

BIOTEHNOLOGII INTEGRATE CU PROCESE FIZICO-CHIMICE PENTRU EPURAREA APELOR UZATE ORĂȘENEȘTI ȘI PENTRU TRATAREA NĂMOLURILOR REZIDUALE ÎN VEDEREA REFOLOSIRII

Violeta-Monica RADU, Petra IONESCU

Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Protecția Mediului București

Abstract: Integrated biotechnologies with physical and chemical processes of urban wastewater and residual sludge treatment to become reusable. Mechanical and biological treatment finally results in the elimination, in the first step, of the decanted solids and floating oils, and in the second step, in the biological elimination of most of the dissolved and suspended organic substances. Current procedures are unable to eliminate certain categories of impure substances, also called resistant or refractory. These refractory substances have adverse effects, primarily on human health (waterborne diseases, noninfectious diseases). In addition, they can also lead to unpleasant aesthetic effects in the emissaries into which they are discharged. Foaming primarily due to detergents, floating materials, excessive growth of algae, odors or water clogging of the emissary represent some of the unpleasant effects of refractory substances. Negative economic effects of refractory substances are also important. They produce corrosion of pipes or concrete basins, and rapidly alter ion exchangers, the biological treatment processes are inhibited, the doses of coagulants for water treatment need to be increased and the sedimentation speed is reduced, etc.

Composition of sludge from wastewater treatment plants is complex. It is rich in micro and macroelements, but may contain toxic compounds and pathogens. There are many ways of treating sludge resulting from wastewater treatment plants but, on this work, the method of composting sludge in combination with an organic substrate is described.

Keywords: wastewaters, sludge, treatment.

Introducere

Procedeele clasice de epurare nu sunt capabile să elimine și anumite categorii de substanțe impurificatoare, numite rezistente sau refractare, cu efecte negative, în primul rând asupra sănătății omului (boli hidrice, îmbolnăviri neinfecțioase). Epurarea mecanică și biologică are ca rezultat final eliminarea, în prima treaptă, a substanțelor solide decantabile și a uleiurilor care flotează, iar în a doua treaptă, cea biologică, eliminarea, în mare măsură a substanțelor organice dizolvate și în suspensie.

Din analiza funcționării stației de epurare la care s-a lucrat, dotată cu treaptă de epurare mecano-biologică de epurare, s-a evidențiat faptul că efluentul stației de epurare se înscrie în limitele reglementate la majoritatea indicatorilor de calitate normați, mai puțin la elementele cu caracter eutrofizant (forme de azot și fosfor). Prezența în concentrație mare a azotului amoniacal în apele epurate, cu concentrații mai mari decât în apele uzate brute, relevă faptul ca în stație se realizează transformarea azotului organic în azot amoniacal, iar procesele de nitrificare nu se realizează în proporția corespunzătoare, fapt evidențiat de concentrațiile reduse de azotați din efluentul stației de epurare. Reducerea concentrației de azot total în stația de epurare este minimă neexistând procese de epurare corespunzătoare (treapta terțiară ce cuprinde nitrificarea și denitrificarea apelor uzate cu conținut de azot).

În cazul în care se impune respectarea limitelor în ceea ce privește concentrația elementelor de azot și fosfor trebuie aplicate procese de epurare avansată a apelor uzate orășenești.

Rezultate și discuții

Tehnologiile de epurare avansată propuse sunt:

- îndepărtarea azotului prin procedeul cu biomasă în suspensie - prin alternarea condițiilor anaerobe, anoxe, aerobe;
- îndepărtarea fosforului prin acumulare în biomasă activă - prin alternarea condițiilor anaerobe cu cele aerobe;
- îndepărtarea fosforului prin adsorbție (reținere pe zeoliți sintetici) și prin precipitare.

