



(12)

CERERE DE BREVET DE INVENTIE

(21) Nr. cerere: **a 2019 00389**

(22) Data de depozit: **27/06/2019**

(41) Data publicării cererii:
29/11/2019 BOPI nr. **11/2019**

(71) Solicitant:

- INSTITUTUL NATIONAL DE CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU ECOLOGIE INDUSTRIALĂ INCĐ - ECOIND, STR. DRUMUL PODU DÂMBOVIȚEI NR. 71-73, SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO;
- CEPMON S.A., STR. 22 DECEMBRIE NR. 37A, DEVA, JUDEȚUL HUNEDOARA, HD, RO

(72) Inventatori:

- DINU LAURENTIU RĂZVAN, STR.CERNIȘOARA 21-25, BL.60, AP.19, SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO;
- MANEA ELISABETA, STR.BAIA DE ARIEȘ, BL.12, NR.7, AP.7, SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO;
- NITOI INES, STR.SERG.MAJ.CARA ANGHEL NR.9, BL.C 56, SC.A, AP.10, SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO;

- CRISTEA NICOLAE IONUT, ALEEA CETATEA VECHE NR.2, BL.41, SC.3, ET.3, AP.55, SECTOR 4, BUCUREȘTI, B, RO;
- BUMBAC COSTEL, STR.BÂRSĂNEȘTI NR.6, BL.154, SC.2, ET.6, AP.68, SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO;
- PASCU LUOANA FLORENTINA, STR. PLUTONIER RADU GHEORGHE NR.38, BL.VN8, PARTER, AP.3, SECTOR 3, BUCUREȘTI, B, RO;
- LEHR BLAZIU CAROL, STR. NICOLAE CARAMFIL NR. 50, BL. 11A, SC. 1, AP. 10, SECTOR 1, BUCUREȘTI, B, RO;
- ONCU VOICU, STR.22 DECEMBRIE, BL.11, AP.65, DEVA, HD, RO;
- MOGA MARINELA, STR.ÎMPĂRATUL TRAIAN, BL.16, SC.B, ET.1, AP.11, DEVA, HD, RO

(54) PROCEDEU DE VALORIZARE A DEȘEULUI REZULTAT DE LA EPURAREA APELOR DE MINĂ PRIN PRECIPITAREA IONULUI SULFAT

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un procedeu de valorificare a deșeului rezultat de la epurarea apelor de mină prin precipitarea ionului sulfat ca etringit, și anume prin utilizarea deșeului ca adăos întârziator de ardere pentru materiale compozite. Procedeul conform inventiei constă în măcinarea, până la o granulometrie cu diametru caracteristic median cuprins între $d_{50} = 1\ldots10 \mu\text{m}$, a deșeului uscat rezultat prin deshidratarea nămolului obținut prin precipitarea sulfatului din apă cu aluminat de calciu sau de sodiu sau cu hidroxid de aluminiu proaspăt precipitat, 0,19...0,25 g de Al pentru 1 g de ion de sulfat și cu hidroxid de calciu, la un $\text{pH} = 11,3\ldots12,3$,

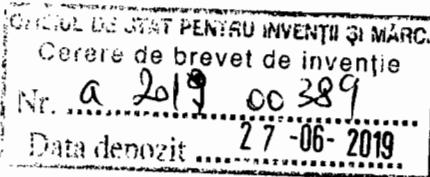
sub agitare continuă timp de 30...120 min, urmată de încorporarea deșeului în materiale compozite având 25...50 părți de deșeu, 10...30 părți de fibră de sticlă și 40...60 părți ca nevolatile de răsină de policondensare sau de polimerizare împreună cu întăritori și acceleratori de proces, urmată de formare în matriță și întărire prin reticularea răsină care se realizează fie la rece, fie la temperatură de maxim 130°C, ideal la 100°C, cu sau fără presare.

Revendicări: 5

Figuri: 1

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozitivelor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de inventie a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de inventie este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).





