



(12)

CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2014 00111**

(22) Data de depozit: **12.02.2014**

(41) Data publicării cererii:
29.05.2015 BOPI nr. **5/2015**

(71) Solicitant:
• **INSTITUTUL NAȚIONAL DE CERCETARE
DEZVOLTARE PENTRU ECOLOGIE
INDUSTRIALĂ,**
STR. DRUMUL PODUL DÂMBOVIȚEI
NR. 71-73, SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO

(72) Inventatori:
• **TRICOLICI OLGA,** STR. MĂRGEANULUI
NR. 26, BL. M23A, AP. 13, SECTOR 5,
BUCUREȘTI, B, RO;

• **BUMBAC COSTEL,** STR. BÂRSĂNEȘTI
NR. 6, BL. 154, SC. 2, AP. 68, SECTOR 6,
BUCUREȘTI, B, RO;
• **PĂTROESCU ION VIOREL,**
STR. FOCȘANI NR. 6, BL. M 196, AP. 50,
SECTOR 5, BUCUREȘTI, B, RO;
• **BĂDESCU VALERIU ROBERT,**
INTRAREA MUZEULUI NR. 17, BL. 4, SC. 3,
ET. 1, AP. 6, CARACAL, OT, RO

(54) **PROCEDEU DE OBȚINERE GRANULE MIXTE
MICROALGE-BACTERII PENTRU EPURAREA APELOR
UZATE**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un procedeu de obținere a unor granule mixte microalge-bacterii, utilizate în epurarea apelor uzate. Procedeu conform invenției constă în cultivarea într-un bioreactor a inoculului microalge-nămol activ, după următoarea secvență: alimentarea bioreactorului inoculat cu un mediu lichid care conține substrat, expunerea bioreactorului la o sursă de lumină, cu aplicarea unei anumite periodicități, agitarea mecanică a mediului pe perioada consumului de substrat, oprirea agitării mecanice, decantarea sistemului

microalge-nămol activ și evacuarea mediului activ din care se obțin granule mixte microalge-nămol activ, având dimensiuni de 200... 3000 μm și o viteză de sedimentare de minimum 10 m/h, și care asigură, prin sedimentare, recuperarea microalgelor din mediul lichid cu o eficiență de minimum 99%.

Revendicări: 14
Figuri: 12



PROCEDEU DE OBTINERE GRANULE MIXTE MICROALGE-BACTERII PENTRU EPURAREA APELOR UZATE

Invenția se referă la un procedeu destinat obținerii unei structuri granulare a sistemului simbiotic microalge – nămol activ cu capacitate de sedimentare ridicată, cu aplicații în epurarea apelor uzate.

Una dintre direcțiile dezvoltării sustenabile a complexelor socio-ecologice este reprezentată de către stocurile limitate de combustibili fosili și potențialele soluții viabile de înlocuire eficientă a acestora. Biomasa microalgală reprezintă o sursă regenerabilă de energie, care poate substitui rezervele de combustibili fosili, având numeroase avantaje față de alte resurse propuse până în prezent [1,2]. De asemenea, sunt cunoscute și alte posibilități de valorificare a biomasei microalgale: aplicare sub formă de fertilizatori în agrosisteme sau aditivi nutriționali în sistemele piscicole, obținerea de compuși bioactivi (utilizați în industria farmaceutică, cosmetică etc.) [3].

Interesul adresat procedului epurării biologice a apelor uzate utilizând microalge s-a datorat, în special, beneficiilor care pot fi obținute din valorificarea biomasei microalgale. Posibilitatea obținerii unei producții ridicate de microalge în lipsa costurilor necesare procurării nutrienților, aceștia provenind direct din sursele de ape uzate [4], a reprezentat unul dintre motivele cercetării procedului la nivel internațional [5].

Sunt cunoscute procese de epurare biologică convențională a apelor uzate ce presupun utilizarea biomasei nămolului activ având în componență specii variate de bacterii. Nămolul activ rezidual rezultat din procesul epurării reprezintă deșeu [6] a cărui gestiune este defectuoasă ca rezultat al: restricțiilor legislative, presiunii factorilor economici, riscului generat asupra stării ecosistemelor și sănătății umane [7, 8]. În prezent, deșeurile de nămol activ sunt preponderent depozitate în incinta stațiilor de epurare - soluție inefficientă pe termen lung [9]. Astfel, propunerea de soluții fezabile pentru valorificarea nămolului rezidual, reprezintă unul dintre obiectivele autentice, prioritare pentru operatorii stațiilor de epurare la nivel global [10]. În acest sens, înlocuirea parțială a nămolului activ cu biomasa microalgală poate crește numărul opțiunilor viabile de valorificare a biomasei reziduale rezultate din procesele de epurare.

De asemenea, sunt cunoscute eforturile cercetătorilor și operatorilor stațiilor de epurare de a reduce costurile de epurare [11], proceselor de aerare mecanică atribuindu-se cele mai mari costuri, reprezentând aproximativ 60 - 65% din totalul costurilor energetice [12]. Utilizarea microalgelor fotoautotrofe în treapta aerobă de epurare poate asigura eliminarea procedeelelor

de aerare mecanică a mediului de reacție, cu posibilitatea furnizării oxigenului necesar prin procesul de fotosinteză, în prezența luminii [13]. De asemenea, microalgele reprezintă specii cu potențial ridicat de îndepărtare a nutrienților (în principal, azot și fosfor) [14], precum și susțin funcția de reglare a ecosistemelor prin captarea dioxidului de carbon (CO_2) în timpul procesului de fotosinteză [15].

Procedeele raportate până în prezent, aplicate preponderent la nivel de laborator, au demonstrat eficiența utilizării sistemului microalge-bacterii pentru epurarea diferitelor categorii de ape uzate (municipale, industriale, etc.) [16, 17]. Dezavantajul acestor procedee constă în eficiența scăzută de îndepărtare a celulelor microalgale din mediul de reacție - problemă actuală, intens abordată nu doar în cazul infrastructurii epurării apelor uzate, dar și în cazul sistemului de producție comercială a biomasei microalgale [18]. Acest interes se datorează faptului că în lipsa unei metode eficiente economic de îndepărtare a microalgelor din mediu este limitată extinderea procedeeului la scară largă, dar și, de asemenea, este compromisă dezvoltarea infrastructurii adresate valorificării energetice a biomasei microalgale [19]. În urma analizei viabilității economice a procedeelelor de recoltare a microalgelor utilizate (coagulare-floculare chimică, centrifugare, etc.) s-a constatat faptul că acestea însumează costuri cuprinse între aproximativ 25% și 60% din totalitatea costurilor asociate producției microalgelor [20].

