



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



MINISTERUL
EDUCAȚIEI
NAȚIONALE
OIPOSDRU



REZUMAT

Cuvinte cheie: modelare matematică, simulare, uscarea nămolului, carbon organic, nutrienți, fertilitatea solului, calitatea mediului.

Utilizarea nămolurilor de epurare este una dintre cele mai importante provocări în managementul apelor uzate.

Nămolul conține nutrienți (în special N, P, K) și materie organică, care constituie un beneficiu agronomic. Folosirea nămolului în agricultură a devenit o alternativă pentru utilizarea deșeurilor din considerente de ordin economic și practic.

Fără o metodă de eliminare sigură a nămolului, conceptul real de protecție a apei va eșua. Manipularea durabilă a nămolului poate fi definită ca o metodă care satisface cerințele de reciclare eficientă a resurselor fără aprovizionarea cu substanțe nocive pentru om sau mediu. Scopul cercetărilor efectuate în cadrul prezentei teze de doctorat îl constituie dezvoltarea tehnicii de folosire a nămolului, astfel încât să fie în concordanță cu Directivele Uniunii Europene, stabilirea modalităților de aplicare a acestui nămol ca fertilizant în condițiile obținerii unor recolte sănătoase, a conservării însușirilor de fertilitate a solului precum și a asigurării protecției calității mediului, în general.

Nămolul fermentat de la stația de epurare Iași are o reacție neutră și un conținut de carbon organic de 29 - 34 %. Concentrația de azot nitric este redusă (0,16 - 0,42 ppm) iar cea de azot amoniacal între 24 și 830 ppm. Conținutul total în macroelemente nutritive (N, P, K, Ca, Mg) din nămolul fermentat este de 1,37 % N total, 1,19 % P total, 4,45 % K total, conținutul de calciu este mai ridicat (3,12 %) iar Mg și S organic au valori normale, comparabile cu cele din soluri.

Faptul că nămolul nu conține metale grele permite utilizarea acestuia ca fertilizant pentru solurile cultivate. Microflora bacteriană și fungică a nămolurilor are valori asemănătoare cu cele din composturi, dimensiunea și compoziția populațiilor de microorganisme a fost foarte apropiată de cele ale solurilor.

Având în vedere că solurile din zona Moldovei, în majoritatea lor situate pe terenuri în pantă, sunt sărace în materie organică și elemente nutritive, aceste nămoluri, folosite corect, pot





UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



MINISTERUL
EDUCAȚIEI
NAȚIONALE
OIPOSDRU



suplini o bună parte din nutrienții minerali și totodată pot contribui la îmbunătățirea conținutului de materie organică din sol.

În aceste condiții, stabilirea soluțiilor pentru prelucrarea și utilizarea în condiții eficiente a nămolurilor în agricultură și respectiv, precizarea măsurilor restrictive de utilizare a nămolurilor în vederea asigurării protecției mediului prezintă importanță deosebită.

Astfel, lucrarea de față, fără a avea un caracter exhaustiv, își propune să aducă o contribuție la elucidarea unor aspecte privind îmbunătățirea proceselor de tratare a nămolurilor de la stațiile de epurare pentru folosirea lor în agricultură, în condițiile menținerii fertilității solului și a calității mediului ambiant în ansamblu.

Rezultatele obținute prezintă aplicabilitate practică și constituie prin valoare și originalitate, argumente solide privind necesitatea valorificării nămolurilor rezultate de la stațiile de epurare a apelor uzate orășenești ca fertilizant pe terenurile agricole.

Teza de doctorat include un volum de 159 de pagini și este structurată în două părți și șase capitole.

Partea I (27 % din extensia lucrării) cuprinde considerații de ordin general asupra politicilor referitoare la gestionarea nămolului în statele membre ale Uniunii Europene dar și particularitățile strategiei de management a nămolurilor în țara noastră, analiza cadrului natural din arealul de referință precum și o radiografie la zi a problematicii de studiu abordate la nivel național și internațional.

Capitolul I constituie aproximativ 7 % din volumul lucrării și cuprinde aprecieri asupra posibilităților de utilizare în agricultură a nămolurilor de epurare ca una dintre metodele de degajare a acestora și ca o formă de punere în valoare a conținutului lor în materie organică și elemente nutritive. Pe baza documentării bibliografice, sunt expuse câteva considerații privind posibilitățile de diminuare a efectului poluant al nămolului de epurare și de valorificare a elementelor nutritive pe care le conține. Astfel, se consideră necesar ca nămolul să fie tratat în mod corespunzător, să se aplice numai pe soluri pretabile, în dozele și epocile de semănat stabilite, la un anumit sortiment de culturi recomandate și să se asigure un control adecvat al calității factorilor de mediu. Se insistă pe necesitatea de a administra nămolul diferențiat pe tipuri





UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



MINISTERUL
EDUCAȚIEI
NAȚIONALE
OIPOSDRU



de sol, teren și plantă cultivată pentru a preveni consecințele negative asupra recoltei, fertilității solului și a calității mediului înconjurător.