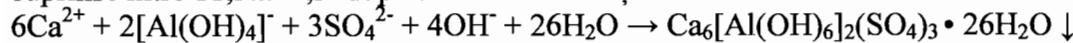
PROCEDEU DE VALORIZARE A DEŞEULUI REZULTAT DE LA EPURAREA APELOR DE MINĂ PRIN PRECIPITAREA IONULUI SULFAT

DESCRIERE

Invenția se referă la un procedeu de valorificare a deșeului rezultat de la faza de precipitată a ionului sulfat ca etringit a procesului de epurare a apelor de mină și anume prin utilizarea deșeului ca adaos în compoziția unor materiale compozite cu rol de umplutură și întârzietor de ardere.

Este cunoscut că epurarea apelor de mină și a apelor uzate industriale acide având un conținut variabil de metale grele sub formă de sulfați se face de regulă cu hidroxid de calciu, pentru precipitarea metalelor ca hidroxizi și precipitarea parțială a sulfatului ca gips și, atunci când este necesară obținerea unei concentrații finale de ion sulfat mai mică decât 1500 mg/L, se poate realiza precipitarea ionului sulfat sub formă de sulfoaluminat de calciu, majoritar etringit, $\text{Ca}_6[\text{Al}(\text{OH})_6]_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 26\text{H}_2\text{O}$, ca fază suplimentară, uneori precedată, în funcție de tehnologia aplicată, de cristalizarea asistată, cu însămânțare, a sulfatului de calciu ca gips, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Ionul sulfat precipită ca etringit în prezența ionilor de calciu și aluminat, la valori ale pH cuprinse între 11,3...12,3 după următoarea reacție chimică:



Etringitul și alți sulfoaluminati formați se elimină din sistem ca deșeu, nămol care conține și cantități mici de carbonat de calciu, gips, hidroxid de magneziu și metale grele în urme. Cantitatea de deșeu de etringit formată va depinde de concentrația de ion sulfat remanent în soluție după fazele anterioare de epurare și de concentrația în apă de mină, și, deoarece nu se atinge în general concentrația corespunzătoare echilibrului de precipitare a sulfatului de calciu, poate fi de până la 3000...4500 mg/L, dacă în proces nu se utilizează și procedeul de cristalizare a gipsului asistată, cu însămânțare cu gips, după care concentrația de ion sulfat rămâne de 1500 ...1700 mg/L. În orice caz, cantitatea de deșeu rezultat la faza etringit este mare, 4,3 kg pentru 1 kg de ion sulfat precipitat și, raportat la volumul de apă tratată, este comparabilă sau depășește cantitatea de deșeu tip nămol rezultat la fazele de precipitare metale.

Procedee pentru epurarea apelor uzate industriale și a apelor de mină în scopul îndepărterii ionilor sulfat prin metoda precipitării sub formă de etringit, procedee care utilizează diferite surse de aluminiu, sunt descrise, de exemplu, de către brevetul **EP 0250626 B1**, conform căruia se utilizează aluminat de calciu, de către brevetul **DE 3709950**, conform căruia se utilizează aluminat de sodiu sau aluminat de calciu sau de brevetul **WO 98/055405**, conform căruia se utilizează fie aluminat de calciu sau aluminat de sodiu, sulfat de aluminiu, clorură de aluminiu sau azotat de aluminiu din care se produce hidroxid de aluminiu utilizat în proces.

Procedeele menționate mai sus, au ca dezavantaje costurile de operare ridicate datorate costurilor reactivilor utilizați și celor aferente depozitării conforme a deșeului de etringit produs, dar și lipsei valorificării acestor deșeuri. Se cunosc și procedee de precipitare a sulfatului ca etringit care propun valorificarea deșeului rezultat. Documentul de brevet **EP2955161A1** se referă la un procedeu de precipitare a sulfatului cu aluminat tricalcic din care rezultă ca deșeu etringit și alte forme de sulfoaluminati de calciu și prevede valorificarea deșeului ca adaos la fabricația cimentului sau valorificarea ca produs coagulant sau neutralizant pentru epurarea apelor uzate. Documentul de brevet **WO2015162540A1** descrie un proces de recuperare a hidroxidului de aluminiu din deșeu de etringit rezultat prin precipitarea sulfatului din apă uzată cu reutilizare în proces, concomitent cu valorificarea deșeului de etringit ca agent de precipitare a metalelor și a ionului fosfat din apă de tratat. Totuși, aceste procedee au dezavantajul complexității în operare și lipsei altor posibilități de valorificare a deșeului de etringit rezultat prin aceste procedee.