Problema identificării unui procedeu optim de recoltare se datorează dimensiunilor microscopice ale celulelor microalgale, speciile de microalge cel mai frecvent utilizate pentru epurarea apelor uzate având diametrul celulei mai mic de $30 \mu\text{m}$ [21], conferindu-le acestora o viteză de decantare mai mică de 10^{-6} m/s [22]. Eficiența aplicării procedeeului simplist al sedimentării gravitaționale este strict dependentă de dimensiunea speciei, această opțiune fiind aplicabilă majoritar pentru îndepărtarea microalgelor cu dimensiuni mari ($> 70 \mu\text{m}$), în restul cazurilor fiind o soluție parțială de lungă durată (zeci de ore/zile) [23].

Strategia actuală în domeniul biotehnologiei microalgale vizează necesitatea dezvoltării unei metode eficiente economic de recuperare a celulelor microalgale [24], deoarece, până în prezent nu a fost identificată o procedură universală care să demonstreze viabilitatea la scară largă [18].

În scopul îndepărtării eficiente a celulelor microalgale din efluent/mediul de cultură au fost propuse câteva procedee, cel mai frecvent aplicate fiind centrifugarea și coagularea/flocularea chimică. Deși este cunoscut ca și cel mai rapid procedeu de îndepărtare a celulelor microalgale, centrifugarea prezintă dezavantajul de a fi o metodă cu cerințe energetice ridicate [25]. De asemenea, procedeele nu prezintă eficiență pentru toate speciile de microalge [26] și,

datorită forței centrifugale ridicate, poate provoca liză celulară [27]. Procedul utilizării coagulanților/floculanților, de asemenea, prezintă câteva dezavantaje: s-a demonstrat a fi ineficient economic [18], este sensibil la variațiile pH-ului [23], eficiența procedului este dependentă de concentrația coagulantului și concentrația biomasei, anumite săruri metalice pot provoca liză celulară [28] și, de asemenea, prezintă riscul de contaminare a biomasei cu metale [25].

Sunt cunoscute și alte procedee de recuperare propuse în scopul soluționării dezavantajelor procedeelelor anterioare, precum ar fi: imobilizarea microalgelor pe diferite tipuri de matrici și bio-flocularea. Deși metoda imobilizării celulare a fost catalogată inițial ca fiind cea mai bună alternativă pentru epurarea eficientă, din punct de vedere al costurilor, a apelor uzate [28], aceasta prezintă câteva dezavantaje: implică costuri necesare achiziționării matricilor, nu toate tipurile de matrici asigură o imobilizare eficientă a celulelor microalgale (unele matrici fiind toxice), prezintă riscul scăderii suprafeței de contact dintre celulele microalgale și nutrienți în comparație cu procedul utilizării microalgelor în suspensie, necesită asigurarea unor tehnici suplimentare de separare a celulelor microalgale de pe matrici, eficiența procedului este dependentă de concentrația biomasei și concentrația substratului de aderență și, de asemenea, prezintă riscul scăderii eficienței de preluare a fotonilor odată cu creșterea biomasei [29, 30]. Bio-flocularea reprezintă un procedeu biologic și economic de recuperare a microalgelor, bazându-se pe utilizarea speciilor cu capacitate ridicată de auto-floculare [31]. Succesul aplicării procedului este dependent de speciile de microalge utilizate, însă nu toate speciile de microalge sunt eficiente pentru epurarea apelor uzate. De asemenea, un alt dezavantaj al procedului este reprezentat de necesitatea controlului dezvoltării unui taxon specific, care este greu de realizat la scară largă și în condiții reale (nesterile) de operare.

În același scop a fost propus un alt procedeu biologic caracterizat prin dezvoltarea unor structuri granulare compuse din specii de microalge și fungi, asigurând recuperarea rapidă a microalgelor prin sedimentare gravitațională [32]. Dezavantajul procedului constă în sensibilitatea pe care o prezintă la variațiile pH-ului, creșterea valorii indicatorului peste 7,5 conducând la pierderea integrității structurii granulare [33]. De asemenea, ca și în cazul bio-floculării, procedul este dependent de speciile de fungi utilizate [23].

Problema tehnică pe care o rezolvă procedul, conform invenției, este de a epura aerob apele uzate în lipsa surselor de aerare mecanică, utilizând sistemul simbiotic granular dezvoltat între microalge fotoautotrofe și bacterii heterotrofe și nitrificatoare, și de a îndepărta eficient și rapid celulele microalgale din efluent/mediu de cultivare prin sedimentare

gravitațională, în lipsa aplicării altor procedee de recuperare sau controlului parametrilor operaționali, prin dezvoltarea unei rețele granulare a sistemului simbiotic.

Procedeele de obținere a granulelor mixte microalge-bacterii, conform invenției.

Simbioza dintre microalgele fotoautotrofe și bacteriile heterotrofe și nitrificatoare este creată prin: consumul compușilor anorganici (NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-} , etc.) și eliberarea oxigenului molecular (O_2) în mediul de reacție de către specii de microalge fotoautotrofe, prin captarea fotonilor în timpul procesului de fotosinteză, în faza de lumină; consumul O_2 de către bacteriile nitrificatoare în procesul de nitrificare și de către bacteriile heterotrofe în procesul degradării materiei organice și eliberarea dioxidului de carbon (CO_2); asimilarea CO_2 de către microalgele fotoautotrofe în faza de proces fotosintetic independentă de lumină. Prin suport metabolic reciproc, realizat între microalgele fotoautotrofe și bacteriile heterotrofe și nitrificatoare, este asigurată asimilarea și a altor nutrienți din mediul de reacție. Rezultatul relațiilor de simbioză dezvoltate între microalgele fotoautotrofe și bacteriile heterotrofe și nitrificatoare este reprezentat de îndepărtarea materiei organice și a nutrienților din apele uzate fără a fi necesară o sursă externă de oxigen.

