

# DEZVOLTARE SUSTENABILĂ ÎN DOMENIUL MATERIALELOR DE CONSTRUCȚII

Dr. Gabriel POPESCU <sup>1</sup>, Ec. Nicoleta Raluca JIANU <sup>2</sup>,  
CS III ing. Aneta CHIVOIU <sup>2</sup>, Ing. Mirela SIMION <sup>2</sup>, Ing. Silvia MORARU <sup>2</sup>,  
Dr. Ioana Corina MOGA <sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Centrul de Studii și Cercetări pentru Biodiversitate Agrosilvică „Acad. David Davidescu”, Academia Română, București, România, <sup>2</sup> Parcul Tehnologic și Industrial Giurgiu Nord, Giurgiu, România

\*corinamoga@yahoo.com

**REZUMAT.** În cadrul acestui articol se prezintă rezultatele obținute de către autori cu privire la reutilizarea unor deșeuri, prin obținerea de noi materiale pentru fabricarea de produse destinate construcțiilor (cărămizi). Materiale propuse pentru a fi utilizate în elaborarea rețetelor de cărămidă: materiale minerale: ciment, nisip; deșeurile minerale: nămol provenit din epurarea apelor uzate industriale; deșeurile agricole: din piața locală. Nămolul analizat în cercetarea actuală provine dintr-o stație de epurare industrială ce utilizează, în procesul de epurare tehnologică, sulfat de aluminiu și var. Deșeurile agricole au devenit din ce în ce mai utilizate în construcții datorită caracteristicilor îmbunătățite ale materialului obținut, în principal în ceea ce privește izolarea termică și fonică, costurile reduse și protecția mediului prin reducerea utilizării materiilor prime convenționale.

**Cuvinte cheie:** Cărămizi, Nămol, Deșeuri agricole, Poluant, Managementul deșeurilor.

**ABSTRACT.** This article presents the results obtained by the authors regarding the reuse of some waste, by obtaining new materials for the manufacture of construction products (bricks). Materials proposed to be used in the elaboration of bricks: mineral materials: cement, sand; mineral waste: sludge from wastewater treatment; agricultural waste: from the local market. The sludge analyzed in the current research comes from an industrial treatment plant that uses, in the technological treatment process, aluminum sulfate and lime. Agricultural waste has become increasingly used in construction due to the improved characteristics of the material obtained, mainly in terms of thermal and sound insulation, reduced costs and environmental protection by reducing the use of conventional raw materials.

**Keywords:** Bricks, Wastewater sludge, Agricultural Waste, Pollutant, Waste management.

## 1. INTRODUCERE

Cantități semnificative de deșeuri sunt generate de către activitatea economică. Managementul deșeurilor ridică multe probleme de mediu și din acest motiv, cercetătorii caută soluții pentru valorificarea ulterioară a acestora în vederea realizării conceptului de economie circulară (Loehr, R., 2013; Reno, J., 2015). În cadrul cercetării efectuate de către autori s-au căutat soluții pentru valorificarea unor deșeuri provenite din agricultură (He, J., Kawasaki, S., Achal, V., 2020; Duque-Acevedo, M., Lancellotti, I., Andreola, F., et al., 2022; Magar, J., 2020), din epurarea apelor uzate industriale (Świerczek, L., Cieślak, B. M., Konieczka, P., 2018; Shi, S., Xu, G., Yu, H., Zhang, Z., 2018; Gherghel, A., Teodosiu, C., De Gisi, S., 2019) și din construcții pentru realizarea cărămizilor. S-a dorit obținerea de cărămizi ce să poată fi folosite în cadrul unor zidării nestructurale.

Agricultura este furnizorul unei cantități mari de deșeuri provenite din plantele agricole. Plantele agricole pot asigura valorificarea tulpinilor, frunzelor, păstăilor de semințe etc. Cele mai semnificative reziduuri din sectorul agricol sunt provenite de la: paie de grâu, ovăz, secară și rapiță; tulpinile de floarea soarelui; frunzele verzi sau uscate de la diverși copaci, de la sfecla de zahăr, floarea soarelui, sfeclă furajeră etc.; pleava de la diverse cereale (orz, ovăz, grâu); diferite coji de semințe precum cele de: nuc, alun, floarea soarelui; știuleți de porumb; roșii, cartofi, boabe de soia, fasole etc.; resturi de trifoi, lucernă verde sau uscată; curățarea viei; ramuri din curățarea pomilor fructiferi etc. (Souza, A. B., Ferreira, H. S., Vilela, A. P., et al., 2021; Gudainiyan, J., Kishore, K., 2023; Chinnu, S. N., Minnu, S. N., Bahurudeen, A., Senthilkumar, R., 2021; Mo, K. H., Thomas, B. S., Yap, S. P., Abutaha, F., Tan, C. G., 2020; Hafez, R. D. A., Tayeh, B. A., & Abd-Al Ftah,

R. O., 2022. Hassan, A. M. S., Abdeen, A., Mohamed, A. S., Elboshy, B., 2022).

Una dintre modalitățile posibile de reciclare a unor astfel de deșeuri agricole este utilizarea lor în aplicații industriale și de construcții. Deșeurile agricole au devenit din ce în ce mai utilizate în construcții datorită caracteristicilor îmbunătățite ale materialului final obținut, în principal în ceea ce privește izolarea termică și fonică, costurile reduse și protecția mediului prin reducerea utilizării materiilor prime convenționale.

