



## IMPACTUL INDUSTRIEI MATERIALELOR DE CONSTRUCȚII ASUPRA MEDIULUI ȘI SOLUȚII DE DIMINUARE A ACESTUIA

Gheorghe CROITORU <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamentul Ingineria Infrastructurii Transporturilor, Facultatea Urbanism și Arhitectură, Universitatea Tehnică a Moldovei, mun. Chișinău, Republica Moldova

**Rezumat.** Impactul asupra mediului asociat cu extracția minieră a agregatelor este reprezentat de scurgerile poluante din mine, conversia utilizării terenului însoțită de pierderea habitatului pentru oameni și animale, zgomot, praf, efect de sablare, eroziune, sedimentare și schimbări ale reliefului.

În fiecare an sunt produse aproximativ trei miliarde de tone de ciment Portland. În procesul de producție sunt create în continuare 2,8 miliarde de tone de CO<sub>2</sub> în fiecare an. Aceasta reprezintă 7-8 % din toate emisiile globale de gaze cu efect de seră (GES), ceea ce reprezintă 3-4 ori mai mult decât toate aeronavele împreună (2,5% din CO<sub>2</sub> produs în lume), agriculturii moderne revenind 12%.

Cercetătorii încearcă să găsească modalități de a atenua efectul poluator al cimentului, de la construirea instalațiilor care să capteze dioxidul de carbon la recarbonare (reabsorbția CO<sub>2</sub> prin ciment) și descoperirea unor materiale înlocuitoare, cu emisii zero. Decarbonizarea industriei cimentului nu a fost niciodată mai importantă.

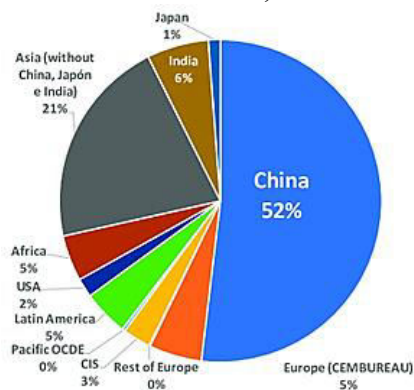
**Cuvinte cheie:** extracția agregatelor, scurgeri poluante, emisii globale, gaze cu efect de seră, efect poluator, dioxidul de carbon, recarbonare.

### Introducere

Impactul industriei materialelor de construcții asupra mediului este unul major, cauzat în special de deșeurile ce rămân în urma desfășurării activităților industriale și de eliminarea gazelor CO<sub>2</sub> în atmosferă [1].

În fiecare an, producem aproximativ trei miliarde de tone de ciment convențional, numit și ciment Portland. În procesul de producție, creăm în continuare 2,8 miliarde de tone de CO<sub>2</sub> în fiecare an. Aceasta reprezintă 7-8 % din toate emisiile globale de gaze cu efect de seră (GES), ceea ce reprezintă 3-4 ori mai mult decât toate aeronavele împreună (2,5% din CO<sub>2</sub> produs în lume), agriculturii moderne revenind 12% [2].

De exemplu, doar în 2016, industria cimentului a fost responsabilă de generarea a 2,2 miliarde de tone de CO<sub>2</sub>, adică 8% din totalul global (Fig.1).



**Figura 1. Impactul climatic al producției de ciment**

Sursa: <https://www.n.agendaconstructiilor.ro/stiri/producatori-furnizori/cembureau-productia-globala-de-ciment-depaseste-46-miliarde-de-tone-anual>

Este important să înțelegem dimensiunea imensă a impactului climatic al acestei industrii unice. Reducerile de emisii de CO<sub>2</sub> sunt dificil de obținut într-o industrie precum cea a cimentului, care are nevoie de mai mult timp decât altele pentru a ajunge cu adevărat la emisii neutre de carbon (net-zero).

### Consecințele exploatării resurselor naturale

Mineritul în zone, unde se intenționează extracția de agregate pot avea caracteristici geomorfe rare ori pot reprezenta habitatul unor specii rare sau pe cale de dispariție, ceea ce poate produce consecințe serioase și pe termen lung asupra mediului în vecinătatea locației sau chiar în locații îndepărtate față de aceasta.

