

# **CERCETĂRI TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND POSIBILITATEA VALORIFICĂRII ENERGETICE A NĂMOLULUI PROVENIT DIN STAȚIILE DE EPURARE MUNICIPALE**

## **REZUMAT**

Teză destinată obținerii  
titlului științific de doctor inginer  
la  
Universitatea Politehnica Timișoara  
în domeniul INGINERIE MECANICĂ

**Ing. Ioan Neamț**

Conducător științific: prof.univ.dr.ing. Ioana Ionel

Referenți științifici: prof.univ.dr.ing. Adrian Badea  
prof.univ.dr.ing. Tudor Prisecaru  
prof.univ.dr.ing. Ion Mirel

Ziua susținerii tezei: 30.09.2014

## **1. Importanța și încadrarea temei în contextul preocupărilor actuale existente la nivel zonal, național și european, privind gestionarea ecologică a nămolului de epurare**

### **1.1. Situația în România**

Dezvoltarea infrastructurii în domeniul colectării și epurării apelor uzate în România, ca urmare a respectării Tratatului de Aderare, va conduce la producția unor cantități de nămol de epurare din ce în ce mai ridicate. Astfel va rezulta o creștere estimativă de cinci ori a producției de nămol până în anul 2020 [20], când toate localitățile care au peste 2000 de locuitori trebuie să fie prevăzute cu rețea de canalizare, pentru colectarea apelor uzate. Astfel cantitatea de nămol de epurare va crește de la aprox. 80.000 în 2012 la aprox. 416.000 estimat în 2020, to S.U. De asemenea legislația comunitară prevede ca apele uzate colectate în rețeaua de canalizare să fie preluate și tratate într-o stație de epurare, locală sau zonală, care să fie prevăzută și cu o linie de tratare a nămolului [11, 75].

În conformitate cu prevederile legislației românești privind deșeurile, armonizată cu cea europeană, nămolul este clasificat în mod oficial deșeu [19, 75, 76, 79, 82], însă în conformitate cu ierarhia gestionării deșeurilor, politica acceptată este de a utiliza nămolul în mod benefic ori de câte ori este fezabil, fie ca fertilizator organic pe terenuri [15, 74] fie ca sursă de energie, recuperabilă prin combustie [20, 31].

În acest sens operatorii stațiilor de epurare trebuie să identifice cele mai bune soluții și practici de tratare, valorificare/evacuare a nămolurilor, sustenabile și eficiente din punct de vedere al costurilor și care să respecte cerințele de mediu, conform reglementărilor naționale și europene [30, 31, 80, 81, 96]. Alegerea procedurii de tratare a nămolului, se face ținând cont de strategia de gestionare (eliminare/valorificare) a nămolului produs în stațiile de epurare apă uzată (SEAU), având la dispoziție următoarele variante [20, 31]:

1. Utilizarea în agricultură prin împrăștierea pe sol și încorporarea imediată a acestuia sau prin realizarea unor paturi de compost cu alte materiale și utilizarea acestui compost pentru amenajarea spațiilor verzi sau fertilizarea terenurilor deja amenajate;
2. Valorificarea energetică a nămolului prin fermentare sau co-fermentare anaerobă cu producerea de biogaz și eventual incinerare a nămolului fermentat, sau incinerarea fără fermentare, în instalații proprii, cu co-generare de energie termică și electrică, cu scopul reducerii costurilor energetice ale proceselor de tratare a apei uzate și a nămolului;
3. Co-incinerarea nămolului în incineratoarele de deșeuri solide, atunci când incineratorul este proiectat și pentru arderea nămolului;
4. Co-procesarea nămolului produs în fabricile de ciment, dacă gradul de umiditate și puterea calorifică a nămolului corespund cerințelor procesului de producție.

Luând în discuție strategia pe termen scurt, în România procesul de tratare al nămolului rezultat în urma epurării apelor uzate, se oprește deocamdată la fazele de tratare preliminară și anume : condiționare, îngroșare, stabilizare prin fermentare anaerobă sau aerobă și deshidratare până la un conținut de substanță uscată de min. 20%. Din cele 114 stații de epurare, care procesează nămol, funcționale la sfârșitul anului 2011, doar 2 dintre ele (1,75 %) valorifică nămolul în agricultură, celelalte procedând la eliminarea sau depozitarea lui sub diverse forme [11, 20].

Stadiul actual al cercetării privind valorificarea ecologică a nămolului provenit de la stațiile de epurare municipale din România, este într-o fază incipientă, datorită faptului că numai începând cu anul 2010 au fost puse în funcțiune stații de tratare a apei uzate, performante, și doar în marile orașe, de regulă cele reședință de județ.

Luând drept studiu de caz stația de epurare din Timișoara, aceasta a fost pusă în funcțiune în 12 iulie 2011, complet modernizată și tehnologizată, prevăzută cu un sistem de epurare avansată a apelor uzate colectate de pe raza municipiului Timișoara și a zonei metropolitane aferente orașului [103].

Soluția aleasă pentru tratarea apei uzate în stația de epurare Timișoara a eliminat etapa de decantare primară, lucru care se datorează în special gradului mare de diluție a apei uzate, cu apă freatică de suprafață, care aflându-se la un nivel ridicat, pătrunde în rețeaua de colectare și transport, prin neetanșeități [103].

Nămolul rezultat din procesul de tratare a apei uzate, este nămolul activat biologic în bazinele cu nămol activ (BNA) și sedimentat în decantoarele secundare. Surplusul de nămol secundar, neutilizat în procesul de epurare biologică formează nămolul în exces. Tratarea acestuia se face prin stabilizare aerobică în BNA cu aerare prelungită, și deshidratare prin filtre presă cu bandă, până la un conținut de substanță uscată de min 18 % [77, 78, 103].

După aprox. 3 luni de la punerea în funcțiune a stației și stabilizarea proceselor de epurare biologică în bazinele cu nămol activ, linia de procesare a nămolului a început să producă, cantitatea medie lunară de nămol deshidratat crescând continuu, de la aprox. 1.100 to în 2012 la aprox. 3.000 to. În 2014, cantitățile lunare variind în funcție de diluția și încărcarea organică a influentului pe linia de epurare a apei uzate. Se impune deci implementarea unei strategii de gestionare care să țină

seama de reducerea cantităților de nămol eliminate dar în același timp să permită și valorificarea energetică a încărcăturii organice, ori prin conversia energetică în biogaz, ori prin tratare termică [103].

## 1.2. Situația în UE

În UE 15 valorificarea ecologică a nămolului de epurare, a stat în centrul atenției producătorilor odată cu implementarea Directivei EEC 91/271, privind tratarea apelor uzate urbane [16].

Astfel la nivelul celor 15 state europene (UE 15) cantitatea de nămol utilizată în agricultură, a crescut de la 3.000.000 to.s.u./an în 1995, la 5.400.000 în 2010, (o creștere cu 80%) estimându-se o creștere în continuare până în 2020, la 6.100.000 to.s.u./an (o creștere cu 13%) [31].

Un accent mai mare s-a pus pe valorificarea energetică a nămolului prin incinerare, astfel la nivelul UE 15, cantitatea de nămol incinerată a crescut de la 1.500.000 to.s.u./an, în 1995, la 3.100.000 în 2010, (o creștere cu 106,7%), estimându-se o creștere în continuare până în 2020, la 3.600.000 to.s.u./an (o creștere cu 16%) [31].

Prin activitatea de cercetare-dezvoltare și implementarea tehnologiei de vârf în valorificarea resurselor de energie regenerabilă, în Germania, valorificarea energetică a nămolului de epurare prin incinerare, a cunoscut o creștere considerabilă de la 9 % la 53,2 % (o creștere cu 491%), din totalul nămolului produs, având o umiditate de 60 % [12].

Această creștere a fost posibilă prin dezvoltarea în cadrul unor institute de cercetare, a unor instalații pilot unde au fost experimentate, procese de ardere a nămolului în cicluri combinate avansate, cu cogenerare, care utilizează turbine cu gaze și turbine cu abur, în care eficiența energetică a ajuns să crească până la valori de peste 55 %/ciclu, asigurând pe lângă producerea de energie termică necesară pentru uscarea nămolului de la 35 % s.u. la 65 % s.u. și energia electrică necesară pentru consumatorii electrici al instalației de procesare a nămolului [92]. La o valoare acceptabilă a puterii calorifice inferioare a nămolului uscat, rezultă de cele mai multe ori și o cantitate de energie electrică în surplus, care poate fi utilizată în rețeaua de distribuție locală din incinta stației de epurare, sau chiar în afară [48].

Instalații pilot de mono-incinerare a nămolului de epurare în cicluri combinate, au fost experimentate și dezvoltate în Germania, la Universitatea Tehnică din Braunschweig, în anul 2005, precum și la stația de epurare din Straubing – Germania, în anul 2011 [92, 114].

Luând drept studiu de caz stația de epurare din Straubing – Germania, aici se află în probe tehnologice o instalație de cogenerare care va putea produce „in house”, prin valorificarea energetică a biogazului și a nămolului uscat, toată energia termică și electrică necesară pentru toate procesele de tratare a apei uzate și a nămolului, devenind astfel total independentă energetic și fiind în același timp un exemplu de bună practică la nivel UE și chiar mondial, privind valorificarea resurselor energetice regenerabile.

## 1.3. Obiectivele științifice propuse pentru rezolvare în cadrul cercetării

Cercetarea științifică pe care am desfășurat-o pe perioada studiilor doctorale a plecat de la premisa că nămolul rezultat din procesele de tratare a apelor uzate în stațiile de epurare municipale, deși este un deșeu, poate fi valorificat. Chiar dacă la nivel european și național s-au elaborat politici de gestionare a nămolurilor de epurare, și pentru România s-a stabilit o strategie pe termen scurt, mediu și lung, conceptul de valorificare „in house” a nămolului câștigă tot mai mult teren la nivel european și probabil că și în România.

Pentru a putea găsi soluții optime de valorificare ecologică a nămolului, trebuie analizate particularitățile specifice ale stațiilor de epurare, la nivel municipal, metropolitan și regional. Aceste particularități țin de arealul și sistemul de colectarea apelor uzate, încărcarea organică, poluarea chimică și bacteriologică a apelor uzate la intrarea în stațiile de epurare, precum și de strategia de colectare și tratare a deșeurilor municipale, inclusiv a nămolului de epurare, care este stabilită la nivel regional.