Este de asemenea cunoscută utilizarea unor materiale ca hidroxid de aluminiu, hidroxid de magneziu, hidrotalcit, carbonați în structura unor materiale compozite ca agenți de umplutură cu rol de ignifugare și întârzieri de ardere, mecanismul de acțiune fiind eliminarea de apă și eventual dioxid de carbon, la temperaturi specifice, cu efect de diluare a gazelor de piroliză, răcire prin descompunere endotermă și formare de cruste care împiedică accesul gazelor de piroliză către atmosfera oxidantă.

Obiectivul invenției este de a reduce dezavantajele procedeelor menționate, prin valorificarea deșeului de etringit rezultat prin precipitarea ionului sulfat cu aluminați din ape de mină, în scopul de a crește suportabilitatea economică a proceselor de tratare a apelor de mină.

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția este de a găsi o nouă utilizare pentru deșeul de etringit rezultat la epurarea apelor de mină, printr-un procedeu de recuperare și utilizare a acestuia în materiale compozite ca umplutură și întârzieri de ardere.

Materialele ignifugate nu pierd proprietatea de a arde, ci produc doar o întârziere a aprinderii și, după aprindere, o încetinire a procesului de ardere prin suprimarea flăcării și o stingere mai rapidă a jarului. După inițierea cu o flacără din exterior a arderii, datorită întârzierilor de ardere, aceasta nu produce suficiente gaze combustibile sau căldură, flacără nu se autoînțeține și se va stinge după retragerea flăcării inițatoare. Cu referire la deșeul de etringit, eliminarea apei de hidratare poate sta la baza unui prim mecanism de întârziere a flăcării, dacă deșeul, uscat la temperaturi sub 40...50°C, ar fi încorporat într-un material compozit, obținut, dar și utilizat la temperaturi mai mici decât cele care determină descompunerea constituenților deșeului și eliminarea apei. Etringitul elimină prin încălzire, într-o primă fază, până la maxim 150°C, apa de hidratare, apa zeolitică și de asociație, echivalentă cu 26 mol H₂O pentru 1 mol etringit, 37,3% masic.

Procedeul, conform invenției, constă în precipitarea cu hidroxid de calciu a metalelor grele din apa de mină și parțial a sulfatului ca gips, la pH = 8,5...11,5, apa fiind separată prin decantare, urmată de cristalizarea din apă a gipsului, cu însămânțare cu gips recirculat 5...15 g/L, apa cu o concentrație de ion sulfat de 1500...1700 mg/L fiind separată prin decantare, urmată de precipitarea sulfatului din apă ca etringit, folosind fie aluminat de calciu, fie aluminat de sodiu, fie hidroxid de aluminiu proaspăt precipitat, doza de aluminiu fiind de 0,19 ... 0,25 g Al pentru 1 g de ion sulfat precipitat, la pH = 11,3...12,3, sub agitare timp de 30...120 minute și cu adăos de hidroxid de calciu pentru menținerea valorii pH, obținându-se deșeul sub formă de nămol care conține etringit, care se deshidratează, separat de alte nămoluri de la epurare, prin filtrare pe un filtru presă și se usucă la aer pe un pat de uscare sau în cuptor rotativ cu aer cald, la o temperatură de maxim 50°C, după care se macină cu o moară cu bile sau cu o moară cu cuțite, până la o granulometrie cu un diametru caracteristic median d₅₀ = 1...10 µm. Conform invenției, deșeul de etringit se valorifică sub formă de material de umplutură și întârzieri de ardere prin încorporarea sa în materiale compozite, produse prin amestecarea mecanică a 25...50 părți de deșeu, 10...30 părți de fibră de sticlă și 40...60 părți, ca nevolatile, de răsină de policondensare sau de polimerizare cu întăritori și acceleratori, urmată de formare în matrice și întărire prin reticularea răsinii care se realizează fie la rece, fie la temperatură de maxim 130°C, cel mai bine la maxim 100°C, cu sau fără presare.