Carierele de extragere ale agregatelor pot produce perturbări asupra arealelor învecinate, în principal sub forma traficului de camioane și poluarea aerului, cu impact negativ asupra rezidenților localităților învecinate sub forma inconvenientelor vizuale și fonice. Extragerea agregatelor poate determina eliberarea de sedimente prăfoase în cursurile de apă, sol și aer (Fig. 2).



**Figura 2. Extragerea agregatelor din cariere**

De asemenea, extracția constantă a agregatelor minerale va conduce în timp la epuizarea acestor resurse naturale, unele efecte ale exploatării iraționale fiind deja observate prin schimbările de peisaj și alterarea habitatului diferitelor specii de plante și animale.

Una din cele mai mari surse staționare de poluare o reprezintă centralele termice ale marilor orașe, care vin cu un aport semnificativ de poluanți atmosferici, la totalul emisiilor produse. Aportul acestora la inventarul de emisii fiind foarte mare în special pentru indicatorii: pulberi, CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> și SO<sub>2</sub> (Fig. 3).



**Figura 3. Centralele termice și haldele de zgură și cenușă rezultate**



Haldele de zgură și cenușă ocupă suprafețe mari de teren, conținând cantități foarte mari de cenușă depozitată, sunt predispușe la eroziuni din cauza fenomenelor atmosferice gen vânt furtuni, călduri excesive ce produce ridicarea pulberilor de la sol și împrăștierea acestora în atmosferă pe o rază foarte mare.

Producția cimentului începe în cariere, cu excavarea calcarului și a argilei, după care, în procesul de producție se adaugă ghips, zgură și/sau cenușă de termocentrală [3].

Problema cu cimentul Portland este că producția acestuia este consumatoare mare de energie pentru a-l produce, ceea ce provoacă emisii suplimentare de CO<sub>2</sub> legate de energie, iar procesul chimic de fabricare a cimentului convențional eliberează CO<sub>2</sub>, care a fost stocat anterior în materiile prime utilizate (ambele părți generează aproximativ 50% din emisiile totale fiecare).

Astfel, 90% din consumul de energie este energie termică pentru tratament, iar 10 % este energie electrică, mai ales pentru măcinare. Deși electricitatea reprezintă ponderea minoră din consumul de energie, aceasta este adesea mai scumpă decât combustibilii necesari pentru tratamentul la temperatură înaltă (până acum câțiva ani, emisiile legate de energie provocau 0,4 tone de CO<sub>2</sub> pe tonă de ciment).

În cazul utilizării cărbunelui, la producția de energie electrică pentru ciment, se utilizează 220 kg pentru fabricarea a 1 tonă de ciment, ce contribuie suplimentar la totalul emisiilor de CO<sub>2</sub>.

Proiectarea ecologică și eficiența energetică sunt concepte ce exprimă necesitatea găsirii unor noi materiale și tehnologii ce sunt prietenoase cu mediul, pentru a înlocui materialele convenționale utilizate în construcția clădirilor, și care permit, prin urmare, scăderea impactului asupra mediului în termeni de consum de energie și a emisiilor cu efect de gaz de seră.

Materialele sustenabile sunt cele care, în mod normal, sunt făcute din materiale naturale sau reciclate, a căror producție are un impact redus asupra mediului, necesitând consumuri mici de energie și de resurse non-regenerabile. Abordări și materiale noi ar putea ajuta industria cimentului în tranziția către un viitor decarbonizat [4].

### **Metode de ecologizare**

Cercetătorii încearcă să găsească modalități de a atenua efectul poluator al cimentului, de la construirea instalațiilor care să capteze dioxidul de carbon la recarbonare (reabsorbția CO<sub>2</sub> prin ciment) și descoperirea unor materiale înlocuitoare, cu emisii zero. Decarbonizarea industriei cimentului nu a fost niciodată mai importantă [6].