Găsirea unor soluții particulare în gestionarea nămolului de epurare și valorificarea ecologică a acestuia, presupune stabilirea și atingerea unor obiective științifice generale și specifice, în problematica epurării apelor uzate și tratarea nămolurilor procesate și co-procesate într-o stație de epurare. Obiectivele științifice urmărite în cercetarea științifică teoretică, aplicată și experimentală, pot fi grupate în 2 categorii:

### I. Pentru cercetarea științifică teoretică:

- Colectarea și tratarea apelor uzate în stațiile de epurare municipale și zonale din România și UE;
- Tratarea nămolurilor de proces, rezultate în stațiile de epurare din România și UE și co-procesarea acestora cu alte nămoluri cu încărcare organică biodegradabilă mare, colectate de pe arealul de operare, din industria agroalimentară și din alte stații de epurare din zonă;
- Evaluarea energetică a proceselor de fermentare anaerobă și aerobă a nămolului în vederea stabilizării. Tratarea preliminară și tratarea termică finală a nămolului de proces, înainte de eliminarea din stația de epurare;

- Tehnologii de ardere a nămolului în cicluri combinate de înaltă eficiență energetică, care funcționează cu turbine cu abur și gaze;  
II. Pentru cercetarea științifică aplicată și experimentală:
- Schemele de proces pentru tratarea apelor uzate în două stații de epurare din România și Germania, după cum urmează:
  1. Stația de epurare municipală Timișoara;
  2. Stația de epurare zonală Straubing din zona Bayern-Germania;
- Evaluarea energetică a proceselor de fermentare anaerobă și aerobă a nămolului în vederea stabilizării, pornind de la compoziția chimică elementară a nămolului de epurare - studiu de caz pentru nămolul provenit de la tratarea apelor uzate în stația de epurare din Timișoara;
- Valorificarea energetică a nămolului în stațiile de epurare cu încărcare redusă a influentului. Simularea unui bilanț energetic cu ajutorul softwar-ului EnBiPro - studiu de caz pentru stația de epurare Timișoara;
- Creșterea eficienței stațiilor de epurare prin procesarea și co-procesarea avansată a nămolurilor de proces și a deșeurilor organice cu încărcare organică biodegradabilă ridicată - studiu de caz pentru stația de epurare Straubing – Germania;
- Creșterea eficienței energetice a stațiilor de epurare zonale prin co-procesarea nămolurilor de epurare împreună cu alte co-substraturi organice provenite din industria chimică și agroalimentară colectate de pe arealul de operare. Producerea de energie electrică și termică în instalații de cogenerare, construite „in house”, utilizând drept combustibili biogazul și nămolul de epurare - studiu de caz pentru stația de epurare Straubing – Germania.
- Întocmirea unor bilanțuri masice și energetice pentru procesele de tratare a nămolului cu ajutorul unor breviare de calcul realizate cu programul matematic Mathcad - studiu de caz pentru stația de epurare Straubing – Germania;
- Posibilitatea valorificării energetice a nămolului din stațiile de epurare cu încărcare organică redusă a influentului, prin conversia nămolului în biogaz, în urma fermentării anaerobe - studiu de caz pentru nămolul provenit de la stația de epurare Timișoara.

## **2. Valorificarea energetică a nămolului, prin fermentare și ardere în stațiile de epurare municipale și zonale – studii de caz**

Acest capitol prezintă cercetarea exploratorie și aplicativă pe care am efectuat-o pe parcursul desfășurării programului de cercetare doctorală. Pornind de la studiul teoretic privind valorificarea energetică a nămolului, în incinta stațiilor de epurare, am transpus considerentele teoretice în practică, făcând evaluări și explorări ale unor posibile procese de tratare a nămolului, sau ale unor procese deja existente, pentru diferite stații de epurare.

Pentru a putea face o evaluare a proceselor de tratare a nămolului, am pornit de la evaluarea proceselor de tratare a apei uzate, din care rezultă ca produs secundar nămolul de proces, clasificat drept un deșeu, deci un element „nedorit” la prima vedere. Dacă tratarea acestui deșeu în vederea eliminării la deponeele ecologice, sau a valorificării ulterioare, se face eficient, procesele de tratare a nămolului pot aduce operatorilor din stațiile de epurare, un câștig energetic [50, 51, 70, 71, 78].

Procesele de tratare care sunt abordate în acest capitol, sunt fermentarea anaerobă și/sau arderea nămolului după o deshidratare și uscare prealabilă. Energia termică și electrică obținută în urma procesului de ardere a biogazului și/sau nămolului uscat, în instalații cu eficiență energetică ridicată, trebuie să acopere întotdeauna consumurile energetice interne ale proceselor respective [70, 78, 114]. În caz contrar procesul de tratare nu este recomandat, operatorii stațiilor de epurare fiind obligați să găsească alte soluții de gestionare ecologică a nămolului.

### **2.1. Obținerea și gestionarea nămolului de proces în diferite stații de epurare, în funcție de modul de tratare a apelor uzate colectate. Prezentarea a două studii de caz pentru stațiile de epurare din Timișoara și Straubing-Germania**

Alegerea celor două stații de epurare ca și studii de caz nu este întâmplătoare. În primul rând cunosc foarte bine procesele de tratare a apei uzate și a nămolului, care se desfășoară în cele două stații. Stația de epurare municipală din Timișoara, o cunosc pentru că lucrez la AQUATIM, și mă ocup printre altele de monitorizarea performanței serviciilor și proceselor desfășurate în companie, deci monitorizez implicit și procesele desfășurate în stația de epurare Timișoara. Stația de epurare zonală a orașului Straubing – Germania, o cunosc pentru că am avut șansa prin intermediul Școlii Doctorale a UPT, să efectuez printr-o mobilitate „ERASMUS”, un stagiu de practică în această stație de epurare, în anul 2013.

În al doilea rând operatorii din ambele stații oferă un exemplu de bună practică privind valorificarea surselor regenerabile de energie. În incinta stației de epurare din Timișoara este în construcție o instalație de uscare termică a nămolului, care utilizează energia solară și căldura conținută în efluent, cu ajutorul pompelor de căldură, fiind în acest sens unică în România. Stația de

epurare din Straubing – Germania, valorifică prin co-fermentare și producere de biogaz, co-substraturi cu încărcare organică mare, care provin din industria alimentară și chimică de pe arealul de operare. În acest mod, prin producerea de energie electrică și termică, în instalații de co-generare performante tehnologic și eficiente energetic, folosind ca surse de energie regenerabile biogazul și nămolul uscat, stația de epurare este total independentă energetic, producând energie electrică și în surplus.

### 2.1.1. Obținerea și gestionarea nămolului de proces în stația de epurare municipală din Timișoara

În Figura 2.1 se prezintă schema tehnologică a proceselor de tratare a apei uzate și a nămolului, în stația de epurare municipală din Timișoara. Se observă că pe fluxul de tratare a apei uzate lipsește etapa de decantare primară, ceea ce determină lipsa nămolului primar din nămolul de proces format în urma tratării apei uzate.

În momentul de față tratarea nămolului se oprește la procesul de deshidratare, în urma căreia nămolul ajunge înainte de eliminare la o umiditate de aproximativ 18 %, măsurată în substanță uscată (TS). Se află în construcție o etapă de uscare termică avansată, care utilizează pentru uscare energia solară acumulată în sere, și căldura conținută în efluent, cu un sistem de pompe de căldură. În urma procesului de uscare umiditatea va scădea până la un conținut de substanță uscată de aprox. 36% TS.

În gestionarea ulterioară a nămolului, în interiorul stației de epurare, există 2 posibilități de valorificare energetică:

1. Conversia energetică în biogaz a nămolului activat în exces, prin fermentare, în urma unui proces de îngroșare și a pre-tratării termice, chimice sau termochimice [8, 9, 13];
2. Incinerarea sau aplicarea unei metode de tratare termică avansată, pentru nămolul deshidratat și uscat [30, 32];
3. Co-incinerarea împreună cu alte deșeuri municipale [24].

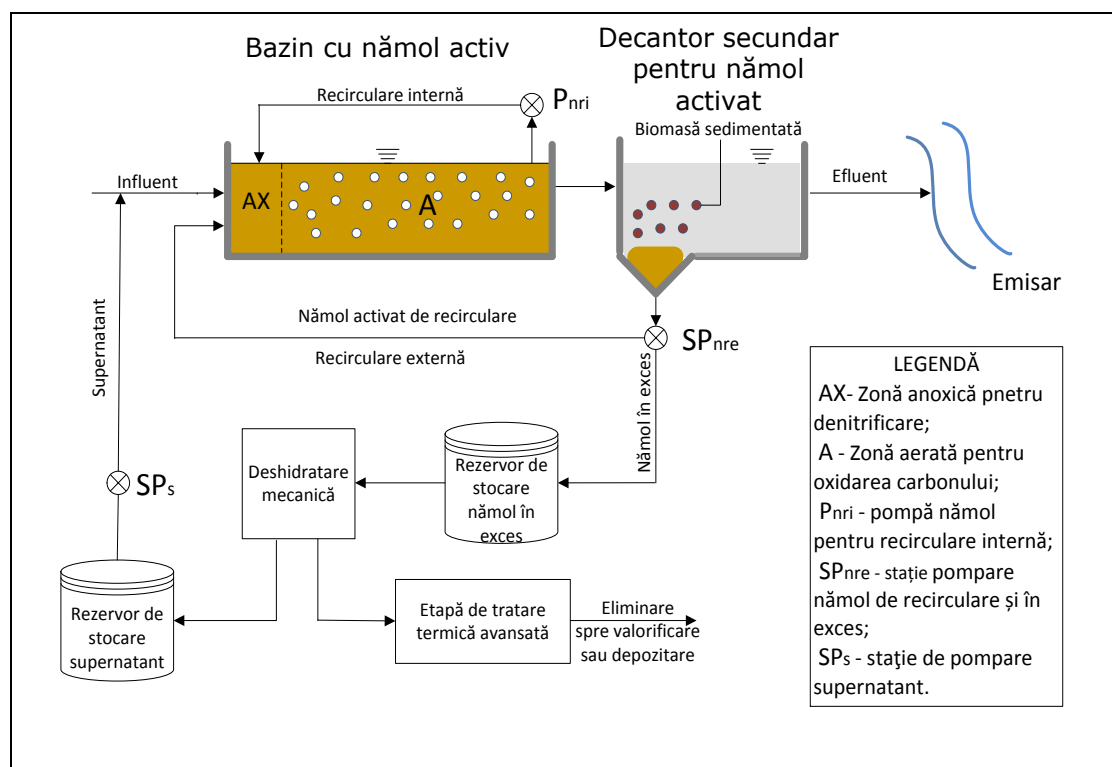


Figura 2.1 – Schema tehnologică pentru fluxurile de tratare a apei uzate și a nămolului, în stația de epurare municipală din Timișoara