Îndepărtarea azotului prin procedeu cu biomasă în suspensie - prin alternarea condițiilor anaerobe, anoxe, aerobe

Instalația experimentală pe care s-au efectuat testări la scară pilot este o instalație biologică cu nămol activ, cu bioreactor multifazat, în care s-a realizat o alternanță a fazelor anaerobă - anoxă - aerobă.

Schema de flux tehnologic aplicată în cadrul instalației pilot de epurare avansată în sistem multifazat prevede un sistem de epurare biologică cu nămol activ, fără sursă suplimentară de carbon, în care se realizează o alternanță a condițiilor anaerobe, anoxe, aerobe (fig. 1).

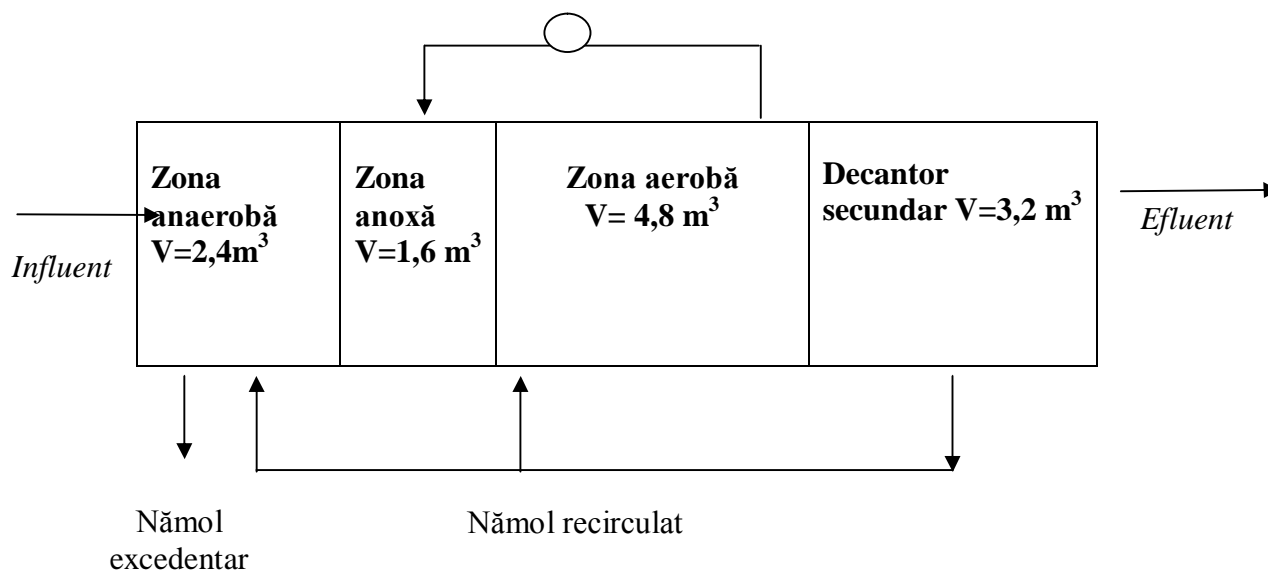


Fig. 1. Schema de flux tehnologic a instalației experimentale.

Instalația compactă de acest tip prezintă o serie de avantaje, așa cum se specifică în literatura de specialitate [1, 2, 3] și anume:

- asigură îndepărtarea concomitentă a substanțelor organice, a azotului și a fosforului;
- se elimină adaosul unei surse suplimentare de carbon pentru realizarea procesului de denitrificare;
- se reduce volumul de nămol cu circa 15%;
- se reduce consumul de energie cu circa 30%.

Experimentările s-au efectuat la debite de 0,5 l/s. Eficiența medie de îndepărtare a azotului realizată în instalația cu nămol activ în perioada experimentală a fost de cca. 50% la azot amoniacal și 63% la azot total. În vederea menținerii sub control a proceselor de nitrificare-denitrificare este necesară automatizarea instalațiilor de epurare. Instalațiile clasice de epurare pot fi adaptate și completate în vederea asigurării parametrilor optimi necesari desfășurării proceselor de nitrificare - denitrificare și de îndepărtare a fosforului.