Există trei tehnologii diferite în captarea CO<sub>2</sub>, diferite din punct de vedere al eficienței, costurilor și nivelului de dezvoltare:

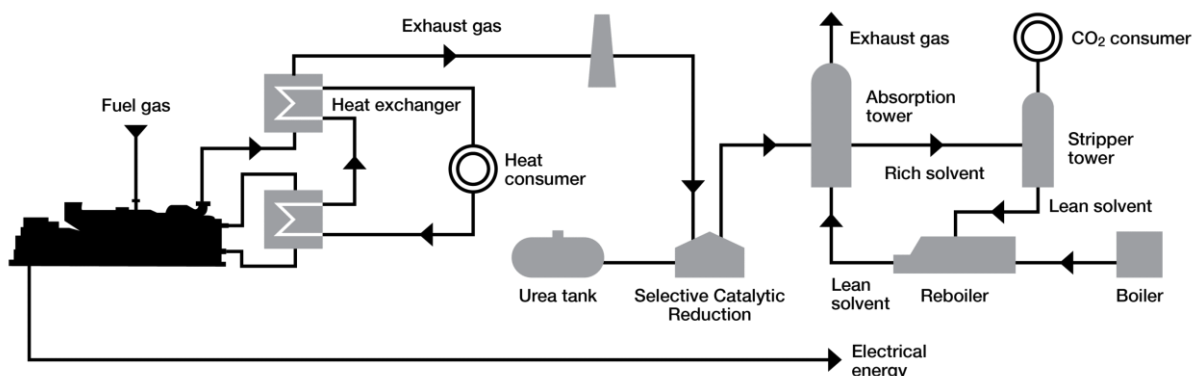
- îndepărtarea carbonului înaintea arderii, caz în care se produc hidrogen și CO<sup>2</sup> (hidrogenul fiind folosit apoi drept combustibil);
- CO<sub>2</sub> este filtrat chimic din fumul emis în urma arderii;
- combustibilii fosili sunt arși în oxigen pur - nu în aer - iar CO<sub>2</sub> este foarte concentrat în gazele emise.

Tehnologiile de captare și stocare a dioxidului de carbon (CO<sub>2</sub>) sunt în plină dezvoltare, în timp ce la nivel mondial se depun eforturi în scopul reducerii emisiilor de dioxid de carbon îndeajuns cât să se evite o posibilă catastrofă climatică.

Una dintre cele mai interesante tehnologii noi, care va permite o scădere importantă a emisiilor de carbon în industria cimentului și fără de care neutralitatea climatică a cimentului, dar și a altor produse industriale nu poate fi atinsă, este cea de captare și stocare/utilizare a carbonului (CCUS - Carbon Capture, Utilisation and Storage: eng.). Cele mai multe dintre proiectele inovatoare din industrie, în acest moment, se concentrează pe implementarea de proiecte „demonstrative” care utilizează tehnologia CCUS (Fig. 4).



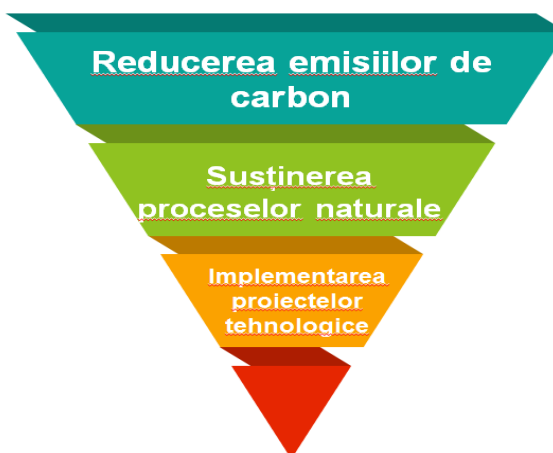
În viitor, pentru a fi disponibilă la scară largă, sunt necesare atât investiții mari, cât și o infrastructură de transport și stocare a carbonului susținută și promovată de autorități atât la nivel național, cât și european.



**Figura 4. Captarea, utilizarea și stocarea dioxidului de carbon (CCUS)**

Sursa: <https://www.clarke-energy.com/ro/carbon-capture-utilization-storage-ccus/>

Proiecte tehnologice precum captarea carbonului din aer la producător reprezintă un pas important al unui sector de captare al carbonului aflat încă într-un stadiu timpuriu de dezvoltare. Emisiile de carbon pot fi ținute sub control, însă este nevoie de măsuri pentru reducerea masivă a emisiilor de carbon, de voință politică atât la nivel local cât și global (Fig. 5).