Prin aplicarea procedeului conform invenției se obțin ca avantaje:

- scăderea cantității de deșeuri produse la epurarea apelor de mină care necesită depozitare;
- costuri reduse de recuperare;
- produsul recuperat se folosește ca atare ca umplutură în materialul compozit;
- obținerea de beneficii financiare și scăderea costului de ansamblu al procesului de epurare a apelor de mină;



- materialele compozite obținute se pot utiliza ca mase de presare de uz general sau ca produse tip pastă și mastic pentru construcții și pardoseli rezistente la foc.

În continuare se dă un exemplu de realizare a procedeului conform invenției, în legătură și cu Figura 1, care ilustrează descompunerea termică a deșeului de etringit.

Exemplul 1.

Se referă la un composit obținut conform invenției, răsină epoxi cu adaos anorganic, pentru care s-a testat influența compoziției și a temperaturii de reticulare finală asupra rezistenței la ardere și a proprietăților de autostingere. Materialele pe bază de răsină epoxidică cu adaosuri anorganice sunt în general greu inflamabile, dar nu întotdeauna cu autostingere.

Prin tratarea unei ape de mină cu o concentrație de ion sulfat de 2905 mg/L, cu hidroxid de calciu la pH = 9,5, s-a obținut după decantare un efluent cu 2310 mg SO₄²⁻/L, din care, prin precipitarea avansată a sulfatului cu un ciment aluminos conținând aluminat de calciu, 50% ca Al₂O₃, doză ciment 2,4 g/L, în prezență de hidroxid de calciu, la pH = 11,3, sub agitare timp de 120min, a rezultat după decantare un efluent cu 452 mg SO₄²⁻/L, precum și deșeu de etringit, 6,3g/L raportat ca substanță uscată la 105°C, sub formă de nămol decantat cu un conținut de 1,24% solide ca substanță uscată la 105°C. Deșeul s-a deshidratat prin filtrare urmată de uscare în etuvă la 50°C, după care s-a măcinat cu o moară cu cuțite până la o granulometrie cu diametru caracteristic median d₅₀ = 1 μm. Analiza elementală prin fluorescență de raze X a evidențiat pentru deșeul de etringit un conținut de calciu 366 g/kg, aluminiu 117 g/kg, sulf 93 g/kg, echivalent cu 280 g/kg sulfat, fier 8,3 g/kg și siliciu 12,4 g/kg. Descompunerea termică a deșeului, prezentată în Figura 1, are loc cu pierdere de masă pe cel puțin trei intervale de temperatură, 96...130,5°C, cu viteza maximă la 118°C, 3,06%/min, 151...257°C, cu viteza maximă la 246°C, 0,42%/min și 360...748°C, cu viteza maximă la 744°C, 5,78%/min). Pierderea de masă totală între 96 și 257°C este de 22,2%, iar pierderea totală de masă între 96 și 748°C este de 37,3%. Efectele termice sunt endoterme, efectul maxim fiind observat la 123°C.