Capitolul al II - lea include într-un volum de aproximativ 11 % din totalul lucrării, prezentarea analitică a componentelor cadrului natural din cadrul fermei Ezăreni a a Universității de Științe Agricole și Medicină Veterinară “Ion Ionescu de la Brad” din Iași în cadrul căreia au fost efectuate experiențele care au vizat investigarea efectului nămolului asupra recoltei și a principalelor însușiri ale solului.

Capitolul al III - lea, cu ponderea de circa 9 % din extensia tezei de doctorat, se referă la studiile și cercetările - efectuate în România și în alte țări - privind epurarea apelor uzate orășenești și modul de tratare a nămolului pentru a întruni condițiile de a fi folosit ca fertilizant la culturile agricole.

În partea a doua a tezei pe 105 pagini reprezentând 67 % din volumul lucrării sunt prezentate contribuțiile personale în domeniul de studiu abordat.

Capitolul al IV - lea (circa 5 % din volumul tezei de doctorat) evidențiază obiectivele studiului și metodele de investigare folosite pentru efectuarea observațiilor și determinărilor.

Din punct de vedere conceptual, tema de cercetare adoptată abordează într-o manieră nouă, modernă, metodele de tratare a nămolurilor rezultate de la stațiile de epurare orășenești cât și modalitățile de valorificare a nămolului ca fertilizant pe terenurile agricole în condițiile conservării fertilității solului și a mediului ambiant în ansamblu.

Concret, în cadrul activității de cercetare s-a urmărit atingerea următoarelor obiective:

- Stabilirea de noi metode de tratare a nămolului de la stațiile de epurare orășenești care să asigure uscarea în condiții eficiente din punct de vedere economic folosind energia solară acumulată în interiorul unei construcții de tip seră tunel.
- Determinarea caracteristicilor nămolului și evaluarea acestuia în conformitate cu Directivele UE.
- Studiul efectului aplicării nămolului asupra caracteristicilor agrochimice (conținutul de substanță organică, valoarea pH, disponibilul de N, P, K și microbiologice ale solului).





UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



MINISTERUL
EDUCAȚIEI
NAȚIONALE
OIPOSDRU



- Determinarea limitelor superioare de siguranță a aplicării nămolului pe soluri, astfel încât să fie evitate efectele negative (afectarea calității solului, a recoltelor și a mediului, în general).

Metodele de analiză folosite pentru realizarea tematicii de cercetare propuse au avut în vedere noutățile în domeniu și au fost adaptate la politica cercetării naționale și internaționale de dezvoltare durabilă, prin abordarea interdisciplinară a temei.

Studiul teoretic al procesului de uscare s-a efectuat utilizând un model matematic, bazat pe legi și principii cunoscute, model ce descrie evoluția procesului în timp sau după anumite dependențe reciproce, în condițiile acțiunii unor factori cunoscuți.

Uscarea prin convecție cu aer cald realizează un transfer simultan de căldură și masă între aer și produsul supus uscării. Pe principiul corpului negru, nămolul absoarbe în mare măsură radiația provenită de la soare iar temperatura acestuia crește.

Procesul de uscare prin convecție fiind complex, necesită elaborarea unor submodele în funcție de scop, date disponibile și grad de abstractizare.

Modelul matematic este esențial în optimizarea procesului de uscare a nămolului, acesta stând la baza simulării CFD (*Computational Fluid Dynamics*). Modelul propus pentru uscarea nămolului cuprinde ipotezele de lucru; parametrii și variabilele fundamentale ale procesului de uscare; ecuațiile ce corelează variabilele stabilind legăturile între acestea în regim nestaționar; restricțiile impuse unor variabile.

Pentru fundamentarea metodelor de prelucrare a nămolului, procesul de uscare în seră a fost simulat CFD (*calcul computerizat de dinamica fluidelor*) prin parcurgerea a trei etape necesare:

- pre-procesarea (definirea 3D a geometriei modelului și discretizarea acestuia);
- procesarea (crearea algoritmului ce are la bază modelul matematic și impunerea condițiilor-limită);
- analiza simulării CFD (reprezentarea grafică color a câmpurilor de viteză, temperatură, umiditate a aerului și a nămolului supus uscării).





UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



MINISTERUL
EDUCAȚIEI
NAȚIONALE
OIPOSDRU



Simularea CFD a fost realizată cu programul ANSYS (FLUENT și GAMBIT) ce deține cele mai complexe modele matematice de curgere a fluidelor și transfer termic dintre programele comerciale existente la ora actuală.

Caracterizarea chimică și mineralogică a nămolului de la Stația de epurare Iași s-a efectuat cu aparatura existentă în *Laboratorul de Studiul materialelor* din cadrul Facultății de Mecanică din Iași pe baza analizelor SEM/EDX.

Studiind soluțiile constructive ale instalațiilor de uscare a nămolurilor implementate în țară și în Europa și tehnologia de epurare a apelor uzate la SEAU Dancu - Iași cât și considerentele de eficiență tehnico economică și de protecție a mediului a fost propusă soluția constructivă pentru instalația de uscare accelerată a nămolului, care să asigure aducerea nămolului la o stare de umiditate de 15 - 25 %.

Principalele componente ale instalației sunt tunelul tip seră, sistemul de ventilație, instalația de omogenizare și respectiv de aerare a nămolului, instalația electrică și echipamentul automatizare.

Pentru creșterea capacității de lucru la uscare și evitarea formării de miros nămolul trebuie să fie întors regulat. Împingerea și întoarcerea nămolului implică consum mare de muncă și de timp. De aceea, s-a prevăzut efectuarea acestor operații de către snecuri actionate de motoare cu reductor, alimentate cu energie electrică de la un panouri fotovoltaice, acumulată într-o baterie de acumulatori cu putere calculată pentru a învârti snecurile o dată la câteva minute. S-a proiectat, de asemenea, unghiul snecului și tipul constructiv de așa manieră încât să asigure mai mult întoarcerea nămolului și mai puțin deplasarea acestuia. Totodată forma și dimensiunile snecului vor trebui să asigure și un efort minim de încovoire asupra acestuia. Astfel snecul va avea din 6 în 6 metri câte un suport cu buca pentru a minimiza efortul de încovoire care apare.

Proiectarea instalației de uscare tunel tip seră a fost asistată pe calculator cu ajutorul simulării CFD ce are la bază un model matematic complex de transfer de căldură și masă ce ține cont de toți parametrii esențiali procesului, permițând obținerea formei optime a instalației.





UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



MINISTERUL
EDUCAȚIEI
NAȚIONALE
OIPOSDRU



Prin simulări repetate a fost redusă înălțimea serei precum și poziționarea ventilatoarelor, a fantelor de intrare a aerului în seră, respectiv a fantelor de evacuare a aerului uzat, astfel încât aerul să circule la suprafața celor 10 cuve cu nămol cât mai uniform posibil.

Aceasta se poate observa din distribuția temperaturii și a umidității aerului la suprafața nămolului în stratul limită, precum și prin distribuția liniilor de curent la nivelul solului.

Analiza rezultatelor indică o evacuare optimă a aerului umed din seră și un transfer de masă optim dintre stratul limită și aerul din seră. Parametrii viteză, temperatură și umiditate a aerului la suprafața nămolului prefigurează evoluția umidității acestuia pe toată lungimea cuvelor. Pentru o temperatură a nămolului la intrare de 22 °C și o umiditate de 65% după parcurgerea în lungime a instalației de uscare se obține la final o temperatură de 43 °C și o umiditate de 23% în timp de 2 ore și 10 minute. Acești parametri sunt obținuți în condițiile în care temperatura aerului de intrare în seră și din interiorul serei variază între 23°C și 35°C la o umiditate cuprinsă între 45% și 28-30% în același interval de timp.

Acest ecart de temperatură dintre mediul serei și nămolul supus uscării se poate explica datorită transferului de căldură radiativ cu radiații de lungime mare de undă care încălzește mai mult suprafața neagră a nămolului, acesta avînd timp să acumuleze o cantitate mai mare de căldură datorită vitezei extrem de mici ($v_n=0,025$ m/s) de înaintare spre evacuarea din seră.

Ipotezele simplificatoare realizate în cadrul modelului matematic și a simulării CFD nu conduc la o scădere în precizie a rezultatelor finale. Aceasta se poate observa din modelul geometric tridimensional unde nu sunt prevăzute șnecurii de transport a nămolului la nivelul cuvelor, considerînd însă în simulare efectul lor prin introducerea nămolului ca un fluid vâscoplastic ce se deplasează cu o viteză mică. În realitate prin introducerea șnecurilor în instalația de uscare comparativ cu simularea CFD, se poate obține prin operația suplimentară de agitare a nămolului, o umiditate mai redusă la finalul uscării cu câteva procente pentru nămolul uscat.