Utilizarea în compoziția materialelor de construcție a deșeurilor vegetale precum paie de cereale, tulpinile de floarea soarelui, reprezintă o soluție de reducere a poluării. Aceste materii prime sunt disponibile pe scară largă, ușor de obținut și conduc la costuri finale mai mici ale materialelor de construcție.

De asemenea, utilizarea deșeurilor vegetale, precum cele obținute din mărunțirea știuleților de porumb sau a tulpinilor de floarea soarelui, duce, pe lângă protejarea mediului, prin reducerea utilizării de materii prime convenționale, la obținerea unui material finit cu caracteristici de izolare termică și fonică îmbunătățite, mult superioare celor ale materialului de bază. Ca urmare a acestor considerente, în cadrul cercetărilor efectuate de către autori, au fost alese a fi utilizate deșeurile provenite de la floarea-soarelui (tulpini) și știuleții de porumb, ca un posibil material alternativ pentru materialele de construcție.

## 2. MATERIALE ȘI METODE

În cadrul activității au fost testate diverse deșeuri agricole, urmărindu-se influența diferitelor procente de compoziție asupra proprietăților produsului final. Alegerea deșeurilor agricole ca adaos pentru obținerea materialelor de construcție sub formă de cărămizi își propune să imprime ca efect:

- producția de cărămizi ecologice pentru construcții, în conformitate cu legislația română de mediu în vigoare (Legea 211/2011 privind regimul deșeurilor; Decizia nr. 856/2002 privind evidența gestiunii deșeurilor și pentru aprobarea listei cuprinzând deșeurile), inclusiv deșeurile periculoase; Ordinul nr. 95/12.02.2005 privind stabilirea criteriilor de acceptare și a procedurilor preliminare de acceptare a deșeurilor spre depozitare și a listei naționale a deșeurilor acceptate în fiecare clasă de depozitare a deșeurilor);

- proprietăți termoizolante;
- proprietăți de izolare fonică;
- reducerea amprentei de carbon;
- impactul pozitiv al plantelor, din compoziția cărămizilor, asupra consumului de energie în clădiri în cele trei faze: construcție, exploatare și demolare.

Alegerea materialului agricol potrivit pentru includerea în matricea cărămizilor, s-a făcut luând în considerare cercetările efectuate la nivel național și internațional și având în vedere cantitățile din fiecare clasă de deșeuri agricole, generate în România. Se poate spune că paie de cereale sunt pe primul loc ca distribuție și accesibilitate. Pe locurile următoare sunt culturile de floarea soarelui și de porumb.

*A. Paie de cereale (grâu, orz, ovăz, orez).* Paiele, prin alcătuirea lor, sunt un foarte bun izolat termic dacă sunt compactate și uniformizate în elementele de construcție ale clădirii și au o durată de viață foarte lungă dacă sunt păstrate în condiții bune de umiditate - sub 25% (Zhou, Y., Trabelsi, A., El Mankibi, M., 2022). Conductivitatea termică a paielor poate atinge valori foarte bune și variază în funcție de mai mulți factori, precum: sistemul constructiv (modul în care sunt puse în structură), densitate, umiditate, orientarea fibrelor (paralele sau perpendiculare cu fluxul de căldură). Paiele sunt un bun izolator acustic și performanța lor variază în funcție de densitatea lor și de gradul de omogenitate din elementele de construcție.