Procesarea materialelor pentru obținerea compositului a fost făcută prin amestecarea, în diferite proporții indicate în Tabelul 1, a deșeului de etringit cu fibră de sticlă tocată de 2,5 mm și cu amestec de răsină epoxi-novolac cu echivalent epoxi 6,1 Eg/kg, masă moleculară grupă epoxidată 170 g/Eg, cu 77% bază ca solide determinate la 105°C și cu întăritor diaminodifenilsulfonă, 6,5 părți răsină cu 1 parte întăritor și 0,04 părți accelerator BF₃, 52% ca nevolatile răsină și întăritor. Amestecul, diluat cu acetona, cu 80% total solide înainte de reticulare, s-a turnat în forme, tăvițe din aluminiu L x l x h = 127x13x10mm și s-a tasat. Procesarea finală a materialului composit s-a realizat prin reticularea răsinii cu încălzire progresivă, la 60°C, 70°C, 80°C și 90°C, câte 10 minute și în final la temperatura maximă, diferită în funcție de test, fie 100°C, fie 130°C, fie 160°C, menținută timp de 4h.

Pentru comparație, s-au produs materiale compozite fără deșeu de etringit, folosind ca întărziator de flacără hidroxid de aluminiu comercial.

Testarea și clasificarea rezistenței la ardere și a proprietăților de autostingere ale compositului s-a făcut conform procedurii **UL94**, *Standard for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances, Underwriters Laboratories Inc.*, test de tip vertical, prin care se determină abilitatea materialelor de a propaga, întreține sau de a stinge flacără, după ce sunt aprinse, prin expunere la o flacără controlată, un timp determinat, 10 secunde. Comportamentul la ardere este exprimat cantitativ, măsurându-se, în secunde, timpul de persistență a arderii după îndepărțarea flacării externe.

Deoarece în acest exemplu de realizare a invenției s-a utilizat testul vertical, se precizează aici clasificările aplicabile conform **UL94**, în ordine descrescătoare a rezistenței la ardere:

V-0 – cu satisfacerea criteriilor, printre altele: arderea începează în maxim 10 secunde după aprindere și după reaprindere pentru oricare specimen din cinci, nu este generat jar sau



incandescență spre suport și nu sunt generați stropi care să aprindă indicatorul de bumbac. Timp total de ardere pentru cinci specimene mai mic sau egal cu 50 secunde.

V-1 - cu satisfacerea criteriilor, printre altele: arderea încetează în maxim 30 secunde după aprindere și după reaprindere pentru oricare specimen din cinci, nu este generat jar sau incandescență spre suport și nu sunt generați stropi care să aprindă indicatorul de bumbac. Timp total de ardere pentru cinci specimene mai mic sau egal cu 250 secunde.

Rezultatele testelor de ardere tip vertical după procedura UL94, sunt prezentate în Tabelul 1. Pentru compozitele obținute cu adaos minim de deșeu etringit, 19% raportat la conținut de solide înainte de reticulare, rezultatele au fost negative, datorită efectului temperaturii de procesare, care determină descompunerea pațială a etringitului din deșeu, cu eliminarea apei, pierzându-se o parte din potențialul de răcire a materialului la încălzire cu flacără și, de asemenea, datorită formării unei structuri mai poroase prin eliminarea de vapori de apă la producerea compozitului, structură care este de așteptat să favorizeze arderea și piroliza. În plus, cantitatea de etringit este probabil prea mică în acest caz pentru a permite formarea unui strat suficient de cenușă care să împiedice ieșirea gazelor de piroliză către flacără și să izoleze termic materialul. În schimb, compozitele cu rețeta martor, cu 19% hidroxid de aluminiu comercial, reticulate la 130 sau 160°C, corespund clasei V-0.

Pe de altă parte, materialele compozite conținând 32% deșeu de etringit și procesate la temperatură finală de 100 °C, s-au încadrat în clasa V-0, cu timp de autostingere < 10 sec și mai bun decât amestecurile făcute cu hidroxid de aluminiu comercial utilizat în aceleași proporții masice.

Materialele compozit conținând 32% deșeu etringit și procesate la temperatură finală de maxim 130°C, au rezistență la ardere mai mică, pot fi clasificate de clasa V-1, cu timp de autostingere < 30 sec. Prin urmare, la temperaturi de procesare mai mari, rezistența la ardere a materialului compozit care conțin deșeu de etringit scade, cele mai bune rezultate fiind obținute la 100 °C și cu adaos de 32% deșeu de etringit.