Îndepărtarea fosforului prin acumulare în biomasă activă - prin alternarea condițiilor anaerobe cu cele aerobe

Fosforul poate fi îndepărtat în timpul proceselor de epurare biologică prin acumulare în biomasă activă. Aceasta se realizează fie prin precipitarea fosforului anorganic (precipitare extracelulară) în condiții speciale de mediu, fie prin acumularea fosforului chiar de către microorganismele, ca o rezervă intracelulară. Pentru obținerea eliminării biologice a fosfaților este necesară alternarea condițiilor anaerobe cu cele aerobe. În faza anaerobă acidogenă, bacteriile *Aeromonas* (facultativ anaerobe) folosesc carbonul organic existent în apa uzată pentru a produce acetat. Prezența în mediu a azotaților împiedică activitatea acestor microorganismele, de aceea este necesară o denitrificare. Acetatul produs este refolosit de bacteriile din genul *Acinetobacter/Moraxelle*, fiind stocat sub formă de PHB (polihidroxibutirat). Tehnologic, procesele

de îndepărtare a fosforului se pot realiza în reactoare de tip secvențial anaerob - anox - aerob, unde se poate realiza și îndepărtarea azotului prin procesul de nitrificare - denitrificare.

Îndepărtarea fosforului prin adsorbție (reținere pe zeoliți sintetici) și prin precipitare

Din rezultatele obținute, s-a evidențiat posibilitatea folosirii formelor cationice tip A și tip X pentru reținerea ionilor fosfat. În condițiile studiate, capacitatea de reținere a ionilor fosfat, pentru ambele tipuri structurale zeolitice, a variat în ordinea: Na-Ze < Ni-Ze < Ca-Ze < Cu-Ze. S-a evidențiat faptul că zeoliții de tip X prezintă o eficiență crescută față de cei NaA și că echilibrul de adsorbție se stabilește după circa 2 ore.

Mecanismul de reținere a ionilor fosfat din soluții diluate are la bază reținerea lor în cavitățile de adsorbție, pe când reținerea din soluții concentrate are la bază un mecanism complex. Metoda cea mai economică și cea mai simplă pentru îndepărtarea fosfaților din apele uzate se bazează pe precipitarea fosforului cu reactivi ce conțin forme ionice de aluminiu, fier și calciu.

Principiile de bază ale procedeelor tehnice conduc la eliminarea fosforului prin precipitare cu ajutorul Fe^{3+} (sub formă de soluție de FeCl_3), Al^{3+} (sub formă de soluție de sulfat de aluminiu), Ca^{2+} (sub formă de $\text{Ca}(\text{OH})_2$). Soluțiile formate la pH de 6-7 pentru aluminiu ($\text{Al}(\text{OH})_3 \times \text{H}_2\text{O}$) respectiv 6-9 pentru fier ($\text{Fe}(\text{OH})_3 \times \text{H}_2\text{O}$) sunt greu solubile, floconoase și sedimentează bine. Procesele de precipitare decurg destul de lent, timpii de reacție necesari pentru cei trei reactivi de precipitare necesită să fie fixați între 30 și 60 minute. Cantitățile de reactivi de precipitare teoretic necesare se bazează pe conversia stoechiometrică a PO_4^{3-} .

Instalația pilot de precipitare

Instalația realizată este una de tip compact care cuprinde următoarele componente: bazin de reacție, decantor echipat cu module lamelare, anexe (bazine de reactivi, agitatoare, pompe, conducte). Instalația realizată este o construcție metalică, ce prezintă următoarele avantaje:

- poate prelucra un debit maxim de ape uzate de 1 l/s;
- are un gabarit redus;
- este de tip compact, cu posibilitatea modulării elementelor ce o alcătuiesc;
- este ușor transportabilă pe căile rutiere și CFR;
- poate fi montată rapid și simplu la locurile de experimentare;
- poate fi experimentată pentru diferite tipuri de ape uzate.