### 2.1.2. Obținerea și gestionarea nămolului de proces și a co-substraturilor în stația de epurare zonală din Straubing-Germania

În Figura 2.2 se prezintă schema tehnologică pentru fluxurile de tratare a apei uzate, în stația de epurare zonală din orașul Straubing - Germania. Se observă din această schemă că procesele de tratare a apei uzate se desfășoară pe parcursul a patru etape de epurare, după cum urmează:

1. Epurarea primară cu obținerea nămolului primar, în urma sedimentării acestuia în decantorul primar. Nămolul primar reprezintă prima categorie din nămolurile de proces, care urmează să fie tratat pe linia de tratare a nămolului;
2. Epurarea secundară în bazinele biologice cu nămol activ (BNA), în urma căreia se obține nămolul activat biologic, secundar, care se decantează în decantoarele secundare. Surplusul

- de nămol activat biologic, secundar, care nu este utilizat în procesul de epurare, formează a II-a categorie a nămolului de proces care urmează să fie tratat pe linia de tratare a nămolului;
3. Epurarea terțiară în filtrele biologice, în urma căreia se obține nămolul activat biologic, terțiar, care se decantează în decantoarele terțiare. Surplusul de nămol activat biologic, terțiar, care nu este utilizat în procesul de epurare, formează a III-a categorie a nămolului de proces care urmează să fie tratat pe linia de tratare a nămolului;
  4. Ultra filtrarea cu membrană a apei uzate epurate, după etapa terțiară, în scopul obținerii apei tehnologice de proces, care este utilizată atât în interiorul stației de epurare, cât și în activitatea de spălare a străzilor, udarea spațiilor verzi și spălarea rețelei de canalizare cu ajutorul autospecialelor de canal.

Nămol primar împreună cu nămolul activat biologic, secundar și terțiar în exces, formează nămolul de proces. Acesta împreună cu co-substraturile colectate din industria alimentară din zonă și cu nămolurile de epurare colectate din stațiile de epurare situate pe aria de operare, sunt tratate și valorificate energetic în incinta stației de epurare zonală a orașului Straubing. Schema tehnologică pentru fluxurile de tratare este prezentată în Figura 2.3.

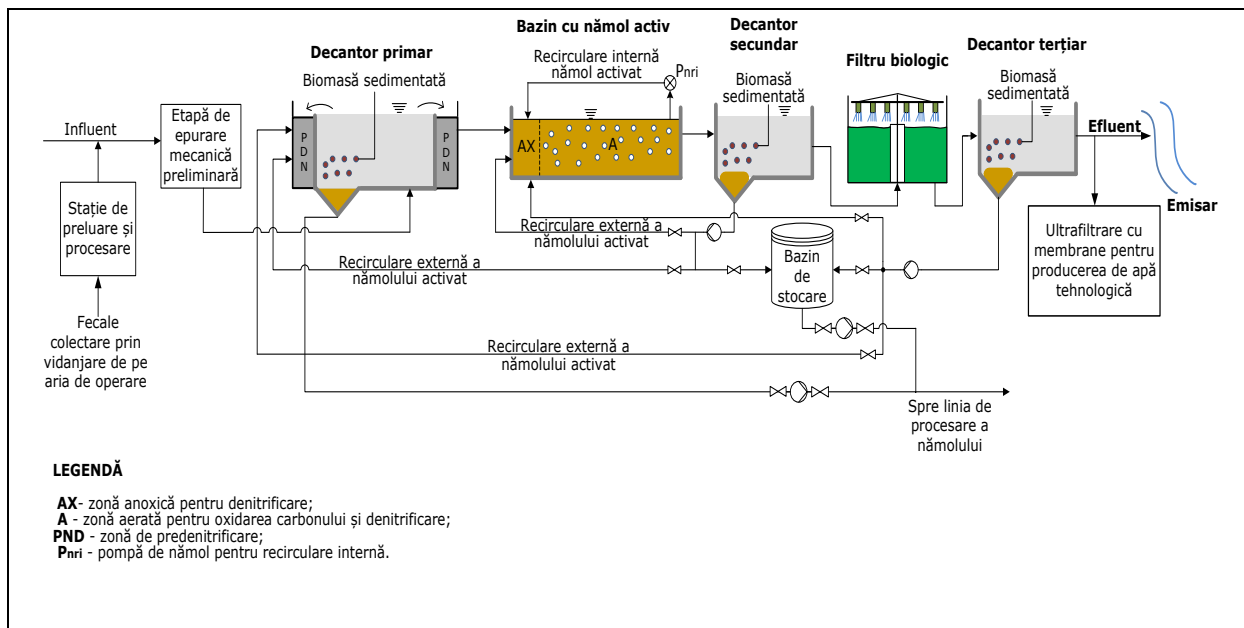


Figura 2.2 – Schema tehnologică pentru fluxurile de tratare a apei uzate în stația de epurare zonală Straubing – Germania

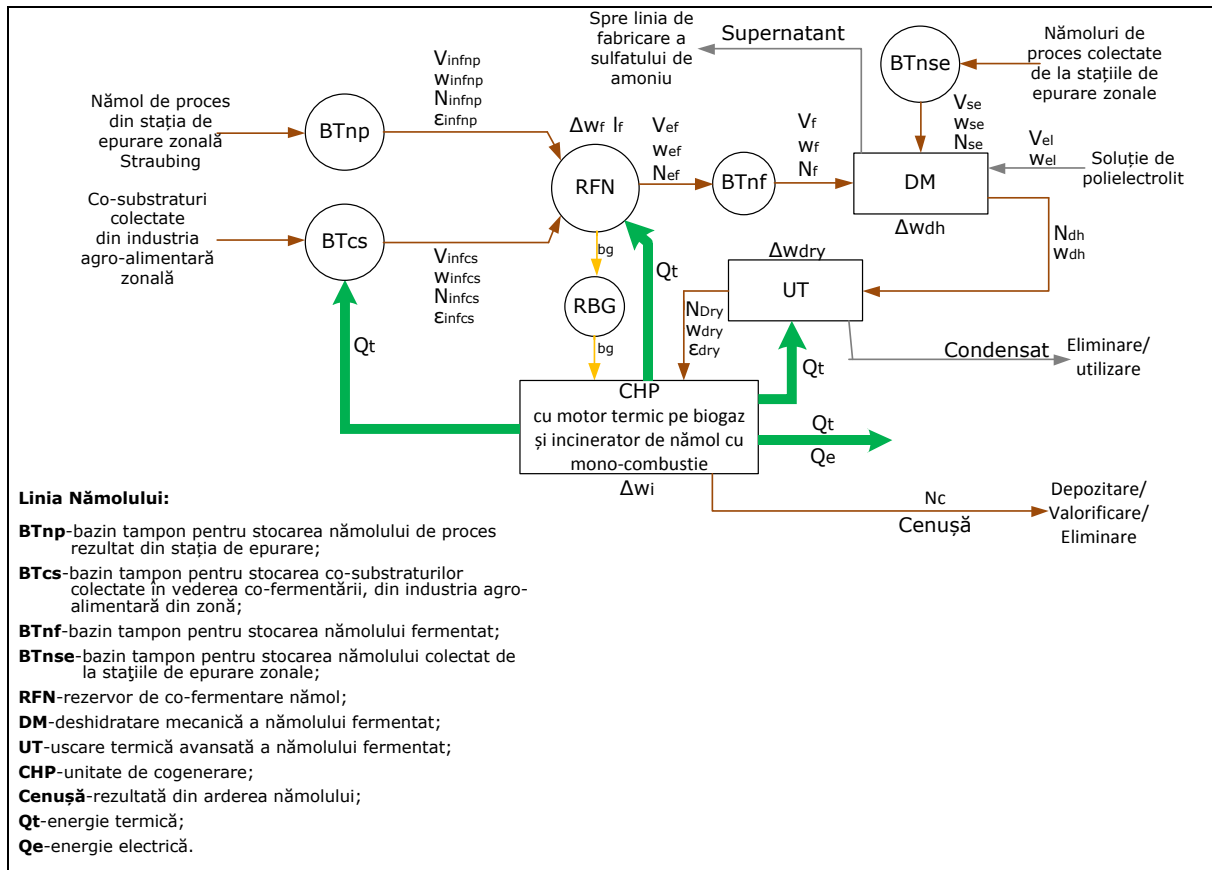


Figura 2.3 – Schema tehnologică pentru fluxurile de tratare a nămolurilor și co-substraturilor în stația de epurare zonală Straubing – Germania

### 3. Îndeplinirea obiectivelor și prezentarea rezultatelor obținute în urma cercetării științifice aplicate și experimentale

Nr. crt.	OBIECTIVUL PROPUȘ	Metoda de cercetare abordată
3.1.	<p><b>Evaluarea energetică a proceselor de fermentare anaerobă și aerobă a nămolului în vederea stabilizării, pornind de la compoziția chimică elementară a nămolului de epurare</b></p> <p>Date de intrare:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Analiza chimică elementară a nămolului;</li> <li>▪ Ecuțiile stoichiometrice de reacție chimică ale proceselor de fermentare anaerobă și aerobă.</li> <li>▪ SV = 68,2%; SM = 31,8%.</li> </ul> <p>Rezultate obținute:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Prin conversia energetică a nămolului în biogaz, în urma reacției de fermentare anaerobă 1 kg de substanțe solide volatile solide (VSS) conținute în biomasa de nămol supus fermentării, oferă o producție specifică de biogaz de 449 litri/kg VSS introdus în reacție, ceea ce concorda cu datele oferite de literatura de specialitate în domeniu;</li> <li>▪ Prin conversia energetică a nămolului în biogaz, în urma reacției de fermentare anaerobă, 1 kg de substanțe volatile solide (VSS) conținute în biomasa de nămol, oferă un câștig energetic de 4,4725 kWh. Producția de energie poate fi îmbunătățită prin optimizarea parametrilor procesului de fermentare;</li> <li>▪ Prin procesul de ardere, în urma oxidării, 1 kg de substanțe volatile solide (VSS) conținute în biomasa de nămol, oferă un câștig energetic de 5,0765 kWh (≈14 MJ/kg biomasa uscată), ceea ce concorda cu datele rezultate din determinarea experimentală a puterii calorifice = 13,5 MJ/kg TS). Producția</li> </ul>	<p>Cercetare aplicată - studiu de caz pentru nămolul provenit de la tratarea apelor uzate în stația de epurare din Timișoara</p>