Tabelul 1 - Formulări rețete pentru materiale compozite fără și cu întarzietori de ardere și rezultate test vertical UL94

Rețeta	Material	Cantitate	Concentrație de solide înainte de reticulare *	Temperatura finală de reticulare	Clasa conform UL94
Martor epoxi+fibră de sticlă + Al(OH) ₃	Amestec răsină epoxi-novolac cu întăritor	100 g	80% total solide 19% Al(OH) ₃ ignifugant	130°C sau 160°C	V-0
	Fibră de sticlă	24 g			
	Solvent acetonă	12g			
	Al(OH) ₃ electrotehnic	24 g			
epoxi+fibră sticlă + deșeu etringit	Amestec răsină epoxi-novolac cu întăritor	100 g	80% total solide 19% deșeu etringit ignifugant	130°C	Negativ Nu se poate clasifica
	Fibră de sticlă, tocătură 2,5mm	24 g			
	Solvent acetonă	12g			
	Deșeu etringit uscat	24 g			
epoxi+fibră de sticlă + deșeu etringit	Răsină epoxi-novolac	100 g	80% total solide 32% deșeu etringit ignifugant	100°C	V-0
	Fibră de sticlă, tocătură 2,5mm	24 g		130°C	V-1
	Solvent acetonă	18g			
	Deșeu etringit uscat	48 g			

