersie obținute pentru condiția numărul 2. Cu suport solid mobil**

Nr.	Condițiile	$\bar{t}$ , ore	$\delta^2$	$\delta^2_0$	$D/uL$
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

Conform [20, pag. 249], pentru valorile lui  $D/uL$  se atribuie și valorile 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.

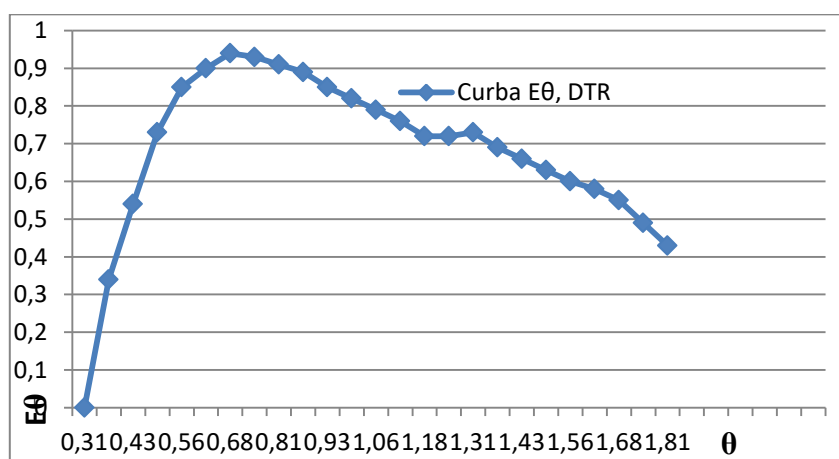
Rezultatele obținute pentru condițiile cu suport solid mobil (procedeu de epurare hibrid), sunt aproape de 0,05, ceea ce demonstrează că mișcarea fluidului în interiorul reactorului tinde spre o mișcare cu dispersie mică, adică reactorul biologic este aproape de tip piston.

Pentru debitul de 1,0 m<sup>3</sup>/h și debitul recirculat de 3,0 m<sup>3</sup>/h, cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare, cu recirculare obținem un timp mediu de retenție egal cu 7,67 ore pentru compartimentele instalației experimentale ceea ce rezultă un timp de 1,91 h pentru fiecare compartiment. Având în vedere că instalația experimentală a fost lăsată să lucreze timp de 3 luni cu un debit de 1,25 m<sup>3</sup>/h, iar rezultatele obținute au fost destul de bune întreaga instalație se poate de redimensionat pentru un debit de 1,25 m<sup>3</sup>/h = 30 m<sup>3</sup>/zi. Astfel se obține un timp mediu

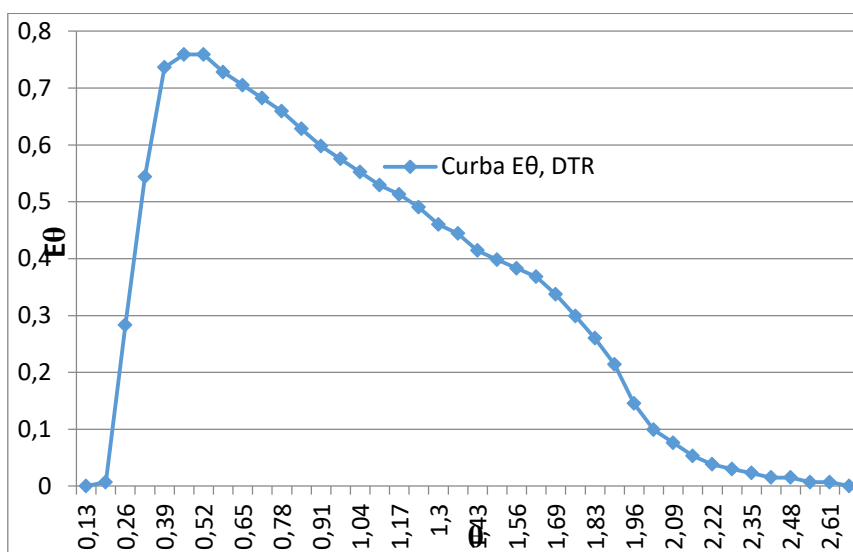
de tranzit a apei uzate în jur de 1,71 ore pentru fiecare compartiment. Reieșind din acestea se propune pentru proiectarea acestor tipuri de stații de epurare adoptarea timpului de retenție a apei uzate de 3,6 ore pentru reactoarele aerobe (câte 1,8 ore pentru fiecare din cele 2 compartimente aerob). Pentru compartimentul numărul 1 (bioreactorul anoxic) se propune un timp de retenție egal cu 1,0 ore. Totodată pentru fiecare proiect în parte se va verifica volumul întregii instalației în dependență de încărcarea organică a CBO-ului și a azotului de amoniu. Se referă la apele uzate industriale și/sau apele uzate menajere cu concentrații mari.

### Obținerea curbei E, distribuția timpului de retenție

Mai sus au fost prezentate curbele  $C_{impuls}$ , însă pentru o claritate mai mare privind distribuția timpului de retenție este nevoie de obținut curba E.



**Fig. 4.46. Curba  $E\theta$  pentru debitul pompat de 1,0 m<sup>3</sup>/h, cu condițiile - fără suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare, debitul recirculat 3,0 m<sup>3</sup>/h**



**Fig. 4.49. Curba  $E\theta$  pentru debitul pompat de 1,0 m<sup>3</sup>/h, cu condițiile - cu suport solid mobil, cu aerare, cu mixare/agitare, cu recirculare, debitul recirculat 3,0 m<sup>3</sup>/h**

## 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 suport solid mobil din volumul reactorului, cu suprafața de cel puțin  $650 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ;
- implementarea stațiilor de epurare a apei uzate tip Vavibloc pe teritoriul Republicii Moldova (conform rezultatelor obținute pe baza experimentelor efectuate).



## BIBLIOGRAFIE

5. LEVENSPIEL, O. *Chemical reaction engineering. Third edition.* New York: John Wiley & Sons, Inc, 1999. 668 p.
10. ANDRONIC, L., DUȚĂ, A. *Analize fizico-chimice și metode avansate de epurare a apelor uzate.* Brașov: Universitatea Transilvania, 2013. 162 p.
13. ROBESCU, D., STROE F. *Tehnici de epurare a apelor uzate.* București: Tehnica, 2011. 124 p.
20. TCHOBANOGLIOUS, G., BURTON, F. L., STENSEL, H. D. *Wastewater engineering. Treatment and reuse. Fourth edition.* New York: McGraw-Hill Companies Inc, 2003. 1819 p.
25. CĂLIN, A. *Epurarea avansată a apelor uzate. Stații compacte de capacitate mică: Teză de doctorat.* București: UTCB, 2008. 185 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.
38. UNGUREANU, D., VÎRLAN, V. *Considerații privind clasificarea procedeeilor 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.
53. NCM G.03.03.2015. *Instalații interioare de alimentare cu apă și canalizare.* Chișinău: Incercom, 2015. 153 p.
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.

## 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 tabelelor, 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.

VÎRLAN VASILII

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

**211.03 – REȚELE INGINEREȘTI ÎN CONSTRUCȚII**

**Rezumatul tezei de doctor în științe tehnice**

---

Aprobat spre tipar: 16.07.2021

Hârtie ofset. Tipar ofset.

Coli de tipar: 2,0

Formatul hârtiei 60x84 1/16

Tiraj: 50 exemplare

Comanda nr. 36

---

Tipografia „Artpoligraf” S.R.L.,  
mun. Chișinău, str. Cosmescu A., nr. 2  
Chișinău, 2021