**Figura 5. Măsuri pentru reducerea masivă a emisiilor de carbon**

### Captarea de CO<sub>2</sub> direct din aer

Captarea direct din aer este una din puținele tehnologii de extragere de CO<sub>2</sub> din atmosferă și este considerată vitală de către specialiști pentru limitarea încălzirii globale, vinovată pentru valurile de căldură, incendiile de vegetație, inundațiile și creșterea nivelului mărilor.

Această tehnică este deosebit de eficientă mai ales în cazul unităților de producție unde există multe surse poluante, inclusiv de la fabricile de ciment.

Colectorii CO<sub>2</sub> captează selectiv dioxidul de carbon printr-un proces în două etape. În prima etapă, aerul este aspirat în colector cu ajutorul unui ventilator (Fig. 6). Pasul următor îl reprezintă transportul dioxidului de carbon comprimat către locurile de stocare [5].

Aceste instalații pot să rețină între 1 tonă CO<sub>2</sub>/an și 4000 tone CO<sub>2</sub>/an, cea mai mare stație ajunge și la 8000 tone CO<sub>2</sub>/an. Jumătate din acea cantitate este ținută subteran permanent, ceea ce ar reprezenta emisiile a 870 de mașini per an, cealaltă jumătate fiind folosită în producție. Cea mai mare stație cu capacitate de 1 milion de tone este în construcție în Sud-Vestul Statelor Unite ale Americii și va fi operațională în 2024-2025.

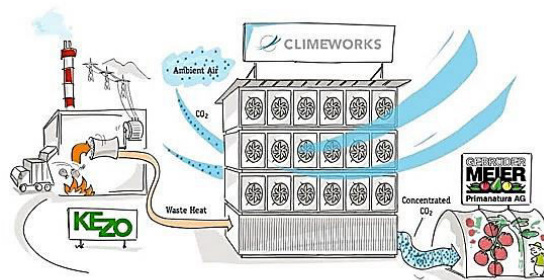


Figura 6. Instalații de captare a CO<sub>2</sub> din aer

Costul acestor aparate nu este mic. Energia electrică necesară separării CO<sub>2</sub> de ceilalți compuși înseamnă un cost între 250 Euro și 600 Euro per tonă. Costul pentru reîmpădurirea unui areal care să purifice o cantitate similară este de 50 Euro per tonă CO<sub>2</sub> captat. Experții se așteaptă ca prin politici care să accelereze tehnologia și concomitent cu dezvoltarea sectorului de piață să ajungem la un preț de 150-200 Euro per tonă în următorii 5-10 ani.

Pentru captarea carbonului direct din atmosferă costurile sunt chiar și mai mari – atingând până la 335 de Euro per tona de CO<sub>2</sub> – întrucât procesul în sine necesită multă energie, dioxidul de carbon neavând o concentrație așa mare în aer.

Cu toate acestea, potrivit Agenției Internaționale pentru Energie (AIE) costurile ar putea scădea sub 100 de Euro pe tonă până în anul 2030 în cazul instalațiilor care beneficiază de resurse mari de energie regenerabilă.

Stațiile de captare sunt o soluție rapidă pentru orașele care se confruntă cu poluare ieșită din control, însă tratează doar efectele acțiunii omului. Cauzele acestor emisii trebuie identificate și este nevoie de strategii pentru mitigarea lor.