Structura granulară reprezintă o rețea compusă din microalge filamentoase, microalge nefilamentoase (cu diametrul celulei mai mic de 30 μm), bacterii heterotrofe și bacterii nitrificatoare și este rezultatul: relațiilor de simbioză, proprietăților morfologice ale microalgelor filamentoase, caracteristicilor biochimice ale microalgelor și bacteriilor și presiunii agitării mecanice a biomasei. Bacteriile heterotrofe și bacteriile nitrificatoare, împreună cu microalgele fotoautotrofe, asigură un anumit grad de agregare celulară, ca rezultat al secreției polimerilor extracelulari, iar microalgele filamentoase generează o rețea densă de filamente, care, sub presiunea agitării biomasei, determină structura granulară a sistemului simbiotic, asigurând aderența tuturor tipurilor de microalge la structura granulelor.

Scopul invenției este de a obține granule mixte de microalge fotoautotrofe și bacterii heterotrofe și autotrofe cu capacitate ridicată de sedimentare pentru dezvoltarea unor procese noi de epurare a apelor uzate cu eficiență ridicată, costuri scăzute de operare și cu posibilități multiple de valorificare a biomasei reziduale.

Procedeele, conform invenției, prezintă următoarele avantaje:

- obținerea unui sistem simbiotic microalge – nămol activ, cu structură granulară și capacitate ridicată de sedimentare;
- obținerea unui sistem granular cu rezistență ridicată a integrității structurale la variațiile parametrilor de operare;



- îndepărtarea eficientă și rapidă a microalgelor din efluent/mediu de cultivare prin sedimentare gravitațională, în lipsa aplicării altor metode complementare;
- îndepărtarea materiei organice și a nutrienților din apele uzate, în condiții aerobe, în lipsa procesului de aerare mecanică.

Procedeul, conform invenției, oferă posibilitatea creșterii procentului de valorificare a biomasei reziduale provenite din procesul epurării apelor uzate.

Procedeul, conform invenției, ar putea fi utilizat și în cazul producției comerciale a biomasei microalgale, prin înlocuirea apelor uzate cu medii de cultură specifice, asigurând îndepărtarea eficientă a celulelor microalgale.

Se dau în continuare două exemple de realizare a procedeeului, conform invenției, respectiv:

A. un exemplu de realizare a procedeeului de granulare a sistemului simbiotic microalge – nămol activ în legătură cu figurile 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, în care:

- figura 1, reprezintă microalgele filamentoase și microalgele globulare (nefilamentoase),
- figura 2, reprezintă schema fotobioreactorului,
- figura 3, reprezintă distribuția granulometrică a celulelor microalgale nefilamentoase (globulare),
- figura 4, reprezintă imaginea microscopică a sistemului simbiotic granular microalge – bacterii,
- figura 5, reprezintă structura granulară a sistemului simbiotic microalge – bacterii,
- figura 6, reprezintă distribuția granulometrică a granulelor mixte microalge – nămol activ obținute,
- figura 7, reprezintă viteza de sedimentare a granulelor microalge – nămol activ,
- figura 8, reprezintă imaginea sedimentării entităților granulare microalge - nămol activ rezultate după procedeeul de granulare,
- figura 9, reprezintă imaginea sedimentării sistemului simbiotic microalge - nămol activ în timpul realizării procedeeului de granulare.

B. un exemplu de utilizare a sistemului simbiotic granular obținut, conform invenției, în legătură cu figurile 10, 11, 12 și tabelul 1, în care:

- figura 10, reprezintă capacitatea de generare a O₂ de către microalge și variația valorilor pH-ului în timpul procedeeului de epurare,
- figura 11, reprezintă variația concentrației materiei organice (CCOCr - ului),

- figura 12, reprezintă variația concentrațiilor ionilor amoniu (NH_4^+), azotit (NO_2^-) și azotat (NO_3^-) în timpul procedurii de epurare,
- tabelul 1, reprezintă caracteristicile fizico-chimice ale influentului și efluentului rezultat din aplicarea procedurii, conform invenției, în comparație cu normativele în vigoare: NTPA - 001/2005 și NTPA - 002/2005.

A. În continuare este prezentat un exemplu de descriere a procedurii de granulare a sistemului simbiotic microalge – nămol activ, conform invenției.

Procedeul de obținere a granulelor s-a realizat în regim de funcționare secvențial cu următoarele trepte:

- inoculare fotobioreactor;
- alimentare fotobioreactor cu 1 litru apă uzată;
- asigurarea parametrilor operaționali: sursă de lumină, fotoperiodicitate, agitare mecanică a mediului, timp de retenție hidraulică;
- decantarea biomasei pentru un timp de 30 de minute;
- evacuarea efluentului din partea superioară a fotobioreactorului, fără eliminarea biomasei decantate, și realimentarea bioreactorului.

Procedeul de granulare a sistemului microalge – bacterii a fost realizat în cadrul unui fotobioreactor de laborator având o capacitate maximă de 2 litri.

Inoculul inițial a fost reprezentat de către specii native de microalge filamentoase (1) și nefilamentoase (globulare) (2) și bacterii heterotrofe și nitrificatoare, care s-au dezvoltat sub formă de biofilm pe perețele unui reactor de epurare a apelor uzate. Microalgele nefilamentoase s-au caracterizat prin dimensiuni ale diametrului celulei cuprins între aproximativ 1 și 8 μm (Figura 3), având o capacitate scăzută de sedimentare ($< 1,5 \cdot 10^{-6}$ m/s). Microalgele filamentoase s-au caracterizat printr-o capacitate mai bună de sedimentare față de celulele microalgale globulare, valoarea indicatorului fiind de aproximativ $2,4 \cdot 10^{-6}$ m/s.

Inoculul a fost preîmbogățit într-un incubator-agitator, prevăzut cu lumină fotosintetică, în 80% mediu de cultură sintetic îmbogățit în nutrienți și 20% apă uzată (la care au fost adaptate speciile prelevate) pentru o perioadă de timp de o lună. În timpul cultivării au fost setate următoarele condiții: temperatura - 25°C , agitarea sistemului – 75 rotații/minut (agitare continuă), frecvența fotoperiodicității: 12 ore fază de lumină : 4 ore fază de întuneric. Stocul de microalge – bacterii dezvoltat după perioada de cultivare a reprezentat inoculul utilizat pentru realizarea procedurii de granulare.