	<p>de energie poate fi îmbunătățită printr-o aerare corespunzătoare a zonelor de ardere din focarele cuptoarelor de ardere.</p> <p><b>Concluzii:</b> Din evaluarea energetică făcută, pentru compoziția chimică a lotului de nămol supus evaluării, se poate trage concluzia că este mai avantajos din punct de vedere energetic să se ardă nămolul nemaifiind necesară tratarea prealabilă în vederea stabilizării corespunzătoare.</p>	
<p><b>3.2.</b></p>	<p><b>Valorificarea energetică a nămolului în stațiile de epurare cu încărcare redusă a influentului. Simularea unui bilanț energetic cu ajutorul softwar-ului EnBiPro - studiu de caz pentru stația de epurare Timișoara</b></p> <p>Date de intrare:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Analiza chimică elementară a nămolului;</li> <li>▪ Cantitățile de nămol rezultate din bilanțul masic;</li> <li>▪ Coeficientul excesului de aer necesar arderii;</li> <li>▪ Randamentele instalației de cogenerare simulate cu ajutorul ciclurilor termodinamice;</li> <li>▪ Factorii de consum termic și electric ai uscătorului de nămol.</li> </ul> <p>Rezultate obținute:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Energia disponibilă în gazele de ardere, rezultată din programul EnBiPro;</li> <li>▪ Producția de energie electrică și căldură disponibile în urma arderii;</li> <li>▪ Consumul de energie electrică și căldură pentru procesul de uscare;</li> <li>▪ Surplusul de energia electrică disponibilă pentru alte procese de tratare apă uzată sau nămol;</li> </ul> <p><b>Concluzii:</b> Energia electrică disponibilă pentru operarea proceselor de tratare în stația de epurare, acoperă un consum anual cuprins între 3700 și 4200 MWh, ceea ce înseamnă un consum lunar cuprins între 310 și 350 MWh, care reprezintă între 30 și 35% din consumul lunar total al stației de epurare Timișoara.</p>	<p>Cercetare aplicată - studiu de caz pentru nămolul provenit de la tratarea apelor uzate în stația de epurare din Timișoara</p>
<p><b>3.3.</b></p>	<p><b>Creșterea eficienței stațiilor de epurare prin procesarea și co-procesarea avansată a nămolurilor de proces și a deșeurilor organice cu încărcare organică biodegradabilă ridicată</b></p> <p>Pentru evaluarea eficienței s-au utilizat datele de bilanț masic.</p> <p>Date de intrare - conform cu bilanțul masic al procesului de fermentare:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Volumul efectiv de nămol de proces umed, rezultat din epurarea apei uzate;</li> <li>▪ Volumul efectiv de co-substraturi umede, colectate în stația de epurare;</li> <li>▪ Umiditatea (w) și conținutul de substanță organică (SV), pentru nămolul de proces și co-substraturi;</li> <li>▪ Producția efectivă de biogaz obținută prin fermentare</li> </ul> <p>Date de ieșire - conform cu bilanțul masic al procesului de fermentare:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Masa totală organică uscată redusă prin fermentare;</li> <li>▪ Producția specifică de biogaz;</li> <li>▪ Eficiența instalației de fermentare, determinată ca raport între producția de biogaz efectivă și cea proiectată, la capacitate nominală;</li> <li>▪ Gradul de utilizare a capacității de fermentare, determinată ca raport între masa totală umedă introdusă la fermentat și cea proiectată, la capacitatea nominală.</li> </ul> <p><b>Concluzii:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ponderea masei co-substraturilor organice în masa totală organică introdusă la fermentat este 70,75 % (valoare medie);</li> <li>2. Cea mai mare producție de biogaz s-a înregistrat în anul 2013, când în procesul de fermentare au fost introduse cele mai mari cantități de co-substraturi, masa lor organică uscată,</li> </ol>	<p>Cercetare aplicată - studiu de caz pentru stația de epurare Straubing - Germania</p>



	<p>reprezentând 77 % din totalul masei organice uscate introdusă în procesul de fermentare;</p> <p>3. Producția specifică medie de biogaz <math>q_{bg}</math>, pe perioada analizată a fost de 2069 mc/to substanță organică uscată redusă, fiind de aprox. 3 ori mai mare decât producția specifică dată în literatura de specialitate pentru fermentarea nămolului de epurare.</p>	
<p>3.4.</p>	<p><b>Creșterea eficienței energetice a stațiilor de epurare zonale prin co-procesarea nămolurilor de epurare împreună cu alte co-substraturi organice provenite din industria chimică și agroalimentară, colectate de pe arealul de operare. Producerea de energie electrică și termică în instalații de cogenerare, construite „in house”, utilizând drept combustibili biogazul și nămolul de epurare</b></p> <p><b>1. Instalația de cogenerare cu motor termic pe biogaz</b></p> <p>Date de intrare – conform cu bilanțul energetic a instalației de cogenerare BHKW:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Producția efectivă de biogaz;</li> <li>▪ Randamentul termic și electric al instalației de cogenerare BHKW ;</li> <li>▪ Energia termică și electrică efectiv produsă în instalația de cogenerare, contorizată în stația de epurare.</li> </ul> <p>Date de ieșire – conform cu bilanțul energetic al instalației de cogenerare BHKW:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gradul de utilizare a capacității de producere energie electrică și termică.</li> </ul> <p>▪ <b>2. Instalația de cogenerare cu incinerator de nămol</b></p> <p>Date de intrare – conform cu bilanțul energetic a instalației de cogenerare S2E:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Masa de nămol uscat la TS 90%, disponibilă;</li> <li>▪ Randamentul termic și electric al instalației de cogenerare S2E;</li> </ul> <p>Date de ieșire – conform cu bilanțul energetic al instalației de cogenerare S2E:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Energia termică și electrică disponibilă în instalația de cogenerare, în urma arderii nămolului uscat la TS 90%.</li> </ul> <p><b>Concluzii:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Chiar dacă instalația de cogenerare BHKW nu este utilizată decât la un grad de 82% din capacitatea de producere a energiei electrice, producția efectivă de energie electrică acoperă tot consumul electric al proceselor de tratare apă uzată și nămol, rezultând și un surplus care este vândut pe piața liberă de energie electrică din Germania;</li> <li>2. Instalația de cogenerare BHKW este utilizată doar la un grad de 45%, din capacitatea de producere a energiei termice. Căldura recuperată nu acoperă consumul de căldură necesar pentru uscarea întregii cantități de nămol deshidratat, dar în schimb acoperă consumul termic al tuturor celorlalte procese și activități care se desfășoară în stația de epurare.</li> <li>3. Prin arderea nămolului în instalația de cogenerare S2E, producția de energie termică ar crește cu 89%, acoperind tot consumul de căldură necesar uscării nămolului, rezultând și un surplus, care poate fi valorificat.</li> </ol>	<p>Cercetare aplicată - studiu de caz pentru stația de epurare Straubing – Germania</p>
<p>3.5.</p>	<p><b>Întocmirea bilanțului masic și energetic al proceselor de tratare a nămolului, cu ajutorul unor breviare de calcul realizate cu programul matematic Mathcad</b></p> <p><b>1. Bilanțul masic</b></p> <p>Pentru a putea întocmi un bilanț masic și a face o apreciere a eficienței de exploatare a instalațiilor de procesare de pe linia nămolului, s-a plecat de la datele de intrare de pe fluxurile de tratare pentru fiecare proces în parte, pe perioada 2010-2013, precum și de la datele de proiectare la capacitate nominală a instalațiilor de procesare.</p> <p>Pentru fiecare an în parte și pentru regimul nominal de funcționare, proiectat, a fost întocmit câte un breviar de calcul al bilanțului masic al proceselor de tratare de pe linia nămolului.</p>	<p>Cercetare aplicată - studiu de caz pentru stația de epurare Straubing – Germania</p>

Pentru simplificarea și corectitudinea calculelor a fost utilizat programul de calcul numeric Mathcad. Datele obținute în urma calculelor sunt prezentate în anexele: 1 A, 1 B, 1 C, 1 D și 1 E, pentru fiecare an în parte și pentru regimul nominal de funcționare, proiectat, și sunt centralizate într-un fișier Excel, conform anexei 2 B.M., în tabele care conțin datele de bilanț.

Tabelele sunt însoțite de grafice, care prezintă evoluția parametrilor de proces pe perioada analizată precum și gradul de utilizare a capacităților de procesare de pe linia nămolului.

#### **Concluzii:**

1. Instalația de fermentare nu este utilizată la capacitatea nominală proiectată, în ceea ce privește masa totală umedă introdusă în fermentator. În schimb masa de co-substraturi umede introduse în proces este peste cea proiectată. Gradul de utilizare a capacității de fermentare cel mai mare, a fost înregistrat în anul 2012, de 96,03 %, iar cel mai mic de a fost înregistrat în 2013, de 82,99 %;
2. Instalația de fermentare nu este utilizată la capacitatea nominală proiectată, nici din punct de vedere al producției de biogaz, cea mai bună eficiență a instalației de producere a biogazului înregistrându-se în anul 2013, și anume de 94.79 %, explicația fiind dată de încărcarea mare a co-substraturilor în substanțe organice, biodegradabile prin fermentare;
3. Instalația de deshidratare nu este utilizată la capacitatea nominală proiectată, în ceea ce privește masa de amestec de nămol umed introdusă în centrifugă. Gradul de utilizare a capacității de deshidratare cel mai mare, a fost înregistrat în anul 2011, de 95,34 %, iar cel mai mic de a fost înregistrat în 2013, de 88,43 %;
4. Deși instalațiile de fermentare și deshidratare nu au fost folosite la capacitatea nominală proiectată, cantitățile de nămol deshidratat la 30 % TS, rezultate în perioada 2010-2013, au depășit capacitatea de uscare a uscătorului BHKW, gradul de depășire fiind cuprins între 20% în 2012 și 60 % dacă nămolul ar fi fost procesat la capacitatea nominală proiectată a instalațiilor;
5. Pentru ca tot nămolul deshidratat să poată fi uscat este nevoie de mărirea capacității de uscare față de cea existentă (BHKW), cu cel puțin 80%, pentru a asigura și o rezervă în cazul creșterii cantităților de nămol de proces și co-substraturi preluate de la industria alimentară din zona de operare;
6. Din analiza de bilanț masic rezultă că în urma tratării termice, cantitatea de nămol deshidratat cu 30 %TS, se reduce de peste 7 ori, dacă tot nămolul deshidratat ar fi uscat și ars;

#### **2. Bilanțul energetic**

Bilanțul energetic al proceselor de tratare de pe linia nămolului, care se desfășoară în interiorul unei stații de epurare municipale, se întocmește pentru determinarea producției și consumului de energie termică și electrică, pe fluxurile de tratare, în scopul evaluării eficienței energetice a proceselor de tratare. Din analiza bilanțului energetic se poate face și o evaluare a gradului de utilizare, pentru principalele instalații în care desfășoară procesele de tratare.