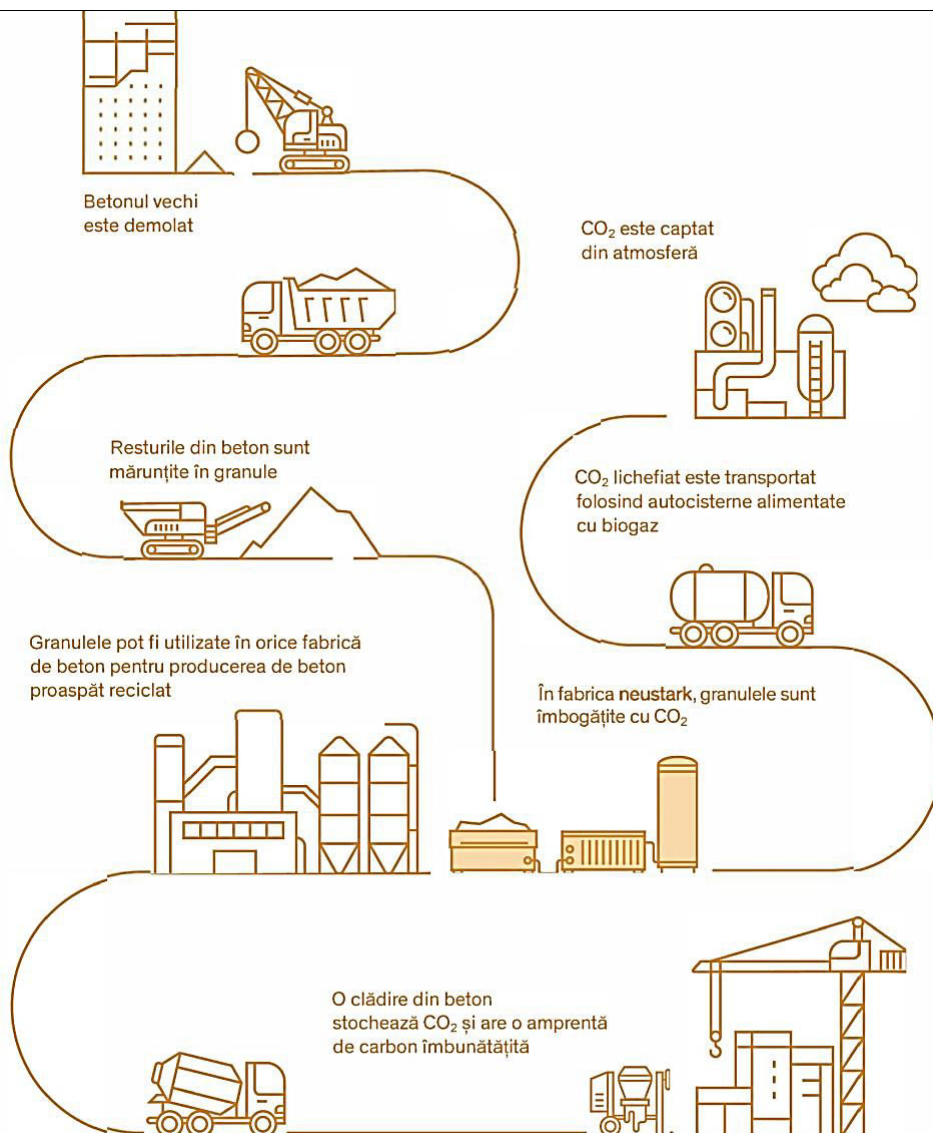
Comisia Europeană dorește dezvoltarea tehnologiei și impunerea acesteia ca obligatorie, deoarece 24% din emisiile de CO<sub>2</sub> provin din arderea cărbunelui, iar AIE prevede creșterea folosirii cărbunelui cu 70% până în 2030, pe plan global ca urmare a crizei energetice. Bioxidul de carbon rezultat din aceasta ar rămâne blocat în atmosferă timp de sute de ani.

### Depozitarea carbonului în siguranță în beton

O altă opțiune pentru a face betonul ecologic este compensarea emisiilor de CO<sub>2</sub> din conținutul de ciment. Există mai multe întreprinderi, care aplică abordări diferite, dar toate au scopul de a stoca dioxidul de carbon sau carbon pur în beton pentru a crea un rezervor de carbon (Fig. 7).

De asemenea pot fi utilizați niște aditivi pentru beton, care înlocuiesc un anumit procent din cimentul necesar. Acest lucru nu numai că economisește emisiile din producția de ciment, dar, în mare parte, transformă clădirile în rezervoare de carbon. Materialele integrează biocarbon, care este fabricat din CO<sub>2</sub> captat și apoi depozitat în siguranță pentru a se asigura că CO<sub>2</sub> nu este eliberat din nou în atmosferă.

Astfel se introduce CO<sub>2</sub> în beton, chiar înainte de a fi turnat în cofraj pe șantier, iar când CO<sub>2</sub> se întâlnește cu cimentul, acesta se mineralizează direct și devine parte a pietrei de ciment. În acest fel, pot fi reduse emisiile de dioxid de carbon cu 15 kg/m<sup>3</sup> de beton. Acest CO<sub>2</sub> este stocat permanent și nu va fi eliberat din beton chiar dacă clădirea este demolată peste câteva decenii [7].