Influentul utilizat pentru alimentarea fotobioreactorului - apă uzată reală, neautoclavată, a avut următoarele caracteristici fizico-chimice: pH 7 – 8; $O_2 < 30\%$, $CCOCr$ 100 - 400 mg O_2/L , $NH_4^+ < 41$ mg/L, $NO_2^- < 0,1$ mg/L, $NO_3^- < 6$ mg/L, $PO_4^{3-} < 12$ mg/L.

Bioreactorul (3) a fost expus la o sursă externă de lumină de intensitate 3980 lumeni (4), iar fotoperiodicitatea a fost setată la 15 ore fază de lumină : 9 ore fază de întuneric, faza de lumină începând odată cu alimentarea bioreactorului. Omogenizarea biomasei s-a realizat prin intermediul sistemului de agitare mecanică (5) încorporat în structura bioreactorului. Indicatorii: pH, temperatură ($^{\circ}C$) și saturația în oxigen (%) a mediului de reacție au fost monitorizați continuu de către electrozii și senzorii încorporați în structura bioreactorului. Pe durata procedurii, pH-ul a fost menținut în mod automat între valorile 6,5 – 8,5 utilizând hidroxid de potasiu (KOH) 0,1% și acid sulfuric (H_2SO_4) 1N.

După mai multe cicluri de operare, s-a obținut un sistem simbiotic granular microalge – nămol activ (Figura 4) alcătuit din microalge filamentoase (6), microalge nefilamentoase (7) și bacterii heterotrofe și nitrificatoare (8). Entitățile granulare rezultate s-au caracterizat printr-un diametru cuprins între 420 – 1900 μm (Figura 6), având o capacitate de sedimentare de aproximativ $0,5 \cdot 10^{-2} \pm 0,2 \cdot 10^{-2}$ m/s (Figura 7). În figura 8 este prezentată imaginea sistemului microalge – nămol activ în treapta de sedimentare la sfârșitul procedurii de granulare, iar în figura 9 este prezentată imaginea sistemului microalge - bacterii în treapta de sedimentare în timpul procedurii de granulare.

B. În continuare este prezentat un exemplu de utilizare a sistemului simbiotic granular microalge – nămol activ pentru epurarea apelor uzate.

Inoculul microalge – nămol activ utilizat pentru epurarea apelor uzate a fost reprezentat de către sistemul granular obținut prin procedeul de granulare, conform invenției. Experimentul a fost realizat utilizând tipul de fotobioreactor specificat în cadrul procedurii de granulare. Epurarea apei uzate s-a realizat în regim de funcționare secvențial în următoarele trepte:

- alimentare fotobioreactor cu apă uzată (1 litru) provenită din industria laptelui, parțial epurată, ne-autoclavată, caracteristicile fizico-chimice ale influentului fiind prezentate în tabelul 1,
- epurarea apei uzate aplicând un timp de retenție hidraulică de 24 de ore, cu omogenizarea continuă a biomasei (prin intermediul sistemului de agitare mecanică) cu o viteză de 120 rotații/minut,
- decantarea biomasei timp de 5 minute,
- evacuarea efluentului din partea superioară a bioreactorului, cu menținerea biomasei, și realimentarea bioreactorului.

Bioreactorul a fost expus la o lumină externă de intensitate 3980 lumeni, iar fotoperiodicitatea a fost setată la 15 ore fază de lumină : 9 ore fază de întuneric, faza de lumină începând odată cu alimentarea bioreactorului.

Conform tabelului 1, utilizarea sistemului granular microalge – nămol activ pentru epurarea apelor uzate asigură calitatea efluentului, raportat la limitele impuse prin normativul NTPA - 001/2005, cu excepția concentrației ionilor NO_3^- .

Ca rezultat al utilizării sistemului simbiotic granular microalge – nămol activ, conform invenției, în primele ore de epurare a apei uzate, în faza de lumină, nivelul saturației în O_2 a mediului de reacție a rămas constant la 0% (figura 10), datorită consumului integral al O_2 , furnizat prin procesul de fotosinteză, de către biomasa bacteriană. Astfel, în primele ore de epurare concentrația de oxigen molecular preluată de către bacterii este mai mare sau egală cu cea asigurată prin procesul de fotosinteză.

Odată cu scăderea concentrației materiei organice (CCOCr-ului) de la 149,6 la 8,8 mg O_2/L (figura 11), asigurată în primele 3 – 4 ore de la începutul secvenței de epurare, nivelul saturației în O_2 a mediului de reacție a început să crească, depășind palierul de saturație în oxigen molecular de 100%. Astfel, prin intermediul procesului biochimic – fotosinteza, realizat de către microalgele fotoautotrofe, s-a asigurat îndepărtarea materiei organice cu o eficiență de 94,1 % și suprasaturarea mediului de reacție în O_2 , în faza de lumină, în lipsa aerării mecanice.

După consumul aproape integral al materiei organice, creșterea inițială a nivelului saturației în O_2 a mediului de reacție se realizează lent datorită intensificării proceselor de nitrificare (figura 12) odată cu creșterea concentrației de oxigen molecular în mediul de reacție. În timpul aplicării procedurii, conform invenției, eficiența de îndepărtare a azotului amoniacal a fost mai mare de 99,4%.

Odată cu intrarea în faza de întuneric, nivelul saturației în O_2 a scăzut atingând un nivel minim ce a variat între 25 și 40%. Variațiile valorilor saturației în O_2 , pe perioada epurării influentului, între 0% și peste 100%, nu au afectat integritatea structurală a granulelor.

În timpul aplicării procedurii, conform invenției, pH-ul mediului de reacție a variat între 6,5 și 7,7 (figura 10) fără a afecta integritatea structurală a sistemului simbiotic microalge - nămol activ. Analiza efectului presiunilor șoc, reprezentate de către variații ale valorilor pH-ului între 8,8 și 5,5, a evidențiat menținerea integrității structurale a sistemului simbiotic granular microalge – nămol activ.

Eficiența de îndepărtare a celulelor microalgale a fost de 99,91% , indicatorul fiind evaluat în funcție de concentrația de clorofilă “a” existentă în biomasă, înainte de treapta de

sedimentare, și din efluent. În cazul altor secvențe de epurare a apelor uzate realizate utilizând sistemul simbiotic granular microalge-nămol activ, concentrația de clorofilă "a" din efluent a variat în intervalul 0 - 0,024 mg/L, asigurându-se astfel o eficiență de recuperare a celulelor microalgale cuprinsă între 99,4% și 100%.