* % procente masice

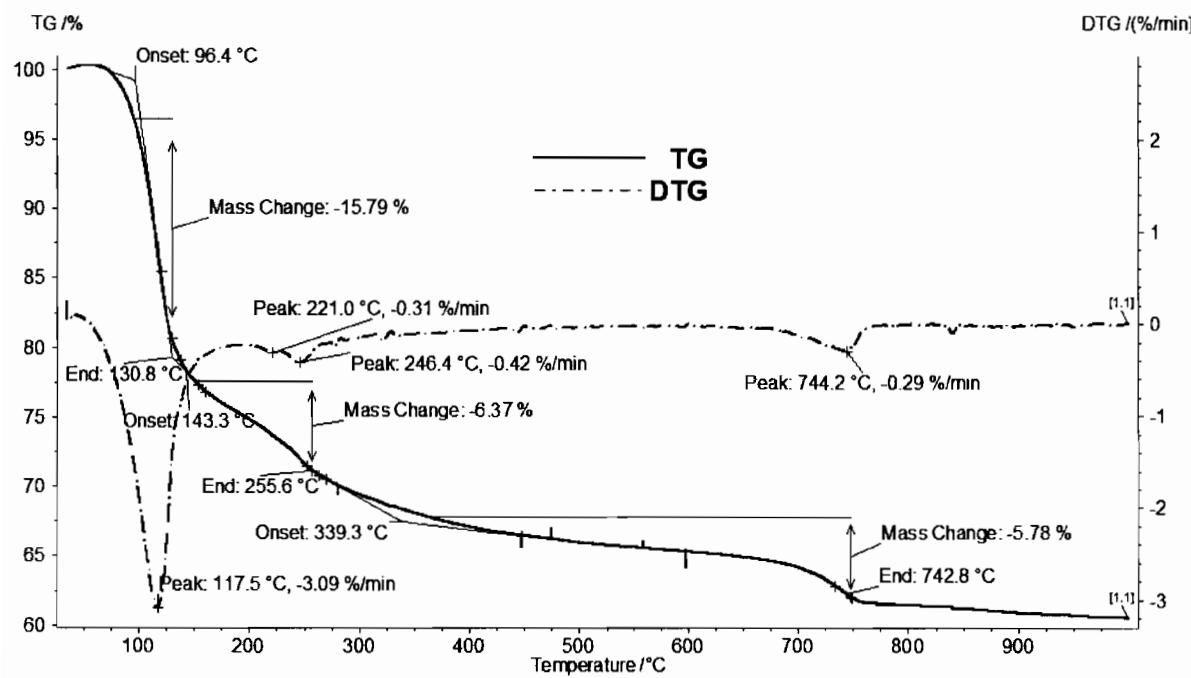


**PROCEDEU DE VALORIZARE A DEȘEULUI REZULTAT DE LA EPURAREA
APELOR DE MINĂ PRIN PRECIPITAREA IONULUI SULFAT**

REVENDICĂRI

1. Procedeu de valorificare a deșeului de etringit rezultat de la faza de precipitare a ionului sulfat ca etringit de la procese de epurare a apelor de mină, **caracterizat prin aceea că** deșeul rezultă prin precipitarea sulfatului ca etringit din apa de mină pretratată în vederea îndepărțării metalelor grele și deșeul se folosește ca material de umplutură și întârzieitor de ardere pentru materiale compozite.
2. Procedeu de valorificare a deșeului rezultat de la faza de precipitare a ionului sulfat ca etringit de la procese de epurare a apelor de mină, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** precipitarea sulfatului din apă ca etringit, se realizează la pH = 11,3...12,3, sub agitare timp de 30...120 minute și cu adaos de hidroxid de calciu pentru menținerea valorii pH, prin reacție cu un reactiv care conține aluminiu, ca de exemplu aluminat de calciu, aluminat de sodiu sau hidroxid de aluminiu proaspăt precipitat, doza de 0,19...0,25 g Al pentru 1 g de ion sulfat precipitat și nămolul obținut ca deșeu se deshidratează, distinct față de alte nămoluri de la epurare, prin filtrare pe un filtru presă și se usucă la aer pe un pat de uscare sau cu aer Cald, la o temperatură de maxim 50°C și se macină cu o moară cu bile sau moară cu cuțite până la o granulometrie cu diametru caracteristic median d50 = 1...10 µm.
3. Procedeu de valorificare a deșeului produs la faza de precipitare a ionului sulfat ca etringit, rezultat de la procese de epurare a apelor de mină, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** deșeul se încorporează în materiale compozite, prin amestecarea mecanică a 25...50 părți de deșeu, 10...30 părți de fibră de sticlă și 40...60 părți ca nevolatile de răsină de policondensare sau de polimerizare cu întăritori și acceleratori, părțile fiind exprimate ca masă, urmată de formare în matriță și întărire prin reticularea răsinii care se realizează fie la rece, fie la temperatură de maxim 130°C, cel mai bine la maxim 100°C, cu sau fără presare.
4. Procedeu de valorificare a deșeului rezultat de la faza de precipitare a ionului sulfat ca etringit, de la procese de epurare a apelor de mină, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** materialele compozite obținute, conținând minim 32% deșeu de etringit și 52% bază răsină epoxi-novolac cu echivalent epoxi 6,1 Eg/kg, masă moleculară grupă epoxidată 170 g/Eg, împreună cu întăritor diaminofenilsulfonă și accelerator BF₃, 6,5 părți răsină cu 1 parte întăritor și 0,04 părți BF₃ ca accelerator, părțile fiind exprimate ca masă, cu reticulare finală timp de 4h la temperatura de maxim 100°C, pot fi clasificate conform UL94 de clasa V-0, timp de autostingere < 10 sec.
5. Procedeu de valorificare a deșeului rezultat de la faza de precipitare a ionului sulfat ca etringit de la procese de epurare a apelor de mină, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** materialele compozite obținute, conținând minim 32% deșeu de etringit și 52% bază răsină epoxi-novolac cu echivalent epoxi 6,1 Eg/kg, masă moleculară grupă epoxidată 170 g/Eg, împreună cu întăritor diamină aromatică și accelerator BF₃, 6,5 părți răsină cu 1 parte întăritor și 0,04 părți BF₃ ca accelerator, părțile fiind exprimate ca masă, cu reticulare finală timp de 4h la temperatura de maxim 130°C, pot fi clasificate conform UL94 de clasa V-1, timp de autostingere < 30 sec.



**FIGURA 1**