**Figura 7. Stocarea permanentă a dioxidului de carbon captat din aer în beton reciclat provenit de la unul dintre cele mai mari fluxuri de deșuri din lume – clădirile demolate**

Sursa: <https://www.alianta-pentru-natura.ro/metoda-de-stocare-a-dioxidului-de-carbon-in-beton-reciclat/>

O altă tehnologie prevede injectarea CO<sub>2</sub> în beton, în loc de apă, pentru întărirea betonului unde CO<sub>2</sub> reacționează cu cimentul fiind depozitat permanent. Acest lucru ar putea reduce emisiile de carbon din ciment cu cel puțin 1,5 miliarde de tone de CO<sub>2</sub> pe an, și, în același timp, procesul de întărire durează doar 24 de ore în loc de 28 de zile și ar putea economisi până la trei trilioane de litri de apă dulce, utilizată la prepararea betonului.

O companie folosește senzori pentru controlul prin IoT (The Internet of Things: eng.) - tehnologia Internetul lucrurilor în combinație cu producția predictivă susținută de Inteligența Artificială (AI - Artificial intelligence: eng.) pentru a permite utilizarea unui proces de producție mai eficient. Sistemul permite producătorilor de ciment și beton să utilizeze controlul predictiv în loc de control reactiv. Acest lucru conduce la obținerea unor produse mai uniforme și permite reducerea cantității de ciment, necesară în amestecurile de beton, permițând o reducere a CO<sub>2</sub> de până la 50% datorită produselor cu clincher redus.

O tehnologie dezvoltată în SUA utilizează bacterii pentru a absorbi dioxidul de carbon în timp, înlocuind cimentul din beton cu biotehnologie.

Soluția lor este în curs de brevetare, care înlocuiește cimentul cu bacterii care absorb carbonul în timp formând calcar, funcționând ca un adeziv pentru a lega agregatele împreună,



formând BioBeton. Tehnologia funcționează la temperatura camerei cu materiale regenerabile, circulare și reziduale pentru materie primă, soluția lor unică concentrându-se pe timpi mai rapizi de întărire și scalabilitate.

### **Soluții de diminuare a impactului**

În prezent Agenția Internațională pentru Energie (AIE) se concentrează asupra a patru categorii de măsuri de îmbunătățire ce vizează reducerea emisiilor de dioxid de carbon din industria cimentului: eficiența energetică, combustibilii alternativi, înlocuirea clincherului, captarea și depozitarea carbonului.

Încă din ultimele decenii, societatea noastră a devenit conștientă de problemele depozitelor legate de produsele reziduale din industriile prelucrătoare și extractive. Prin urmare, guvernul a impus taxe și restricții pentru a controla această problemă de poluare. Cu toate acestea, restricțiile nu sunt soluția ce mai bună, deoarece trebuie găsite alternative ecologice și economice, betonul verde (ecobeton) fiind una din opțiunile alternative.

În vederea dezvoltării unui ecobeton, cercetătorii au analizat posibilitatea utilizării în beton a subproduselor industriale și a materialelor de tip deșeuri. Deșeurile și materialele cementoase suplimentare, precum cenușa de termocentrală (cenușa volantă, conform SM SR EN 450-1), zgura de furnal (zgură granulată de furnal măcinată în conformitate cu SM SR EN 15167-1), silica fume (silicea ultrafină, conform SM SR EN 13263-1+A1), nămolul roșu (deșeu rezultat din procesul tip Bayer de rafinare a bauxitei în vederea producerii aluminei), tuful vulcanic, metacaolinul, aluminosilicatul alcalin amorf, cenușa din coji sau pleavă de orez (deșeuri agricole), pot fi utilizate ca înlocuitori parțiali ai cimentului Portland.

Utilizarea deșeurilor din construcții ca sursă de agregate pentru producerea unui nou beton a devenit din ce în ce mai des întâlnită în ultimii ani, conform cerinței fundamentale „Utilizare sustenabilă a resurselor naturale” (cum ar fi utilizarea agregatelor recuperate, conform SM EN 206:2013+A2:2021).