Instalația pilot a fost alimentată cu apă uzată decantată primar. Precipitarea fosforului s-a realizat cu soluție FeCl_3 de concentrație 1%. Corecția de pH a fost realizată cu $\text{Ca}(\text{OH})_2$ soluție 1%. Instalația a fost exploatată în 3 variante experimentale, în funcție de debitul de apă uzată Q alimentat și anume:

- varianta I – Q – 0,5 l/s;
- varianta II – Q – 0,75 l/s;
- varianta III – Q – 1 l/s.

În cadrul variantelor experimentale au fost realizate mai multe teste, în care au fost modificați următorii parametri: doza de FeCl_3 și pH-ul de precipitare.

Eficiența de îndepărtare a fosforului s-a determinat luând în calcul concentrația fosforului din apa uzată înainte și după precipitare. Pentru aceasta au fost recoltate probe, din influentul și efluentul instalației, pe un interval de 3-4 ore. Au fost recoltate probe momentane, cu frecvența din 30 în 30 minute. Din probe momentane s-au compus și probe medii. Din probele recoltate s-a determinat concentrația de fosfor total (din probele medii) și orto-fosfați (din probele momentane). De asemenea, pe lângă procesul propriu-zis de precipitare a fosforului, s-a urmărit și procesul de sedimentare. În acest scop s-a determinat conținutul în materii în suspensie din efluentul instalației. Analiza comparativă cu privire la eficiența de îndepărtare a fosforului în cele 3 variante experimentale realizate a fost efectuată considerând rezultatele obținute la doza de FeCl_3 de 200 mg/dm^3 și pH-ul de precipitare 7,5. Sistematizarea rezultatelor este prezentată în tabelul 1.

Tabelul 1

Analiza comparativă cu privire la eficiența de îndepărtare a fosforului în cele 3 variante

Indicator	Varianta experimentală		
	I (Q=0,5 l/s)	II (Q=0,75 l/s)	III (Q= 1 l/s)
Concentrație fosfor total în influent (mgP/dm ³)	1,48	1,18	0,76
Concentrație fosfor total în efluent (mgP/dm ³)	0,07	0,2	0,3
Eficiența de îndepărtare a fosforului (%)	95,3	83	60,1

Se evidențiază că eficiența de îndepărtare a fosforului scade cu creșterea debitului de alimentare. Instalația poate fi exploatată cu rezultate bune la debite de 0,5 și 0,75 l/s. Experimentările efectuate au evidențiat că decantorul echipat cu module tubulare asigură o bună separare a amestecului solid-lichid.

Pe baza datelor experimentale se evidențiază că îndepărtarea compușilor cu azot și fosfor din apele uzate orășenești se poate realiza în bazine de epurare biologică prevăzute cu 3 faze: anaerobă, anoxă și aerobă intensivă.

Compostarea aerobă a nămolurilor din stațiile de epurare

Compostarea aerobă a nămolurilor din stația de epurare este o biotehnologie alternativă propusă în vederea valorificării acestora. Compostarea este un proces care se petrece spontan în natură, precum degradarea frunzelor sau a litierei din pădure și/sau a bălegarului vechi de bovine. Dar, durata și modalitățile de compostare naturală sunt lungi și heterogene și nedorite pentru utilizarea industrială.

Compostarea aerobă este o biotehnologie simplă, economică și permite exploatarea conținutului în materie organică și în nutrienți a nămolului de epurare ca fertilizant sau amendament pentru sol.

Numeroase materiale pot fi folosite ca substrat în procesul de compostare a nămolurilor de epurare. În funcție de disponibilitatea acestor materiale utilizate ca agenți de volum, precum și de tipul nămolului de epurare, de-a lungul timpului au fost folosite diferite metode de compostare.