Paiele sunt fibre naturale bogate în silicați ce pot rezista sute de ani în condiții favorabile de umiditate, oxigen și temperatură, condiții ce pot fi asigurate cu ușurință prin buna proiectare, execuție și mentenanță a clădirii. (Koh, C. H. A., Kraniotis, D., 2020). Așadar, paie au trecut cu succes testul timpului. Paiele sunt un material permeabil la vaporii și apă în stare lichidă și prin urmare nu au nevoie de protecție specială cum ar fi barierele de vaporii. Pe lângă acestea, paie sunt un material natural și nu conțin compuși chimici sau alte substanțe care ar putea afecta pe termen lung sănătatea ocupanților. Paiele sunt un produs secundar în agricultură, iar ca materie primă pentru construcții sunt disponibile din abundență ținând cont de faptul că paie pot proveni din mai multe culturi: grâu, orz, ovăz, orez etc. România cultivă anual în medie 2 milioane de hectare de grâu, fiind în topul exportatorilor din Uniunea Europeană. Pentru fiecare hectar, se recoltează 2-5 tone de boabe de grâu și 4 tone de paie. Asta înseamnă că anual în România rezultă aprox. 8,4 milioane de tone de paie doar de grâu. Paiele se pot cumpăra sub formă de baloți de diferite dimensiuni și forme, având un cost redus. Impactul asupra mediului este măsurat prin energia înglobată într-un material de construcție, reprezentând energia totală consumată pentru fabricare și punerea în operă a materialului de construcție. O mărime complementară care măsoară impactul unui material/proces asupra mediului este amprenta de carbon, care măsoară emisiile de CO<sub>2</sub> aferente energiei înglobate în materialul de construcție.

Așadar, paiele sunt o alternativă foarte bună pentru construcții durabile și eficiente energetic. Singurul inconvenient al paielor este, că pentru a fi folosite se pleacă de la baloți ce trebuie măcinați, procedeu ce generează mult praf. Totuși, datorită tehnologiei disponibile, au apărut câteva sisteme constructive, în care paiele sunt mărunțite foarte eficient, curat și fără efort deosebit, dar cu costuri adiționale de procesare.

*B. Tulpini de floarea soarelui și știuleți de porumb*

Într-un studiu privind folosirea deșeurilor agricole în cadrul procesului de obținere de materiale de construcție și anume tulpini de floarea soarelui și știuleți de porumb s-a constatat că: tulpinile de floarea soarelui au densități ceva mai mari și rezultate mai bune în ceea ce privește compresiunea, rezistența la rupere, la divizare, modul de elasticitate și rezistența la îngheț-dezghet decât cele cu coceni de porumb; componentele vegetale duc la scăderea densității betonului, pe măsură ce conținutul lor crește, indiferent de materia primă vegetală utilizată, tulpini de floarea soarelui sau știuleți de porumb; rezistența la compresiune a fost redusă datorită utilizării deșeurilor vegetale; rezistența la tracțiune - compozițiile cu tulpini de floarea soarelui duc la valori semnificativ mai mari decât cele cu știuleți de porumb, datorită diferenței dintre cele două tipuri de deșeuri; elasticitatea compozițiilor de beton: modul de elasticitate mai mare în cazul utilizării agregatelor din floarea soarelui tulpini pentru compoziții cu până la 35% materie vegetală și invers pentru rate de înlocuire a componentelor minerale mai mari de 35%; deșeurile vegetale au dus la o rezistență redusă la cicluri repetate de îngheț-dezghet; conductivitatea

termică este similară pentru ambele tipuri de deșeuri vegetale (Binici, H., Aksogan, O., Dincer, A., Luga, E., Eken, M., Isikaltun, O., 2020).

Avantajele utilizării tulpinilor de floarea soarelui și a știuleților de porumb în compozițiile de beton, pe lângă caracterul lor ecologic și durabil, sunt influența semnificativă în reducerea densității și conductivității termice.

Cele trei tipuri de materiale vegetale propuse a fi utilizate în acest studiu au fost selectate deoarece sunt produse local, ușor accesibile și ieftine.

Alegerea variantei optime de material vegetal pentru introducerea în matricea compoziției cărămizilor se face funcție de preponderența unuia din aceste materiale vegetale (paie de cereale, tulpini de floarea soarelui sau porumb), în zona geografică.

În România, paiele de cereale sunt pe primul loc din punct de vedere al răspândirii și al accesibilității. Pe locurile următoare sunt culturile de floarea soarelui și porumb.

Materialele alese de către autori pentru a fi folosite la realizarea rețetelor de cărămidă:

- materiale minerale: ciment, nisip;
- deșeuri minerale: nămol de epurare a apelor uzate.

Pentru elaborarea rețetelor finale care au fost experimentate, în tabelul 1 se compară valorile concentrației fiecărui component, propuse de autori (%) față de cele propuse în literatura de specialitate (%). Ca și deșeuri agricole, autorii au utilizat, paie de cereale, reziduuri de la floarea soarelui cât și știuleți de porumb. În secțiunea următoare se prezintă doar câteva rezultate, parțiale pentru rețetele cu floarea soarelui și știuleți de porumb.