Breviarul de calcul se întocmește pentru producția de energie termică și electrică în cele două instalații de cogenerare, cu motor termic pe biogaz și respectiv cu cuptor de ardere pentru nămolul uscat, și pentru consumurile energetice în procesele de tratare de pe linia apei uzate și a nămolului. Calculul de bilanț energetic pornește de la datele de intrare, care constituie parametri de intrare ai proceselor de tratare, cunoscuți de operatorii stațiilor de epurare. De asemenea sunt utilizați în calcul și parametri tehnici ai instalațiilor tehnologice, conform cu fișa tehnică a producătorului echipamentelor de tractare, precum și unii parametri de calcul din literatura de specialitate în domeniu.

Pentru simplificarea și corectitudinea calculelor a fost utilizat programul de calcul numeric Mathcad. Datele obținute în urma

	<p>calculului sunt prezentate în anexele: 1 A, 1 B, 1 C, 1 D și 1 E, pentru fiecare an în parte și pentru regimul nominal de funcționare, proiectat, și sunt centralizate într-un fișier Excel, conform anexei 2 B.E., în tabele care conțin datele de bilanț.</p> <p>Tabelele sunt însoțite de grafice, care prezintă evoluția producției și consumului de energie electrică și termică pe perioada analizată precum și gradul de utilizare a capacităților de producere a energiei în instalațiile de cogenerare.</p> <p><b>Concluzii:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dacă toate instalațiile de procesare de pe linia nămolului, ar fi utilizate la capacitatea nominală proiectată, ar rezulta o cantitate anuală de nămol deshidratat cu 30 % TS, de 10616 to. Căldura necesară pentru uscarea acestei cantități de nămol deshidratat la 90 % TS, este 7353 MWh;</li> <li>2. Căldura disponibilă în BHKW pentru uscare, după asigurarea celorlalte consumuri termice ale proceselor și activităților desfășurate, este de 3724 MWh, la capacitatea nominală proiectată a instalațiilor. Pentru uscarea întregii cantități de nămol deshidratat la capacitatea nominală, ar mai fi nevoie de un aport de căldură de 3629 MWh. Această căldură poate fi obținută prin arderea nămolului uscat la 90 % TS, în cuptor. În acest caz căldura disponibilă pentru uscare, prin utilizarea instalațiilor la capacitatea nominală proiectată și la randament maxim, ar fi de 11939 MWh, rezultând chiar un exces de căldură de 4586 MWh. Aceasta căldură în exces ar putea fi utilizată eficient pentru alte procese tehnologice care ar putea fi dezvoltate în stația de epurare Straubing, sau ar putea fi furnizată altor potențiali utilizatori;</li> <li>3. Dacă nu se arde nămolul, căldura disponibilă din BHKW, la capacitatea maximă de utilizare, nu poate asigura uscarea la 90 % TS, decât a 5376 to nămol deshidratat cu 30% TS. Cantitatea anuală de 5240 to de nămol deshidratat rămas neuscat, rezultată la capacitatea nominală de funcționare a instalațiilor de procesare din amonte de uscare, va trebui eliminată umed, cu 70 % apă;</li> <li>4. Concluzia cea mai importantă care se desprinde din analiza de bilanț energetic, este că stația de epurare din Straubing Germania are o totală independență energetică față de furnizorii de energie termică și electrică externi, fiind în acest caz un exemplu de admirat privind buna practică în valorificarea resurselor de energie regenerabilă;</li> <li>5. Toată energia termică și electrică produsă este energie verde, provenind din surse de energie regenerabile și anume nămoluri și deșeuri organice de proces. În acest mod amprenta de carbon a stației de epurare din Straubing se reduce considerabil.</li> </ol>	
<p><b>3.6.</b></p>	<p><b>Posibilitatea valorificării energetice a nămolului din stațiile de epurare cu încărcare organică redusă a influentului, prin conversia nămolului în biogaz, în urma fermentării anaerobe</b></p> <p>În scopul determinării caracteristicilor de fermentabilitate a nămolului activat biologic provenit din procesul de tratarea apelor uzate în stația de epurare municipală Timișoara, au fost efectuate următoarele experimente:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>I. Fermentarea în regim staționar mezofil, într-o instalație de laborator de mici dimensiuni, cu recipiente având un volum util de 1,5 litri, a 3 loturi de nămol după cum urmează: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. M1 - nămol de la stația de epurare Timișoara;</li> <li>2. MM1 - nămol de la stația de epurare Timișoara -95% + melasă din sfeclă de zahăr - 5 %;</li> <li>3. ZM1 - nămol de la stația de epurare Timișoara - 95 % + zer din lapte de vacă - 5 %.</li> </ol> </li> <li>II. Fermentarea în regim de alimentare continuu mezofil, într-o instalație de laborator de mici dimensiuni, cu recipiente având un volum util de 1,5 litri, a unui lot de nămol îngroșat de la stația de epurare</li> <li>III. Fermentarea în regim staționar mezofil, într-o instalație</li> </ol>	<p>Cercetare experimentală - studiu de caz pentru nămolul provenit de la tratarea apelor uzate în stația de epurare din Timișoara</p>

	<p>pilot, cu rezervoare de fermentare având un volum util de 2000 litri, a 2 loturi de nămol după cum urmează:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. M1 - nămol de la stația de epurare Timișoara;</li><li>2. ZM1 - nămol de la stația de epurare Timișoara - 90 % + zer din lapte de vacă - 10 %.</li></ol> <p><b>Rezultate obținute:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Pentru procesul de co-fermentare, cea mai bună producție specifică de biogaz s-a realizat în cazul co-fermentării nămolului cu o cantitate mică (5%) de co-substrat, constând din zer de lapte de vacă, producția înregistrată fiind de 900 <math>l_{bg}/kg_{mSVred}</math>, în regim staționar, cu o perioadă de retenție de 43 zile și la un volum util de fermentare de 1,5 litri;</li><li>▪ Repetarea procesului la o scară mai mare, pe o instalație pilot de 2000 litri capacitate utilă de fermentare, în condițiile creșterii perioadei de retenție în fermentator de la 43 la 67 de zile, și a reducerii umidității de la 99% la 93,9%, nu a dat rezultate satisfăcătoare, în condițiile când amestecul nu a fost omogenizat și recirculat în timpul derulării experimentelor;</li><li>▪ Pentru procesul de fermentare fără adaos de substraturi organice, cele mai bune rezultate ale producției specifice de biogaz s-au înregistrat pentru procesul de fermentare continuu, la o umiditate a amestecului în jur de 95%. În aceste condiții producția specifică de biogaz s-a dublat față de fermentarea în regim staționar pe loturi. O explicație ar putea fi amestecarea continuă a nămolului proaspăt introdus în fermentator, cu nămolul fermentat, în care sunt prezente grupuri de bacterii mature capabile să dezvolte activitatea de digestie pentru bacteriile tinere din nămolul proaspăt introdus la fermentat. S-a înregistrat o creștere a producției specifice de biogaz cu 12% și pentru fermentarea staționară pe loturi, în cazul măririi numărului de zile de retenție a nămolului în fermentator, de la 43 la 67 și a micșorării umidității de la 99% la 96%.</li></ul> <p><b>Concluzii:</b></p> <p>Rezultatele obținute în urma celor trei experimente, conduc la ideea că cercetările trebuie să continue, dar aducând procesului de fermentare unele îmbunătățiri pentru a crește eficiența fermentării.</p> <p>În literatura de specialitate sunt indicate mai multe variante de îmbunătățire/creștere a eficienței de fermentare, dintre care se pot aminti:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Aplicarea procedurii de dezintegrare prin ultrasonore, a nămolului activat biologic, în scopul dezintegrării macromoleculare, în special în faza de hidroliză;</li><li>▪ Amestecarea și recircularea periodică a nămolului în interiorul fermentatorului, cu scopul prevenirii crustei și a spumei în interiorul fermentatorului, în straturile superioare ale amestecului;</li><li>▪ În lipsa nămolului primar, pre-tratarea termică și/sau termochimică a nămolului activat biologic, înainte de introducerea în procesul de fermentare;</li><li>▪ Co-fermentarea nămolului și cu alte co-substraturi bogate în substanțe organice biodegradabile provenite din agricultură și industria agroalimentară;</li></ul>	
--	---	--

#### 4. Problemele rămase nerezolvate și direcțiile în care ar trebui continuată cercetarea

În urma cercetării științifice aplicate și experimentale privind posibilitatea valorificării energetice a nămolului din stația de epurare municipală Timișoara, am abordat două metode de evaluare energetică, una referitoare la procesul de fermentare anaerobă a nămolului activat biologic, cu obținerea de biogaz, iar cealaltă referitoare la procesul de tratare termică a nămolului deshidratat prin uscare și ardere, cu recuperarea căldurii conținută în gazele de ardere și utilizarea ei pentru uscarea nămolului și producere de energie electrică, necesară acoperirii consumurilor energetice ale proceselor de tratare a nămolului.

Dacă în cazul nămolului din stația de epurare municipală Timișoara s-ar putea aplica o variantă de valorificare energetică, în viitorul apropiat va trebui rezolvată și problema gestionării ecologice a

nămolului care va rezulta din procesul de tratare a apelor uzate, în stațiile de epurare care vor fi puse în funcțiune până în 2016, în 8 orașe din județul Timiș. Deoarece apele uzate colectate în viitoarele stații de epurare vor fi cu preponderență ape uzate menajere, încărcarea organică a influentului va fi mai mare, și în consecință încărcarea organică a nămolului de proces va fi mai mare, ceea ce va determina și o calitate mai bună a nămolului din punct de vedere energetic.

Rămâne un subiect interesant de cercetare, valorificarea energetică a nămolului de epurare, într-un centru de tratare regional, în care să se colecteze toate nămolurile de proces și co-substraturile provenite din industria agroalimentară din zonă. Prin creșterea calității energetice a nămolului se va îmbunătăți în mod cert și caracteristica de fermentabilitate a nămolului, valorificarea energetică prin conversia în biogaz și arderea acestuia într-o instalație de co-generare, putând fi o soluție fezabilă de valorificarea energetică a nămolului.