REVENDICĂRI

1. Procedeu de obținere granule mixte microalge – nămol activ într-un fotobioreactor caracterizat prin aceea că se desfășoară după următoarea secvență:
 - a. inocularea fotobioreactorului cu microalge și nămol activ;
 - b. alimentarea fotobioreactorului cu un mediu lichid ce conține substrat;
 - c. asigurarea parametrilor operaționali: expunerea bioreactorului la o sursă de lumină - aplicarea unei fotoperiodicități; agitarea mecanică a mediului pentru asigurarea amestecării continue a lichidului, substratului, microalgelor și bacteriilor nămolului activ; parametrii ce asigură desfășurarea concomitentă a metabolismelor microalgelor și bacteriilor heterotrofe și nitrificatoare, aflate în relații de simbioză, ce conduc la transformarea substratului și generarea de noi celule microalgale și bacteriene ce agregă între ele formând granule;
 - d. oprirea agitării pentru o perioadă de timp pentru a permite granulelor mixte microalge-nămol activ să decanteze în fotobioreactor;
 - e. evacuarea efluentului prin golirea parțială a lichidului din partea de sus a fotobioreactorului;
 - f. repetarea secvenței începând de la punctul b.) la f.)și în care, granulele mixte microalge-nămol activ decantează în etapa d.) cu o viteză de minim 5 m/h.
2. Procedeu de obținere granule mixte microalge-nămol activ, conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că inoculul descris la punctul a.) este reprezentat de microalge și bacterii.
3. Procedeu de obținere granule mixte microalge-nămol activ, conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că inoculul descris la punctul a.) este reprezentat de microalge fotoautotrofe filamentoase și nefilamentoase (globulare) și nămol activ ce conține bacterii heterotrofe și nitrificatoare.
4. Procedeu de obținere granule mixte microalge-nămol activ, conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că mediul lichid de alimentare a fotobioreactorului descris la punctul b.) poate fi un mediu lichid sintetic cu nutrienți (substrat organic, macro- și micronutrienți), apă uzată reală sau amestec din mediu sintetic și apă uzată.
5. Procedeu de obținere granule mixte microalge-nămol activ, conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că asigurarea fotoperiodicității (lumină – întuneric), descrisă la punctul c.), poate fi realizată prin aplicarea unei surse externe de lumină naturală, artificială sau o combinație a acestora astfel încât să se asigure un raport de minim 0,5 între faza de

lumină și cea de întuneric, totodată faza de lumină trebuie să înceapă imediat după alimentarea fotobioreactorului (punctul b.).

6. Procedeu de obținere granule mixte microalge-nămol activ, conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că transformarea substratului/epurarea apelor uzate, caracterizată la punctul c.), se realizează prin procese metabolice ale bacteriilor heterotrofe aerobe, facultativ aerobe și autotrofe aerobe, precum și procese metabolice ale microalgelor fotoautotrofe din componența granulelor mixte microalge – bacterii.
7. Procedeu de obținere granule mixte microalge-nămol activ, conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că oxigenul necesar proceselor aerobe/facultativ aerobe, conform revendicării 6, este generat exclusiv de microalgele din compoziția granulelor mixte prin procesul de fotosinteză.
8. Procedeu de obținere granule mixte microalge-nămol activ, conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că în cadrul granulelor mixte microalge – bacterii se dezvoltă o relație mutuală de simbioză în care oxigenul generat de microalge prin fotosinteză devine substrat pentru bacterii, iar dioxidul de carbon generat de bacterii devine substrat pentru microalge.
9. Procedeu de obținere granule mixte microalge-nămol activ, conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că granulele mixte microalge-nămol activ obținute au dimensiuni între 200 și 3000 μm ;
10. Procedeu de obținere granule mixte microalge-nămol activ, conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că viteza de decantare a granulelor mixte microalge-nămol activ este de minim 10 m/h.
11. Procedeu de obținere granule mixte microalge-nămol activ, conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că viteza de decantare a granulelor mixte microalge-nămol activ este de minim 15 m/h.
12. Procedeu de obținere granule mixte microalge-nămol activ, conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că viteza de decantare a granulelor mixte microalge-nămol activ este de minim 25 m/h.
13. Procedeu de obținere granule mixte microalge – nămol activ, conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că asigură recuperarea celulelor microalgale din mediu, prin metoda sedimentării gravitaționale, cu o eficiență cuprinsă între 99 și 100%.
14. Procedeu de obținere granule mixte microalge – nămol activ, conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că granulele obținute sunt utilizate pentru dezvoltarea unor procese

noi de epurare a apelor uzate cu eficiență ridicată, costuri scăzute de operare și cu posibilități multiple de valorificare a biomasei reziduale.