Analizele morfologice au evidențiat culoarea gri spre negru a probelor de nămol. Imaginile Sem arată existența particulelor angulare. De asemenea, imaginile SEM evidențiază un





UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



MINISTERUL
EDUCAȚIEI
NAȚIONALE
OIPOSDRU



grad ridicat de neomogenitate a texturii și dimensiunilor particulelor. În general, particulele de nămol au formă neregulată, cu diametrul de până la 40 μm .

Analizele chimice au arătat în compoziția nămolului dominante sunt C (materie organică) 24,6 %, Si 20,9 %, Ca 13,1 %, Fe 12,7 %, Al 7,8 % și O 7,2 %. Conținutul de nutrienți este de 2.5-4% N, 2.5-3% K și 1.3-2.3% P. Important este faptul că nu a fost detectată prezența metalelor grele.

Analizele XRD efectuate pe probele de nămol evidențiază natura amorfă a materiei și prezența structurilor cristaline datorită conținutului de materie organică și anorganică.

Eficiența utilizării nămolurilor a fost evidențiată prin sporurile de producție obținute prin aplicarea datorită dozelor de nămoluri aplicate dar s-a ținut cont și de influența pe care o exercită asupra îmbunătățirii fertilității solului.

Sporurile medii de producție obținute în ultimii 3 ani, față de martorul netratat, prin aplicarea unor doze de 30 t/ha nămol au fost de 1236 kg/ha (35%) la porumb, 590 kg/ha (42%) la floarea-soarelui și de 1386 kg/ha (83%) la soia.

Din analiza probelor de sol recoltate de pe suprafețele cultivate cu porumb (*Zea mays* L.), spre exemplu, rezultă că microbiota solului a înregistrat o variație cantitativă a unităților formatoare de colonii (UFC) cuprinsă între $16,1 \times 10^5$ UFC/g sol pentru varianta martor și $33,6 \times 10^5$ UFC/g sol pentru varianta pe care s-au aplicat nămoluri în doză de 30 t/ha.

În ceea ce privește raportul dintre numărul și compoziția principalelor grupe de microorganisme se constată diferențe semnificative între variantele avute în studiu. Rezultatele obținute arată că nămolurile de la stațiile de epurare stimulează creșterea și dezvoltarea microfungilor și a bacteriilor, în cazul porumbului cu 326,8%, respectiv 8,0%.

Tulpinile bacteriene izolate din solurile cultivate cu porumb sunt reprezentate în cazul în principal de bacteriile Gram negative (G^-). Astfel, la varianta martor din numărul total de microorganisme, procentul bacteriilor G^- este de 73,0 %. Aplicarea nămolurilor de la stațiile de epurare în doză de 30 t/ha a determinat, o reducere considerabilă a numărului de bacterii Gram pozitive (G^+) de la 26,8% la 2,3%, concomitent cu o creștere semnificativă a bacteriilor G^- până la 97,0%.





UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



MINISTERUL
EDUCAȚIEI
NAȚIONALE
OIPOSDRU



Spectrul de micromicete al variantei martor este completat de genurile *Fusarium*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Rhizopus*, *Alternaria* și *Cladosporium*. În cazul variantei fertilizate cu nămol numărul de genuri izolate s-a redus la cinci detasându-se speciile genului *Penicillium*, urmate la mare distanță în special de specii ale genurilor *Fusarium*, *Aspergillus* și *Verticillium*.

Ca răspuns la aplicarea nămolului, creșterea concentrației soluției solului a fost însoțită de modificarea spectrului de micromicete mai evidentă în cazul speciilor din genul *Penicillium*. În toate cazurile avute în studiu, inclusiv pe solurile cultivate cu floarea soarelui s-a observat că după aplicarea nămolului în doză de 30 t/ha spectru de micromicete s-a schimbat semnificativ din favoarea genurilor *Aspergillus* și/sau *Fusarium* în favoarea *Penicillium* spp.

Teza de doctorat se încheie cu prezentarea concluziilor și a recomandărilor rezultate din studiile și observațiile efectuate asupra posibilităților de îmbunătățire a proceselor de tratare a nămolurilor de la stațiile de epurare a apelor uzate și a efectului favorabil al aplicării nămolului ca fertilizant, pentru creșterea producțiilor agricole în condițiile menținerii fertilității solului și a prevenirii degradării mediului ambiant, în general.