Cercetarea experimentală privind conversia nămolului în biogaz, va trebui continuată prin lărgirea gamei de co-substraturi introduse în procesul de co-fermentare, și pre-tratarea termică, chimică și termo-chimică a nămolului biologic în exces înainte de fermentare. Instalațiile experimentale pe care se va face cercetarea vor trebui actualizate pentru a putea asigura recircularea internă și omogenizarea amestecurilor supuse fermentării. În centre de cercetare mixte operatori stații epurare – universități științifice, se pot construi stații pilot pentru cercetare experimentală privind arderea sau tratarea termică avansată a nămolului de epurare.

În cazul stației de epurare zonale din Straubing – Germania, dacă se va opta pentru valorificarea energetică a nămolului deshidratat, prin tratare termică, constând din uscare avansată și ardere, conform bilanțului masic și energetic întocmit, va rezulta un exces de căldură, pentru care vor trebui găsite soluții de valorificare eficiente energetic și avansate tehnologic.

Rămâne ca teme interesante de cercetare următoarele subiecte:

- Creșterea eficienței co-fermentării nămolului prin trecerea de la regimul termic mezofil la cel termofil;
- Creșterea puterii calorifice a biogazului prin creșterea concentrației de metan – obținerea biometanului.

## 6. Contribuții proprii referitoare la tema de cercetare prezentată

Pornind de la cercetarea științifică teoretică pe care am efectuat-o pe parcursul desfășurării studiilor doctorale, am abordat mai multe metode de cercetare aplicată și experimentală pentru a putea face o evaluare a posibilităților de valorificare a energetică a nămolului din stațiile de epurare municipale.

Tema de cercetare abordată este una de mare interes la nivel internațional, european și în ultimii ani și la nivel național. În acest context am încercat și sper că am reușit să vin cu unele abordări și metode proprii pe care le-am aplicat punctual în mai multe studii de caz, pentru două stații de epurare, una din România și una din UE. Motivația alegerii celor două stații am expus-o în Subcapitolul 6.1.1.

Contribuțiile proprii referitoare la tema de cercetare prezentată, sunt următoarele:

### I. Pentru cercetarea științifică teoretică:

1. Întocmirea unei scurte sinteze privind valorificarea energetică a nămolului de epurare în UE și România, în prezent și pe termen scurt până în 2020 - Subcapitolul 1.3;
2. Întocmirea unor scheme tehnologice de principiu pentru tratarea apei uzate și a nămolului, într-o stație de epurare municipală, fără valorificare energetică a nămolului – Subcapitolul 2.1.5;
3. În tocirea unei scheme tehnologice de principiu pentru procesele de tratare a nămolului, cu valorificarea energetică a acestuia în interiorul stației de epurare – Subcapitolul 2.1.7;
4. Evaluarea energetică a proceselor de fermentare, cu ajutorul ecuațiilor de reacție, pornind de la analiza chimică elementară a nămolului. Întocmirea unui breviar de calcul - Subcapitolul 2.1.8;
5. Tratarea termică a nămolului în cicluri termodinamice cu înaltă eficiență energetică - Subcapitolul 2.1.9;
6. Întocmirea bilanțului masic și energetic al proceselor de tratare de pe linia nămolului, într-o stație de epurare în care nămolul este valorificat energetic. Schemele fluxurilor masice și energetice - Subcapitolul 2.1.11;

### II. Pentru cercetarea științifică aplicată:

1. Întocmirea unor scheme tehnologice pentru tratarea apei uzate în stațiile de epurare municipale și zonale. Studiu de caz stațiile de epurare din Timișoara și Straubing – Subcapitolul 3.1.1 – 3.1.2;
2. Întocmirea unei scheme tehnologice pentru fluxurile de tratare a nămolurilor și co-substraturilor. Studiu de caz stația de epurare zonală Straubing - Subcapitolul 3.1.2;
3. Evaluarea energetică a procesului de fermentare, în vederea stabilirii soluției de stabilizare a nămolului, înainte de tratarea preliminară. Studiu de caz stația de epurare municipală Timișoara – Subcapitolul 3.2;

4. Evaluarea energetică a procesului de tratare termică a nămolului, prin uscare și ardere, cu ajutorul programului de bilanț energetic EnBiPro. Studiu de caz stația de epurare municipală Timișoara – Subcapitolul 3.3;
  5. Observații privind creșterea producției de biogaz prin co-fermentarea nămolului de proces împreună cu co-substraturi organice colectate din industria agroalimentară și chimică, din zona de operare. Studiu de caz stația de epurare zonală Straubing - Subcapitolul 3.4;
  6. Observații privind creșterea eficienței energetice a stațiilor de epurare prin utilizarea biogazului și a nămolului ca și surse regenerabile de energie. Studiu de caz stația de epurare zonală Straubing - Subcapitolul 3.5;
  7. Determinarea formulelor matematice pentru unii parametri utilizați în calculul de bilanț masic al proceselor de tratare de pe linia nămolului. Subcapitolul 4.1.1;
  8. Elaborarea unui breviar de calcul pentru bilanțul masic al proceselor de tratare de pe linia nămolului - Subcapitolul 4.1.2;
  9. Elaborarea unui breviar de calcul pentru bilanțul energetic al proceselor de tratare de pe linia nămolului - Subcapitolul 4.1.2.
  10. Întocmirea bilanțului masic al proceselor de tratare de pe linia nămolului, cu ajutorul programului de calcul Mathcad – Studiu de caz stația de epurare zonală Straubing – Anexele 1A – 1E;
  11. Întocmirea bilanțului energetic al proceselor de tratare de pe linia nămolului, cu ajutorul programului de calcul Mathcad – Studiu de caz stația de epurare zonală Straubing – Anexele 1A – 1E;
  12. Evaluarea gradului de utilizare a instalațiilor de proces de pe linia nămolului cu ajutorul bilanțului masic – Studiu de caz stația de epurare zonală Straubing – Anexa 2B.M. 1 – 4;
  13. Evaluarea eficienței energetice a stației de epurare cu ajutorul bilanțului energetic – Studiu de caz stația de epurare zonală Straubing – Anexa 2B.E. 1 – 6;
- III. Pentru cercetarea științifică experimentală:
1. Determinarea rețetei de amestec pentru fermentarea anaerobă a unor amestecuri de nămol și co-substraturi – Subcapitolul 5.1;
  2. Evaluarea pe cale experimentală a caracteristicii de fermentare a nămolului în regim staționar, pe loturi, utilizând o instalație de laborator de mici dimensiuni. Studiu de caz pentru nămolul din stația de epurare Timișoara - Subcapitolele 5.2.1;
  3. Evaluarea pe cale experimentală a caracteristicii de fermentare a nămolului în regim de alimentare continuu, utilizând o instalație de laborator de mici dimensiuni. Studiu de caz pentru nămolul din stația de epurare Timișoara - Subcapitolul 5.2.2;
  4. Evaluarea pe cale experimentală a caracteristicii de fermentare a nămolului în regim staționar, pe loturi, utilizând o instalație pilot. Studiu de caz pentru nămolul din stația de epurare Timișoara - Subcapitolul 5.2.3;

## BIBLIOGRAFIE

1. A. Mountouris, E. Voutsas, D. Tassios, Plasma gasification of sewage sludge: process development and energy optimization, *Energy Conversion and Management*, 49, 2264-2271, 2008;
2. A. Ostojski, M. Gajewska, The legal regulations of sewage sludge management, *Ecohydrology & Hydrology – Wastewater treatment in wetlands: Theoretical and practical aspects*, Vol. 7, No 3-4, 261-266, 2007;
3. A. E. Cioabla, I. Ionel and I. Neamt, Experimental approach concerning the use of residual waters in anaerobic fermentation process for biogas production, 22nd European Biomass Conference and Exhibition, Hamburg, Germany, Session 2CV.1.16, pp. 803-806, 23–26 June, 2014;
4. A. Jonoski, A. Almoradie, K. Khan, I. Popescu, S.J. Anel, Google android mobile phone applications for water quality information management, *Journal of Hydroinformatics*, DOI 10.2166/hydro.2012.147, 2012a;
5. A. Jonoski, L. Alfonso, A. Almoradie, I. Popescu, van S.J. Anel, Z. Vojinovic, Mobile phone applications in the water domain, *Environmental Engineering and Management Journal*, 11, 919-930, 2012b;
6. A. Kelessidis, A. S. Stasinakis, Comparative study of the methods used for treatment and final disposal of sewage sludge in European countries, *Waste Management* 32, 1186-1195, 2012;
7. A. Machnicka, B. Mrowiec, Biological release of phosphates from sewage sludge after chemical precipitates – Integration and optimization of urban sanitation systems, *Proceeding of Polish - Swedish Seminar*, Gdansk, 29-36, 2003;
8. A. Machnicka, J. Suschka, K. Grübel, The intensification of sewage sludge anaerobic digestion by partial disintegration of surplus activated sludge and foam - Integration and optimization of sanitation systems in urban areas, *Proceeding of Polish - Swedish Seminar*, Cracow, 87-93, March 17-18, 2005;
9. A. Valo, H. Carrère, J. P. Delgenès, Thermal, chemical and thermo-chemical pre-treatment of waste activated sludge for anaerobic digestion, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 79(11), 1197-1203, 2004;
10. A. J. Ward, P. J. Hobbs, P.J. Holliman, D. L. Jones, Optimization of the anaerobic digestion of agricultural resources. *Bioresource Technology*, 99, pag. 7928–7940, 2008;
11. Asociația Română a Apei, ROM AQUA – I.S.S.N. 1453 – 6986, Publicație de informare științifică, nr.4/2011;
12. B. Wiechmann, C. Dienemann, C. Kabbe, S. Brandt, I. Vogel, A. Roskosch, KLÄRSCHLAMMENTSORGUNG IN DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND, <http://opus.kobv.de/zb/volltexte/2012/13541/pdf/4280.pdf>, für Umweltbundesamt (UBA), 2012;
13. C. Bougrier, J. P. Delgenès and H. Carrère, Combination of thermal treatments and anaerobic digestion to reduce sewage sludge quantity and improve biogas yield, *Process Safety and Environmental Protection*, 84(B4), 280–284, 2006;
14. D. Ciprian, C. Cosma, E. Pena-Leonte, A. Ballo, Physicochemical and Biological Characterization of the Sludge from the Romanian Municipal Wastewater Treatment Plants for Assessment of Its Conformity Level with the Legal Norms for Agricultural Use, *Journal of Environmental Protection and Ecology (JEPE)*, 8 (1), 151, 2007;
15. Directiva Consiliului nr. 86/278/CEE privind protecția mediului și mai ales a solului la utilizarea nămolului din stațiile de epurare în agricultură, *Jurnalul Oficial al Comunităților Europene* nr. L181/6, 12.06.1986;
16. Directiva Consiliului nr. 91/271/CEE privind epurarea apelor uzate urbane, *Jurnalul Oficial al Comunităților Europene (JOCE)* nr. L 135/1991;
17. Directiva Comisiei nr. 98/15/CE privind câteva solicitări stabilite în anexa I la Directiva Consiliului nr. 91/271/CEE, *Jurnalul Oficial al Comunităților Europene (JOCE)* nr. L 67/1998;
18. Directiva Parlamentului European și a Consiliului nr. 2000/76/CE privind incinerarea deșeurilor, *Jurnalul Oficial al Comunităților Europene* nr. L332/91, 28.12.2000;
19. Directiva Parlamentului European și a Consiliului nr. 2006/12/CE privind deșeurile, *Jurnalul Oficial al Comunităților Europene* L 114/16, 27.04.2006;
20. Direcția generală AM POS Mediu, Studiu făcut de consorțiul Mott Mac Donald în asociere cu ISPE, UTCB, BIOTEHNOL, Elaborarea politicii naționale de gestionare a nămolurilor de epurare, *Strategia națională de gestionare a nămolurilor*, Partea a III-a (Final 2). București, februarie - martie 2012;
21. D. Fytli, A. Zabaniotou, Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods-A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12, 116–140, 2008;
22. D. Stevanovic, Innovative Biomass Power Plant Based on Pebble-heater Technology and Hot Air Turbine, *PowerGen 2001*, Brussels, Belgium, 2001;
23. D. Stevanovic, H.-G. Fafibinder: Regenerative Thermal Oxidizers Based on Pebble-heater Technology, In: *Proc. of the 5th European Conference on Industrial Furnaces and Boilers*, Vol. 2, 11-14 April 2000, Porto, Portugal, INFUB 2000;