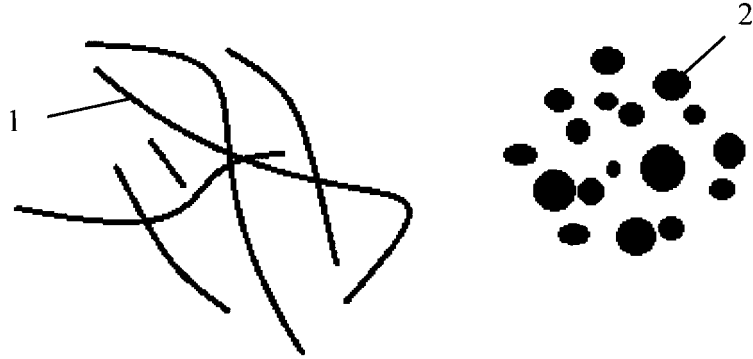


Figura 1

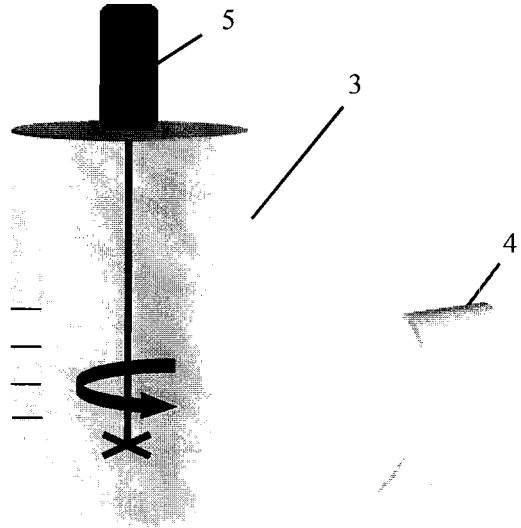


Figura 2

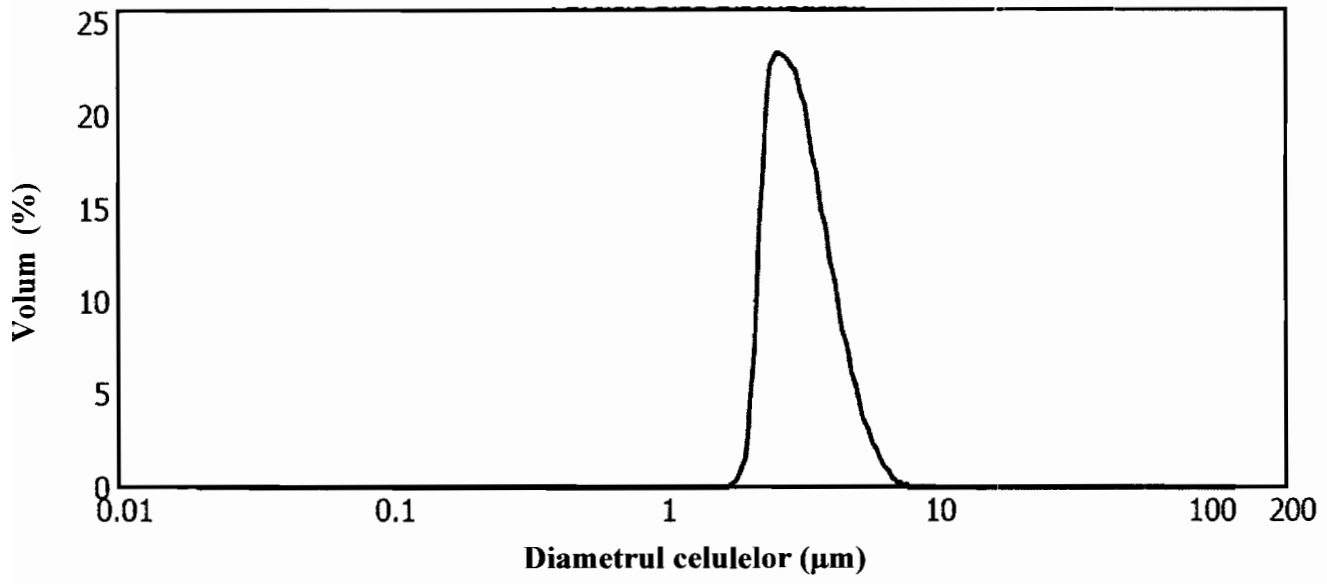


Figura 3

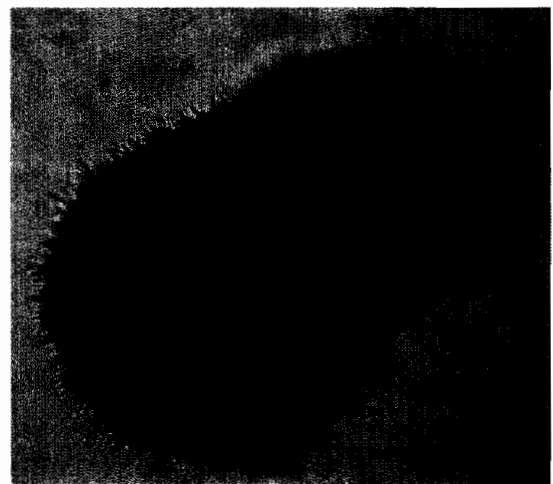


Figura 4 (Obiectiv 4X)