Realizarea unui „beton verde”, ecologic, pe bază de lianți minerali activați alcalin, care nu folosește ciment Portland, este o alternativă la betonul tradițional.

O proprietate a betoanelor geopolimere o reprezintă întărirea rapidă a acestora, ajungând la 90% din rezistența la compresiune după șapte zile, comparativ cu un beton tradițional cu ciment Portland, care ajunge la maturitate din punct de vedere al rezistenței doar la vârsta de 28 de zile.

Producerea betonului geopolimer nu este doar o alternativă pentru a recicla o cantitate mare de deșeuri, dar și de realizare a unui beton cu proprietăți deosebite, cum ar fi rezistență la compresiune foarte bună încă de la vârste fragede, rezistență bună la foc și în mediu agresiv etc. (Fig. 8).

Costul de realizare al betoanelor geopolimere variază în funcție de materiile prime care sunt utilizate și de concentrația soluției alcaline folosite. Astfel, scopul este de a realiza betoane geopolimere cu proprietăți mecanice foarte bune, mai convenabile, prin utilizarea unei materii prime ieftine, bogate în Si și Al, utilizând o concentrație cât mai mică a activatorului alcalin.



Figura 8. Producerea betonului geopolimer

Conform studiilor efectuate, s-a constatat că tehnologia geopolimeră reduce emisiile de CO<sub>2</sub> cu 90%, în comparație cu tehnologia de producere a cimentului Portland. Astfel, betonul geopolimer poate fi considerat răspunsul ideal la problemele ecologice cauzate de cimentul Portland. Mai mult decât atât, producția de beton geopolimer necesită un consum mai mic de resurse minerale, prin utilizarea cenușii zburătoare [8].

### Substituția parțială a cimentului cu deșeuri agricole

În timp ce utilizarea subproduselor industriale în beton este deja bine-definită, încorporarea deșeurilor în producția de beton este încă în etapa de cercetare primară, în special în ceea ce privește deșeurile din industria agricolă. Cenușa plantelor este tot mai folosită deoarece aceasta conține diverse minerale și silicați extrase din pământ în cursul procesului de creștere a plantei.

Materialele disponibile ca produse secundare ale produselor agricole [9]:

**Cenușa din șrotul de palmier:** Cenușă rezultată din arderea șrotului din industria uleiului de palmier.

**Cenușa din coajă de orez:** cenușa din coajă de orez este un produs secundar al deșeurilor agricole care este generată în morile de orez.

**Cenușă din coji de nucă de cocos:** Cenușa din coji de nucă de cocos este obținută după arderea cojii de cocos într-un mediu controlat în interiorul unui cuptor electric la 500, 600 și 700 °C.





**Cenușă din coajă de arahide:** Aceasta este obținută din coaja de arahide.

**Cenușă de bagas din trestie de zahăr:** Reziduu fibros al trestiei de zahăr după zdrobire și extragerea sucului său este recunoscut ca bagas și este refolosit ca combustibil pentru generarea de căldură, care lasă în urmă cenușă, numită cenușă de bagas din trestia de zahăr.

**Cenușă din coceni de porumb:** Cocenii de porumb conțin, în %: siliciu – 4,77, care se regăsește și în cenușă, precum și alți componenți: fosfor – 0,055; potasiu – 0,646; cloruri – 0,124; carbon – 40,90; hidrogen – 4,82; azot – 0,73 (Fig. 9).



Figura 9. Coceni de porumb și cenușa rezultată din ardere

Republica Moldova a identificat și a prezentat necesitățile tehnologice în scopul atenuării emisiilor gazelor cu efect de seră din sectoarele prioritare - energetică și industria prelucrătoare - în vederea realizării activităților concrete pentru atragerea și implementarea proiectelor pentru re tehnologizarea și utilizarea surselor de energie regenerabilă în sectorul energetic și industrial.