24. E. Cartmell et al., *Biosolids, A Fuel or a Waste? An Integrated Appraisal of Five Co-combustion Scenarios with Policy, Analysis, Environmental Science and Technology* 40, 649-658, 2006;
25. EC Directive, Directive 2000/76/EC of the European Parliament and of the Council of 4 December 2000 on the incineration of waste, Official Journal, L 332, 28/12/2000 P. 0091 – 0111, 1976;
26. EN 14774 – Solid biofuels – Determination of moisture content – Oven dry method (parts 2 and 3);
27. EN 14775 - Solid biofuels - Determination of ash content;
28. EN 14918 - Solid biofuels – Determination of calorific value;
29. EN 15148 – Solid biofuels – Determination of the content of volatile matter;
30. European Commission, *Integrated Pollution Prevention and Control – Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration*, August 2006;
31. European Commission, DG Environment under Study Contract, Final Report, Environmental, economic and social impacts of the use of sewage sludge on land, prepared by Milieu Ltd, WRc and RPA, DG ENV.G.4/ETU/2008/0076r, 2008;
32. Federal Environment Ministry's Advisory Assistance Programme for Environmental Protection in Central and Eastern Europe, the Caucasus and Central Asia - on behalf of the Federal Environment Agency (Germany) - Technical Guide on the Treatment and Recycling Techniques for Sludge from municipal Wastewater Treatment with references to Best Available Techniques (BAT) - study performed by INTECUS GmbH - Abfallwirtschaft und umweltintegratives Management, C&E Consulting and Engineering GmbH, November 2013;
33. Griffiths P., *Sludge production in BNR modeling the COD:VSS ratio and why it varies*, BNR3 Conference, Brisbane, 1997;
34. G. D. Zupančič, V. Grilc, *Anaerobic Treatment and Biogas Production from Organic Waste*, Institute for Environmental Protection and Sensors Slovenia, Environmental Engineering "Management of Organic Waste", book edited by Sunil Kumar and Ajay Bharti, ISBN 978-953-307-925-7, Published: February 1, 2012;
35. Hotărârea de Guvern nr. 128/14.02.2002 privind incinerarea deșeurilor, cu completările și modificările ulterioare, Monitorul Oficial numărul 160 din 6 martie 2002;
36. Hotărârea de Guvern nr. 188/28.02.2002 pentru aprobarea unor norme privind condițiile de descărcare în mediul acvatic a apelor uzate, Monitorul Oficial, Partea I, numărul 187 din 20 martie 2002;
37. Hotărârea de Guvern nr. 352/21.04.2005 privind modificarea și completarea Hotărârii Guvernului nr. 188/2002 pentru aprobarea unor norme privind condițiile de descărcare în mediul acvatic a apelor uzate, Monitorul Oficial numărul 398 din 11 mai 2005;
38. Hotărârea de Guvern nr. 210/28.02.2007 pentru modificarea și completarea unor acte normative care transpun acquis-ul comunitar în domeniul protecției mediului, Monitorul Oficial numărul 187 din 19 martie 2007;
39. H. Grech–Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment and Water Management, Division VI/3, *Hazardous Waste Incineration and Co-Incineration, Hazardous Waste Management Technologies*, Seminar at the Chamber of Commerce, Belgrade, 13 June 2012;
40. H. Mattenberger and others, *Sewage sludge ash to phosphorus fertilizer (II): Influences of ash and granulate type on heavy metal removal*, Waste Management 30, 1622-1633, 2010;
41. H. Mattenberger and others, *Sewage sludge ash to phosphorus fertilizer : Variables influencing heavy metal removal during thermochemical treatment* Waste Management 28, 2709-2722, 2008;
42. I. Diaz, A.C. Lopes, S.I. Pérez, M. Fdz-Polanco, *Performance evaluation of oxygen, air and nitrate for the microaerobic removal of hydrogen sulphide in biogas from sludge digestion*, Bioresource Technology, 101 (20), 7724–7730, 2010;
43. I. Ionel, C. Ungureanu, *Centrale termodinamice electrice, Cicluri termodinamice avansate*, Ed. Politehnica, Timisoara, 2004;
44. I. Ionel, I. Neamt, *Sewage Sludge to Energy. Possible Strategy for the Municipal Wastewater in Timisoara*, in: Proc. of the Bena Conference, Istanbul, 989-995, 21-24 June, 2012;
45. I. Ionel, I. Neamt and I. Vlaicu, *Biogas production from sewage sludge and integrated solution into CHP plant*, 21st European Conference and Exhibition, Copenhagen, Denmark, pp. 1227-1232, 3-7 June 2013;
46. I. Neamt, I. Ionel and C. Florescu, *Sewage Sludge to Energy. Possible strategies for Timisoara water treatment plant*, Revista de chimie, Vol. 63, Nr. 7, pp. 739 – 742, Jul 2012;
47. I. Neamt and I. Ionel, *Direct combustion of the sewage sludge. Case study for the Timisoara municipal wastewater plant*, Journal of Environmental Protection and Ecology, Vol. 14, Nr. 2, pp. 582 – 591, 2013;
48. I. Neamt, M.R. Wachter, I. Ionel and I. Vlaicu, *Energy recovery from sludge with low organic loads resulted from wastewater treatment plants*, Environmental Engineering and Management Journal, Vol. 12, Nr. 5, pp. 883 – 889, May 2013;



49. I. Neamț and I. Ionel, Environmental management of the sewage sludge: case study - the wastewater treatment plant of Timisoara, *Tehnicki Vjesnik-Technical Gazette*, Vol. 20, Nr. 3, pp. 435 – 439, Jun 2013;
50. I. Neamț, I. Ionel and I. Vlaicu, Valorificarea energetică a nămolului în stațiile de epurare municipale din România, *Buletin AGIR, Supliment 1/2013*, pp. 34 – 37, BDI: Index Copernicus International, Academic Keys, getCITED, 2013;
51. I. Neamț and I. Vlaicu, „Increasing energy efficiency of wastewater treatment plants by energy recovery from the sewage sludge”, Scientific and Technical Conference – Water Services and The New Energy Challenges, Bucharest Romania,, pp. 152-164, 10-12 June 2013;
52. I. Neamț, I. Ionel and I. Vlaicu, The mass balance of sewage sludge digestion process, *Proc. 38th Annual Congress of ARA, Pasadena, California, USA*, pp. 107-113, July 23-27, 2014;
53. I. Popescu, F. Archetti, van S.J. Andel, I. Giordani, Lenvis, A user centric, web services based system to retrieve, analyze and deliver environmental and health information, *Environmental Engineering and Management Journal*, 11, 889-897, 2012a;
54. I. Popescu, A. Jonoski, A. Bociort, Decision Support Systems for flood management in the Timis Bega catchment, *Environmental Engineering and Management Journal*, 11, 2305-2311, 2012b;
55. J. Werther, T. Ogada, Sewage Sludge Combustion, *Progress in Energy and Combustion Science*, 25 (1), 55-116, 1999;
56. K.R. Salomon, E.E. Silva Lora, Estimate of the electric energy generating potential for different sources of biogas in Brazil, *Biomass and Bioenergy*, 33, 1, pag. 1101–1107, 2009;
57. L. Appels, J. Baeyens, J. Degreve, R. Dewil, Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge, *Progress in Energy and Combustion Science*, 34, pag. 755–781, 2008;
58. L. Plyatsuk, E. Chernish, Intensification of the anaerobic microbiological degradation of sewage sludge under bio-sulfidogenic conditions, *Environment Protection Engineering*, Vol. 39, No. 3, pag. 101-118, 2013;
59. Legea apelor nr. 107/1996, *Monitorul Oficial, Partea I*, numărul 244 din 8 octombrie 1996;
60. Legea nr. 112 din 4 mai 2006 pentru modificarea și completarea Legii apelor nr. 107/1996, *Monitorul Oficial numărul 413 din 12 mai 2006*;
61. Legea nr. 146 din 12 iulie 2010 privind aprobarea Ordonanței de urgență a Guvernului nr. 3/2010 pentru modificarea și completarea Legii apelor nr. 107/1996, *Monitorul Oficial numărul 497 din 19 iulie 2006*;
62. M. Alcani; A. Dorri; A. Hoxha, Management of municipal solid waste in Tirana: Problems and challenges, *Tehnicki Vjesnik-Technical Gazette*, 17, 4, 545-551, 2010;
63. M. Bejan, T. Rusu, O sursă de energie regenerabilă – biogazul din deșeurile organice, *Buletinul AGIR nr. 1/2007*;
64. M. Horttanainen and others, Performance analysis of power generating sludge combustion plant and comparison against other sludge treatment technologies, *Applied Thermal Engineering*, 30, 110-118, 2010;
65. M. Jadaneanț, *Termotehnica și mașini termice*, vol. I, II, Politehnica, Timișoara, 1990;
66. M. A. Rasheed, P. L. S. Rao, B. A. Radha, M. Lakshmi, A. M. Dayal, Assessment of Ground Water Quality Using ICP-MS in the Eastern Region of Adilabad District, Andhra Pradesh, India, *Journal Environmental Protection and Ecology*, 12 (2), 425, 2011;
67. M. H. Gerardi, *The Microbiology of Anaerobic Digesters*, New Jersey, US: Wiley-Interscience, 192 p, 2003;
68. M. H. Romdhana and others, Monitoring of pathogenic microorganisms contamination during heat drying process of sewage sludge, *Process Safety and Environmental Protection*, 377-386, 2009;
69. M. R. J. Daelman, E.M. van Voorthuizen, L.G.J.M. van Dongen, E.I.P. Volcke, M.C.M. van Loosdrecht, Methane emission during municipal wastewater treatment, *Water Research*, 46(11) 3657-3670, 2012;
70. M. Negulescu, *Epurarea apelor uzate orășenești*, Editura Tehnică, București, 1978;
71. M. Negulescu, *Municipal waste water treatment*. ELSEVIER, Amsterdam – Oxford – New York – Tokio, 1985;
72. N. C. Jung, I. Popescu, P. Kelderman, D.P. Solomatine, R.K. Price, Application of model trees and other machine learning techniques for algal growth prediction in Yongdam Reservoir, Republic of Korea, *Journal of Hydroinformatics*, 12, 262–274, 2010;
73. N.C. Jung, I. Popescu, R.K. Price, D. Solomatine, P. Kelderman, J.K. Shin, The use of the A.G.P. test for determining the phytoplankton production and distribution in the thermally stratified reservoirs: The case of the Yongdam reservoir in Korea, *Environmental Engineering and Management Journal*, 10, 1647-1657, 2011;
74. Ordinul comun al ministrului mediului și gospodăririi apelor și al ministrului agriculturii, pădurilor și dezvoltării rurale nr. 344/708/2004 pentru aprobarea Normelor tehnice privind protecția mediului și în special a solurilor, când se utilizează nămolurile de epurare în agricultură, cu modificările și completările ulterioare. *Monitorul Oficial, Partea I*, nr.959 din 19 aprilie 2004;
75. Ordin nr. 757 din 26 noiembrie 2004, actualizat, pentru aprobarea Normativului tehnic privind depozitarea deșeurilor, Ministerul Mediului și Gospodăririi Apelor, *Monitorul Oficial nr. 86 din 26 ianuarie 2005*;