În cazul nămolurilor de epurare, procesul de compostare constă în a amesteca aceste materiale reziduale cu un agent de volum (ex. talași de lemn, rumeguș, scoartă de copaci tocată, paie de cereale etc.) înainte ca aceste materiale să fie capabile să înceapă descompunerea aerobă de-a lungul câtorva săptămâni.

Conținutul în materie organică al nămolului de epurare este mic (45,10% și 24,10%, respectiv), față de fracțiunea organică a deșeurilor municipale solide. Din această cauză, este necesară co-compostarea fracțiunii organice a deșeurilor municipale solide care au conținuturi mari în materie organică, substanțe humice, raport C/N, lignină și celuloză față de nămolurile de epurare. Co-compostarea nămolurilor de epurare deshidratate stabilizate anaerob, reziduuri solide, cu fracțiunea organică a deșeurilor municipale solide face să crească conținutul în substanțe humice în produsul final. Nămolurile de epurare deshidratate, stabilizate anaerob, sunt suplă și se pretează la tratarea prin compostare datorită raportului mic C/N.

Alte materiale, precum zeoliții naturali (clinoptilolit) sunt folosite ca agenți de volum deoarece sunt capabile să crească porozitatea substratului și să amelioreze procesul de compostare și biodegradarea materiei organice. Compostarea poate concentra (Cr, Mn, Ni, Pb, Zn) sau dilua (Cu, Fe) metale grele prezente în nămolul de epurare. Zeolitul natural are capacitatea de a schimba sodiul și potasiul. Crescând conținutul în zeolit, concentrația tuturor metalelor grele din compost scade și concentrația în sodiu și în potasiu crește.

Transformarea în compost poate avea loc în reactoare închise sau în aer liber, "windrow" (termen consacrat în literatura de specialitate internațională, din engleză), care înseamnă "grămadă".

Dacă procesul de compostare este condus corect, nu există diferențe în ceea ce privește timpul de maturare. Sistemul închis are avantajul de a oferi o mare posibilitate de control în raport cu sistemul deschis.

Pentru evidențierea avantajelor rezultate din compostarea nămolului obținut din stațiile de epurare orășenești s-a studiat la fază pilot compostarea acestora cu deșeuri menajere de tip stradal (frunze, iarbă, bucăți de lemn, rezultate din curățarea parcurilor). Pentru aceasta s-a amestecat nămol rezultat din stația de epurare (amestec de nămol primar cu cel biologic) cu deșeuri menajere biodegradabile și deșeuri stradale, proporția fiind de 70% nămol din stația de epurare și 30% deșeuri menajere în total 1m³ de amestec. S-a așezat acest amestec pe o platformă betonată, acoperită, realizându-se o grămadă ce a fost compostată aerob în sistem deschis.

În perioada compostării s-a menținut umiditatea între 55-68% (adăugându-se la intervale de timp apă). În prima lună a experimentului compostul a fost răsturnat (aerat) o dată la două zile, iar în a doua lună o dată pe săptămână. Temperatura inițială de la care a pornit compostarea a fost de 35°C.

Calitatea compostului a fost analizată rezultând următoarele valori:

- pH = 6,87;
- carbon organic = 26,2%;
- N_T = 1,54%;
- C/N = 17;
- P_T = 0,37%.

Odată cu scăderea temperaturii de compostare și intrarea pe palierul constant de temperatură, s-a considerat că mare parte din substanța organică a fermentat, iar calitatea compostului a fost determinată obținându-se următorii indicatori de calitate:

- pH = 7,41;
- carbon organic = 19,98%;
- N_T = 1,61%;
- C/N = 12,4;
- P_T = 0,37%;
- Ca = 0,08%;
- Na = 0,19 %;
- Mg = 0,78%;
- Cu = 82,5 mg/kg;
- Zn = 387,1 mg/kg;
- Co = 15 mg/kg;
- Pb = 142,3 mg/kg;
- Ni = 51,6 mg/kg;
- Cr = 21 mg/kg;
- Cr = 324 mg/kg;
- Cd = 2,2 mg/kg.