În acest sens Institutul de Standardizare din Moldova a adoptat standardele:

SM EN 197-5:2021 Ciment. Partea 5: Ciment Portland compozit CEM II/C-M și ciment compozit CEM VI, care conține 50-64 % de Clincher și 36-50 % Zgura de furnal + Silice ultrafină + Puzzolana + Cenușă volantă + Șist ars;

SM EN 197-6:2023 Ciment. Partea 6: Ciment cu materiale de construcții reciclate, tip CEM II și CEM VI, care conține Clincher + Beton fin reciclat (65-79% + 21-35%), în rest Zgura de furnal + Silice ultrafină + Puzzolana + Cenușă volantă + Șist ars, având un conținut variat.

## Concluzii

Industria cimentului contribuie la încălzirea globală și la schimbările climatice, fiind una din cele mai importante industrii responsabile de emisiile majore de gaze cu efect de seră.

Pentru a ajunge la neutralitatea climatică, pe lângă dezvoltarea tehnologiilor inovatoare, este necesar un cadru favorabil de reglementări care să susțină eforturile industriei către decarbonizare – aceasta fiind atât o prioritate, cât și o misiune strategică pentru industria cimentului.

Captarea și stocarea de CO<sub>2</sub> este o soluție în contextul în care țările din întreaga lume se străduiesc să renunțe la utilizarea combustibililor fosili. Deși prețurile combustibililor fosili au scăzut semnificativ, costurile ridicate impuse de aceste tehnologii mari consumatoare de energie încă limitează măsura în care se poate acționa.

Guvernul a aprobat în august 2023, printr-o hotărâre de Guvern, Programul național de adaptare la schimbările climatice până în anul 2030 și Planul de acțiuni pentru implementarea acestuia. Programul stabilește priorități pentru acțiuni de adaptare, cu Planuri de acțiuni elaborate în două etape: 2023-2027 și 2028-2030.

Ca urmare a aprobării Programului, va fi facilitată realizarea agendei naționale de dezvoltare încorporată în Strategia Națională de Dezvoltare (SND) „Moldova Europeană 2030”, a



obiectivelor de dezvoltare durabilă asumate în cadrul acesteia, precum și a Contribuției Naționale Determinate (CND) actualizată, prezentată de Republica Moldova în anul 2020 în temeiul Acordului de la Paris.

### **Bibliografie:**

- [1] <https://ecosynergy.ro/impactul-industriei-asupra-mediului-protejarea-naturii-si-a-sanatatii-oamenilor/>;
- [2] Cement Industry Is at Center of Climate Change Debate - article by Elizabeth Rosenthal in the New York Times 26 October 2007;
- [3] Van Oss, Hendrik G. (2003). „Cement Manufacture and the Environment, Part II: Environmental Challenges and Opportunities”. *Journal of Industrial Ecology*. 7 (1): 93–126;
- [4] Javed I. Bhatti, F. MacGregor Miller, Steven H. Kosmatka; editors: Innovations in Portland Cement Manufacturing, SP400, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, USA, 2004, ISBN 0-89312-234-3;
- [5] [https://urbanizehub.ro/este-captarea-CO<sub>2</sub>-o-solutie-viabila-pe-termen-lung/](https://urbanizehub.ro/este-captarea-CO2-o-solutie-viabila-pe-termen-lung/)
- [6] Ali, N., Jaffar, A., Anwer, M, Alwi, S.K.K., Anjum, M.N., Ali, N., Raja, M.R., Hussain, A. & Ming, X., 2015. The Greenhouse Gas Emissions Produced by Cement Production and Its Impact on Environment: A Review of Global Cement Processing. *International Journal of Research (IJR)*, 2(2):488. (<http://internationaljournalofresearch.org>);
- [7] Bhutta, M. A. R., Hasanah, N., Farhayu, N., Hussin, M.W., Tahir, M. bin M. & Mirza, J., 2013. Properties of porous concrete from waste crushed concrete (recycled aggregate). *Construction and Building Materials*, 47:1243-1248.
- [8] Chousidis, N., Rakanta, E., Ioannou, I., Batis, G., 2015. Mechanical properties and durability performance of reinforced concrete containing fly ash, *Construction and Building Materials*, 101:810–817.
- [9] Mo, K.H., Alengaram, U.J., Jumaat, M.Z., Yap, S.P. & Lee, S.C., 2016. Green concrete partially comprised of farming waste residues: a review. *Journal of Cleaner Production*, 117:122-138.