76. Ordin nr. 95 din 12 februarie 2005, actualizat, privind stabilirea criteriilor de acceptare a deșeurilor la depozitare și lista națională de deșeuri acceptate în fiecare clasă de depozit de deșeuri, Ministerul Mediului și Gospodăririi Apelor, Monitorul Oficial nr. 194 din 8 martie 2005;
77. Ordin nr. 1729 din 21 septembrie 2006 al ministrului transporturilor, construcțiilor și turismului pentru aprobarea reglementării tehnice "Normativ pentru proiectarea construcțiilor și instalațiilor de epurare a apelor uzate orășenești, Partea a V-a: Prelucrarea nămolurilor", indicativ NP 118-06, emitent Ministerul Transporturilor, Construcțiilor și Turismului, Monitorul Oficial nr. 888 din 31 octombrie 2006;
78. ORDIN nr. 2.901 din 4 septembrie 2013, pentru aprobarea reglementării tehnice "Normativ privind proiectarea, execuția și exploatarea sistemelor de alimentare cu apă și canalizare a localităților. Partea a II-a: Sisteme de canalizare a localităților. Indicativ NP 133/2-2011", emitent Ministerul Dezvoltării Regionale și Administrației Publice, Monitorul Oficial nr. 660 bis din 28 octombrie 2013;
79. Ordonanța de Urgentă a Guvernului nr. 78 din 16 iunie 2000, actualizată, privind regimul deșeurilor, Monitorul Oficial nr. 283 din 22 iunie 2000;
80. Ordonanța de Urgentă a Guvernului nr. 195/2005 privind Protecția Mediului, cu modificările ulterioare, Monitorul Oficial, Partea I, nr. 1078 din 30 noiembrie 2005;
81. Ordonanța de Urgență a Guvernului nr. 152/2005 privind prevenirea și controlul integrat al poluării, cu modificările ulterioare, Monitorul Oficial, Partea I, numărul 1196 din 30 decembrie 2005;
82. Ordonanța de Urgență nr. 61 din 6 septembrie 2006 pentru modificarea și completarea Ordonanței de urgență a Guvernului nr. 78/2000 privind regimul deșeurilor, Monitorul Oficial nr. 790 din 19 septembrie 2006;
83. P. A. Gerin, F. Vliegen, J.-M. Jossart, Energy and CO<sub>2</sub> balance of maize and grass as energy crops for anaerobic digestion, *Bioresource Technology*, 99(7), 2620-2627, 2008;
84. P. Stasta, J. Boran, L. Bebar, P. Stehlik, J. Oral, Thermal processing of sewage sludge, *Applied Thermal Engineering*, 26, 1420-1426, 2006;
85. P. Teixeira, Z. Fernandes, I. Azeredo, R. Oliveira, Denitrifying potential of an activated sludge derived consortium, *Environmental Engineering and Management Journal*, 9, 299-303, 2010;
86. R. Wächter, I. Ionel, R. Leithner, Generation of components and their user interfaces for simulation program of energy transformation processes. Diploma project UPT Timisoara Romania, 2006;
87. R. Zhang, H. M. El-Mashad and others, Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion, *Bioresource Technology*, 98, 929-935, 2007;
88. R.M. Jingura, R. Matengaifa, Optimization of biogas production by anaerobic digestion for sustainable energy development in Zimbabwe, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(5), 1116-1120, 2009;
89. S. Donatello, C. R. Cheeseman, Recycling and recovery routes for incinerated sewage sludge ash (ISSA), *Waste Management* 33, 2328-2340, 2013;
90. S. Kumar, S. Mukherjee, S. Devotta, Anaerobic digestion of vegetable market waste in India, *World Review of Science, Technology and Sustainable Development*, 7(3), 217-224, 2010;
91. S. Luostarinen, S. Luste, M. Sillanpää, Increased biogas production at wastewater treatment plants through co-digestion of sewage sludge with grease trap sludge from a meat processing plant, *Bioresource Technology*, 100, 79-85, 2009;
92. S. Vockrodt, R. Leithner, Kombi-Anlage mit integrierter Klärschlamm-Verbrennung-CISCO (Combined Cycle with Integrated Sewage Sludge Combustion), *Journal "MÜLL und ABFALL"*, nr. 12/2004;
93. S. Werle, R. K. Wilk, A review of methods for the thermal utilization of sewage sludge: The Polish perspective, *Renewable Energy*, 35, 1914-1919, 2010;
94. S.F. Balica, I. Popescu, L. Beevers, N.G. Wright, Parametric and physically based modelling techniques for flood risk and vulnerability assessment: a comparison, *Journal of Environmental Modelling & Software*, 41, 84-92, 2013;
95. T. Amon, B. Amon, and others, Methane production through anaerobic digestion of various energy crops grown in sustainable crop rotations. *Bioresource Technology*, 98, pag. 3204-3212, 2007;
96. Van der Berg, C., I. Popescu, An experience in knowledge mapping, *Journal of Knowledge Management*, 9(2), 123-128, 2005;
97. V. Rojanschi, Th. Ognean, Cartea operatorului din stațiile de epurare a apelor uzate. Editura Tehnică, București, 1997;
98. W. Beitz, K. H. Grote, Taschenbuch für den Maschinenbau 19 Auflage, Dubbel. Springer-Verlag GmbH, 1997;
99. W. M. Reinhold, I. Neamț and I. Ionel, Solid waste incineration of residues - a clean technology, Proc. 38th Annual Congress of ARA, Pasadena, California, USA, pp. 127-137, July 23-27, 2014;
100. Y. Ataseven, E. Olhan. Environmental Evaluation of Pollutions due to Agricultural Activities in Drinking Water Basins, *Journal Environmental Protection and Ecology*, 11 (4), 1253, 2010;

101. Y. Cao, A. Pawlowski, Sewage sludge-to-energy approaches based on anaerobic digestion and pyrolysis: Brief overview and energy efficiency assessment, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 1657-1665, 2012;
102. Y. Comeau, KJ Hall, Hancock REW and Oldham WK., 1985, Biochemical model for enhanced biological phosphorus removal, *Water Research* 20(12), 1511-1521, 2012;
103. \*\*\* 2010 AQUATIM TIMIȘOARA.pdf, Intern strateg report of Aquatim;
104. EPA Report, AP-42, Vol. I, Ch 2.2: Sewage Sludge Incineration, Section 2.2, <http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch02/final/c02s02.pdf>;
105. Ursula Kepp and Odd Egil Solheim, Thermo dynamical assessment of the digestion process, [www.cambi.com](http://www.cambi.com);
106. <http://www.bioenergywiki.net/Anaerobic>, accessed by June 2014;
107. <http://www.huber.de>, accessed by June 2014;
108. <http://www.scribd.com/doc/35303865/Calcula-chimice>, accessed by June 2012;
109. <http://www.scribd.com/doc/49696267/Arderea-combustibililor-Cap9>, accessed by June 2012;
110. <http://ro.wikipedia.org/wiki/Biogaz>, accessed by June 2012;
111. <http://ro.wikipedia.org/wiki/Carbon>, accessed by June 2012;
112. <http://en.wikipedia.org/wiki/Metan>, accessed by June 2012;
113. <http://en.wikipedia.org/wiki/Hidrogen>, accessed by June 2012;
114. <http://www.huber.de/huber-report/ablage-berichte/sludge-treatment/sludge2energy-a-way-to-energy-autarkic-operation-of-sewage-treatment-plants.html>, accessed by June 2014;
115. <http://www.coalinfo.net.cn/deutz/eng/Doku/TCG2016.pdf>, accessed by June 2014;
116. [http://www.bioenergy2020.eu/app/webroot/files/file/Folder\\_BE2020.pdf](http://www.bioenergy2020.eu/app/webroot/files/file/Folder_BE2020.pdf), accessed by June 2014;
117. [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/221036/pb13889-incineration-municipal-waste.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/221036/pb13889-incineration-municipal-waste.pdf), accessed by June 2014;
118. [http://www.aile.asso.fr/wp-content/uploads/2012/06/wp3-1-1\\_technologyreview\\_english.pdf](http://www.aile.asso.fr/wp-content/uploads/2012/06/wp3-1-1_technologyreview_english.pdf), accessed by June 2014;
119. <http://www.aim-srl.ro/Articol%20proiect%20gazeificare.pdf>, accessed by June 2014.