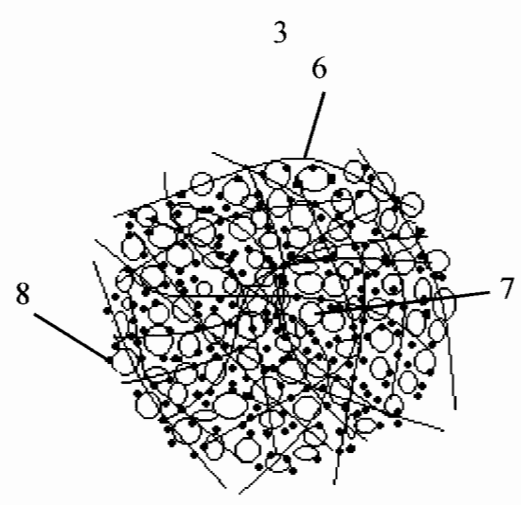


Figura 5

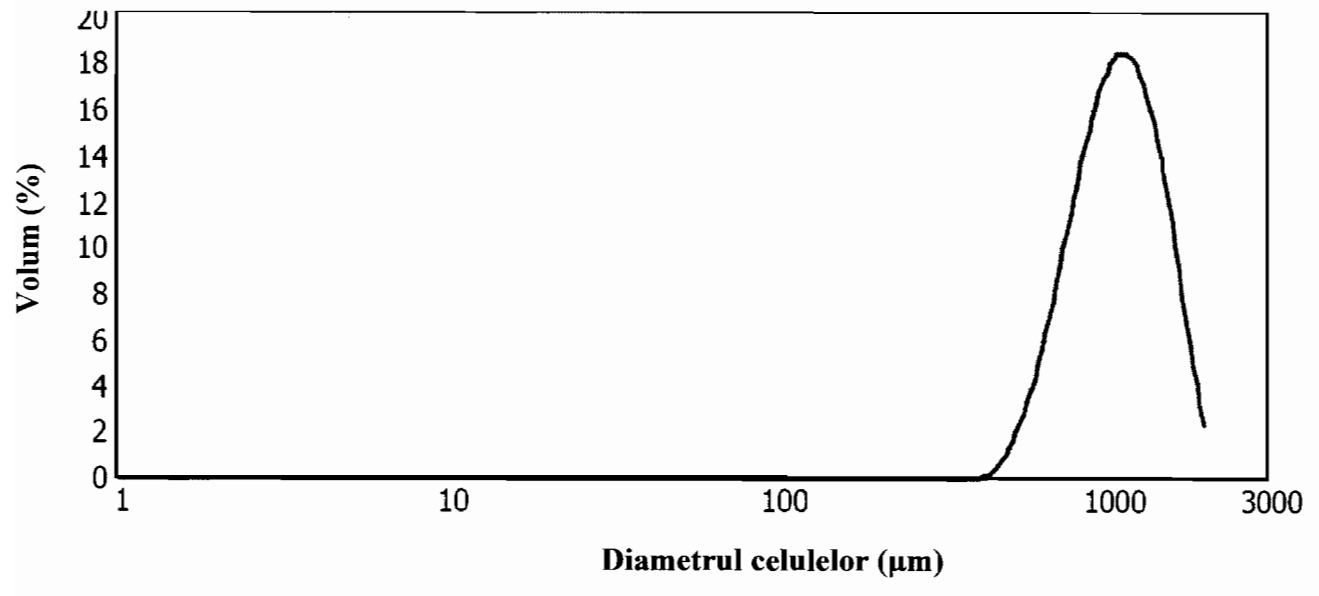


Figura 6

Viteza de decantare

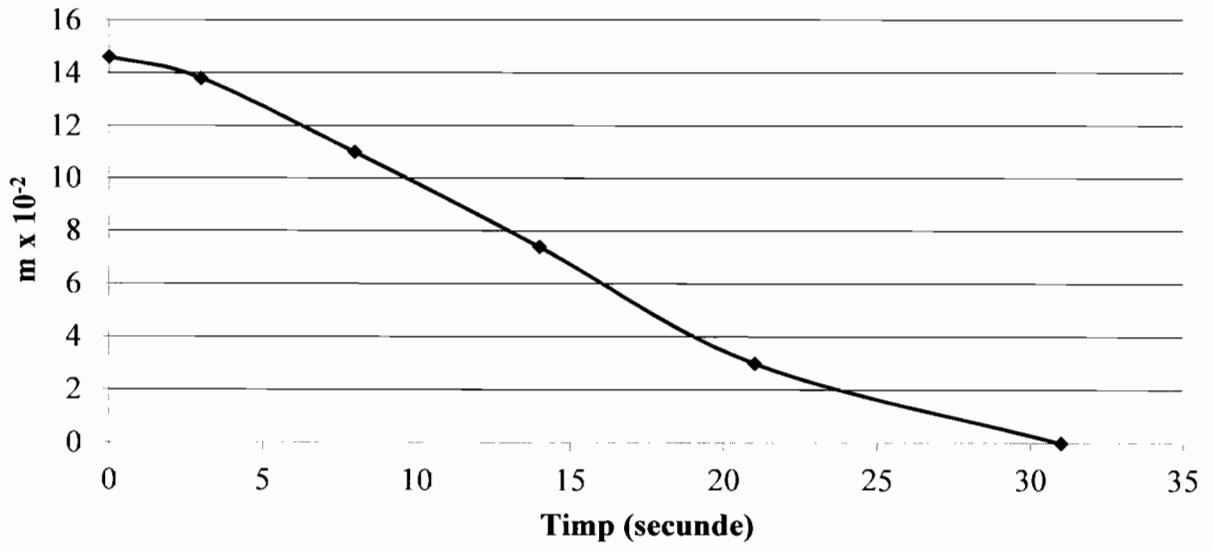


Figura 7

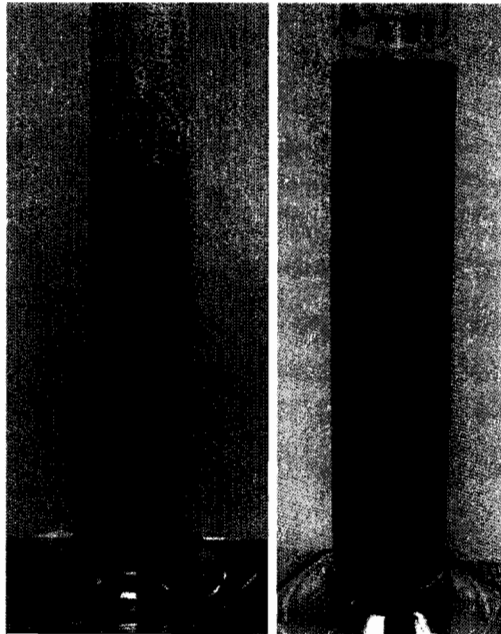


Figura 8

Figura 9

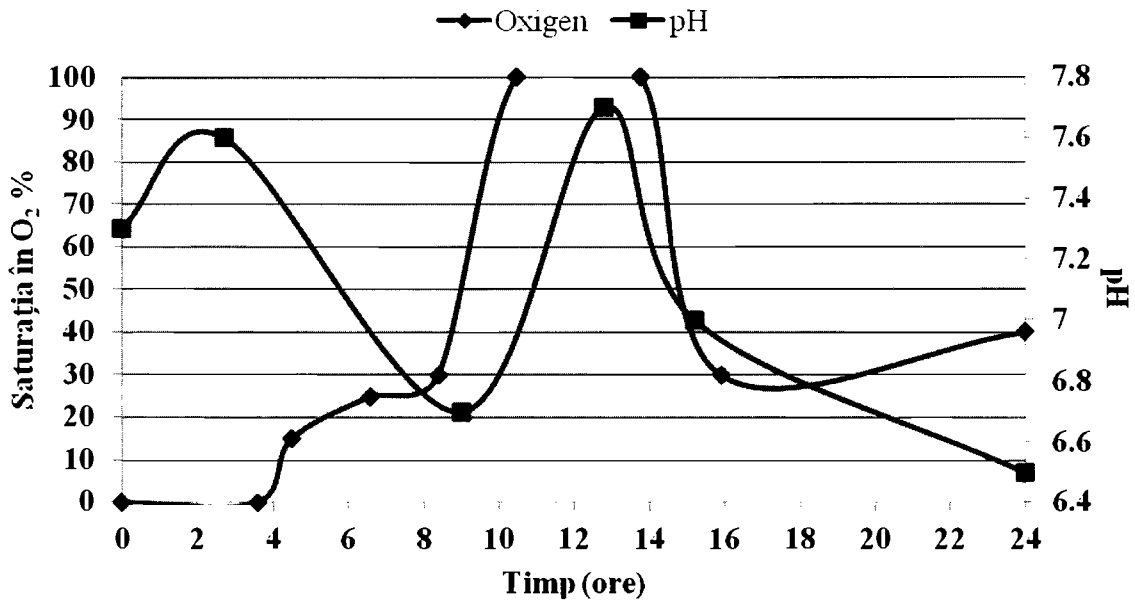


Figura 10

CCOCr

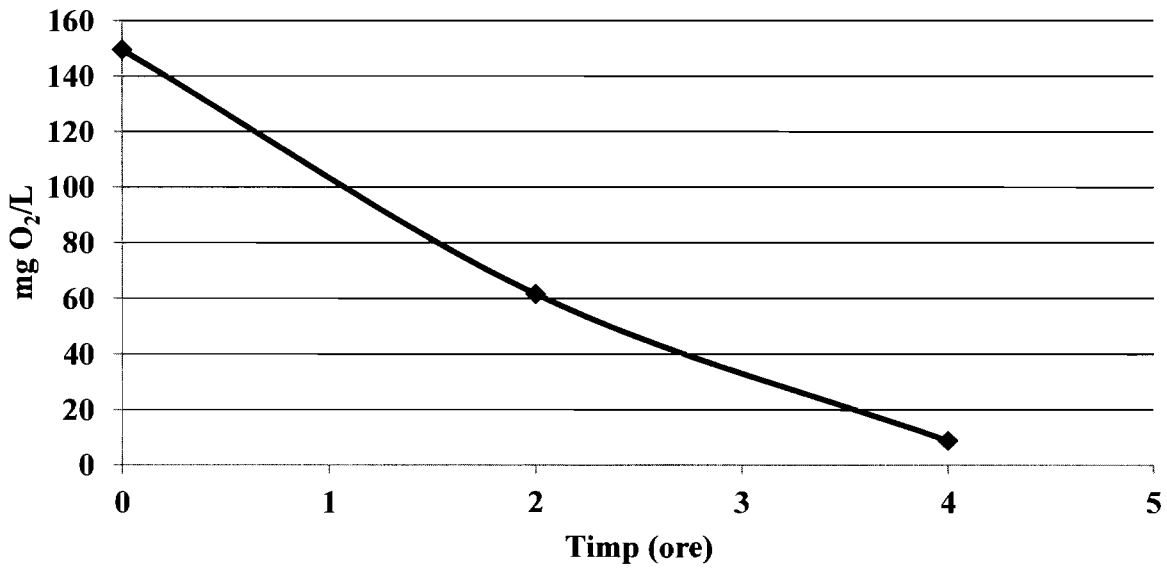


Figura 11

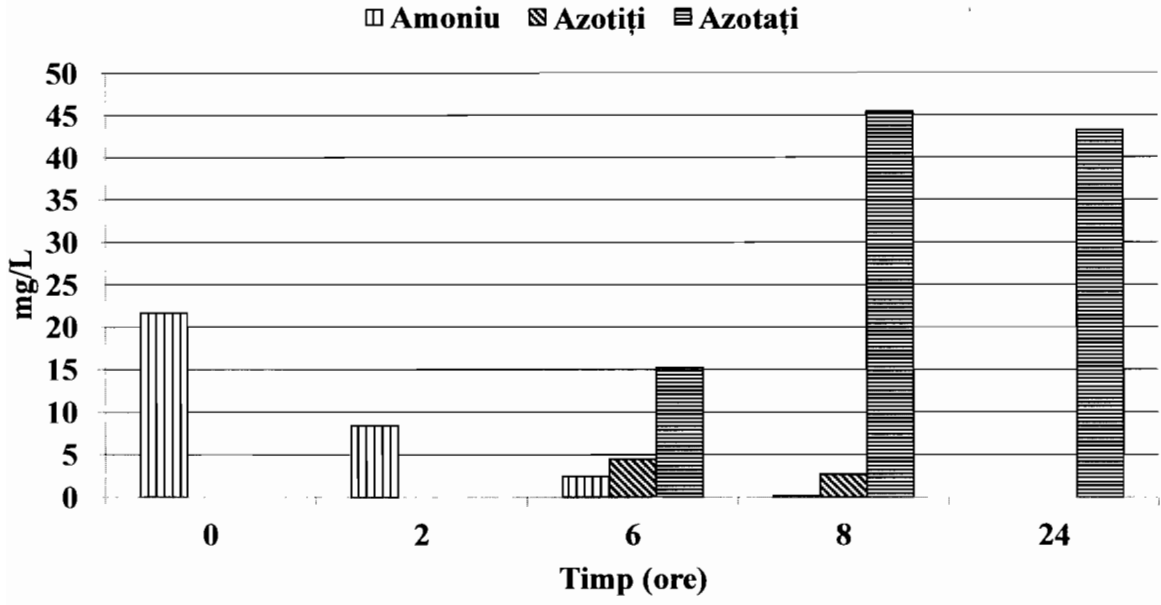


Figura 12

Tabel 1

Indicator	Unitate de măsură	Influent	Efluent	NTPA - 001/2005 [34]	NTPA - 002/2005 [35]
Temperatură	⁰ C	15	28,3	35	40
pH	-	7,3	6,5	6,5-8,5	6,5 – 8,5
O ₂	mg/L	<0,5	3,2	-	-
Materii în suspensie	mg/L	4	3	35 ¹ (60)	350
Consum chimic de oxigen - metoda cu dicromat de potasiu (CCOCr)	mg O ₂ /L	149,6	8,8	125	500
Consum biochimic de oxigen la 5 zile (CBO ₅)	mg O ₂ /L	57,7	< 9	25	300
N-NH ₄ ⁺	mg/L	16,9	<0,1	2 ¹ (3)	30
NO ₂ ⁻	mg/L	<0,1	<0,1	1 ¹ (2)	-
NO ₃ ⁻	mg/L	<0,1	43,2	25 ¹ (37)	-
PO ₄ ³⁻	mg/L	9,6	4,2	-	-
Azot total	mg/L	19,1	10,1	10 ¹ (15)	-
Fosfor total	mg/L	3,3	1,4	1 ¹ (2)	5
Clorofila „a”	mg/L	0	20,89 / 0,017 ²	-	-

¹Valori ce trebuie considerate pentru descărcări ale efluenților în zone sensibile

²Concentrația de clorofila “a” înainte de treapta de sedimentare / în efluent