Aplicarea nămolului de epurare pe solurile agricole este reglementată în Directiva 86/278/1986 [4]. Se recomandă ca anual, în medie pe 30 ani, să nu se aplice pe terenurile agricole mai mult de 0,15 kg/ha/an cadmiu, 6 kg/ha/an cupru, 3 kg/ha/an nichel, 6 kg/ha/an plumb, 18 kg/ha/an zinc și 0,1 kg/ha/an mercur. La stabilirea acestor valori limită s-a luat în calcul faptul că nămolul orășenesc nu constituie singura sursă de poluare cu metale grele a solului agricol.

Pentru evoluția în timp a caracteristicilor compostului, pe perioada compostării s-au analizat inițial indicatorii de calitate ai acestuia, urmărindu-se la perioade de timp evoluția acestora. Amestecul de nămol din stația de epurare cu resturi vegetale a prezentat după omogenizarea compoziției acestuia următoarele caracteristici:

- pH = 7,25;
- carbon organic = 31,12%;
- N_T = 1,4%;
- C/N = 22,23;

- $P_T = 0,4\%$;
- $Ca = 0,1\%$;
- $Na = 0,28\%$;
- $Mg = 0,82\%$.

În urma studiilor făcute rezultă că utilizarea nămolurilor în agricultură este procedeul cel mai apreciat și utilizat întrucât el permite între altele, o foarte bună igienizare a nămolului de epurare, precum și co-compostarea unor deșeuri solide.

Această metodă - compostarea nămolului de la stațiile de epurare în amestec cu anumite deșeuri solide - este în concordanță și cu strategia managementului deșeurilor solide.

Cercetări efectuate în țara noastră au pus în evidență valoarea rumegușului ca agent de volum pentru compostarea nămolului de epurare, care capătă o mult mai bună omogenitate și capacitate de aerare pe durata compostării. Pe de altă parte, compostul din nămol de epurare și rumeguș ameliorează proprietățile fizico-chimice ale solului.

Concluzii

Pe baza datelor experimentale s-a evidențiat că îndepărtarea compușilor cu azot și fosfor din apele uzate orășenești se poate realiza prin aplicarea tehnologiilor de epurare avansată în bazine de epurare biologică prevăzute cu 3 faze: anaerobă, anoxă și aerobă intensivă. Instalațiile clasice de epurare pot fi adaptate și completate în vederea asigurării parametrilor optimi necesari desfășurării proceselor de nitrificare-denitrificare și de îndepărtare a fosforului.

Conținutul de elemente cu caracter fertilizant (azot și fosfor) poate să fie un avantaj dacă apele epurate mecano-biologic sunt utilizate la irigarea culturilor agricole.

S-a propus compostarea aerobă a nămolului, ca biotehnologie alternativă, care permite exploatarea conținutului în materie organică și în nutrienți al nămolului de epurare din stațiile orășenești ca fertilizant sau amendament pentru sol.

Bibliografie

1. *** Sludge Treatment and Disposal, Management Approaches and Experiences, By ISWA's Working Group on Sewage & Waterworks Sludge, Environmental Issues Series, no. 7
2. Soumia Amir, Abdelmajid Jouraiphy, Mohamed Hafidi, Mohamed El gharous, George Merlina, Jean-Claude Revel, 2002 - *Treatment of Moroccan sewage sludge by composting*, Amir-Paper
3. *** Kalamata's Refuse Composting Polant, Municipality of Kalamata Project, Greece
4. *** Directiva 86/278/1986

Date de contact

Violeta-Monica RADU: Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Protecția Mediului București, Splaiul Independenței, nr. 294, sector 6, București, e-mail: dinu_monica@yahoo.com

Petra IONESCU: Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Protecția Mediului București, Splaiul Independenței, nr. 294, sector 6, București, e-mail: mileapetra@yahoo.com