Tabelul 1. Valorile concentrației fiecărui component aferent materialului final utilizat pentru fabricarea cărămizilor

| Deșeu                          | Forma                  | Proporții                             |   |
|--------------------------------|------------------------|---------------------------------------|---|
|                                |                        | Propuse în descrierea proiectului [%] | Propuse în literatura de specialitate [%] |
| Nămol stație tratare ape uzate | Solid, umiditate <80 % | 30-60                                 | 5-55                                      |
| Deșeu agricol                  | Solid, mărunțit        | 5-30                                  | 20-80                                     |
| Ciment                         | Solid                  | 10-20                                 | 55  |
| Nisip                          | Solid                  | 15-30                                 | 30  |
| Fibră sticlă                   | Mărunțită              | 2-5                                   | 4   |
| Argilă                         | Solid                  | -                                     | 5-15                                      |



Fig. 2.1. Cărămidă cu știuleți de porumb - rețeta 1



Fig. 2.2. Cărămidă cu știuleți de porumb - rețeta 2



Fig. 2.3. Cărămidă cu floarea soarelui - rețeta 1



Fig. 2.4. Cărămidă cu floarea soarelui - rețeta 2

### 3. REZULTATE ȘI DISCUȚII

Figurile 2.1 - 2.4 prezintă câteva dintre cărămizile obținute folosind deșeuri agricole, nămol obținut de la epurarea apelor industriale și deșeuri din fibră de sticlă.

În tabelul 2 sunt prezentate caracteristici ale cărămizilor obținute cu rețeta nr. 1 propusă și testată de către autori, folosind diferite tipuri de deșeuri agricole. Toate cărămizile obținute (cu diferite tipuri de rețete, proporții diferite ale materialelor componente) au fost analizate conform modelului prezentat în tabelul 2.

S-au efectuat analize fizico-chimice pentru cărămizile cu cel mai bun comportament la impact și aspect fizic adecvat pentru utilizare ulterioară ca materiale de construcție. De exemplu, caracteristicile fizico-chimice ale cărămizii obținute cu ajutorul rețetei 1 - știuleți de porumb sunt prezentate în tabelul 3.

În tabelul 4 sunt prezentate caracteristicile fizico-chimice ale cărămizilor obținute cu ajutorul rețetei 1 ce utilizează tulpini de floarea soarelui. Din câte se poate observa, toate valorile obținute în urma testării cărămizilor se încadrează în limitele legale, fără nicio depășire. Cărămizile sunt considerate sigure pentru utilizare în construcții nestructurale. Înainte de a intra în procesul de experimentare, nămolul rezultat din stația de preepurare a fost analizat din punct de vedere fizico-chimic, în vederea comparării cu valorile parametrilor fizico-chimici necesari a fi îndepliniți (deșeuri nepericuloase conform Legii 211). /2011, HG 856 /2002 și Ord. 95/2005). În acest sens, analizele fizico-chimice au fost efectuate conform standardelor de lucru în vigoare, iar rezultatele obținute respectă și limitele maxime impuse pentru diferitele materiale componente.

Tabel 2. Caracteristici ale cărămizilor obținute cu rețeta nr. 1 pentru cele 3 tipuri de deșeuri agricole testate

| Tip deșeu agricol                       | Mod de comportament al deșeului agricol  | Aspect fizic al cărămizii  | Rezistența la lovire, după 7 zile de uscare               |
|---|--|--|---|
| Paie de grâu                            | Greu de mărunțit și de înglobat în amestec   | Aspect cenușiu, deșeul este neuniform repartizat, există fisuri în structura cărămizii după uscare.                | La simpla lovire mecanică apar crăpături în structură.    |
| Tulpini de porumb și știuleți de porumb | Tulpinile de porumb se mărunțesc mai greu din cauza frunzelor. Știuleții de porumb se mărunțesc foarte bine și se înglobează uniform în amestec. S-a ales varianta utilizării știuleților de porumb. | Aspect cenușiu, deșeul este uniform repartizat în structura cărămizii dacă se utilizează numai știuleți de porumb. | La simpla lovire mecanică nu apar crăpături în structură. |
| Tulpini de floarea soarelui             | Se mărunțesc foarte bine și se înglobează uniform în amestec.  | Aspect cenușiu, deșeul este uniform repartizat în structură cărămizii.   | La simpla lovire mecanică nu apar crăpături în structură. |

Tabelul 3. Caracteristicile fizico-chimice ale cărămizii obținute în rețeta 1 cu știuleți de porumb

| Constituenți                               | Cantitatea în deșeu |            | Limita impusă de Legea 211/2011, HG 856/2002 pentru deșeuri nepericuloase [%] | Limita impusă de Legea 211/2011, Ordin 95/2005 [mg/kg] |                       |
|--|---------------------|------------|---|--|-----------------------|
|  | [mg/kg]             | [%]        |   | deșeuri inerte   | deșeuri nepericuloase |
| pH   | 7,68 unit pH        |            | -   | -  | Minim 6,0             |
| Substanțe anorganice                       | -                   | 79,03      | -   | -  | -                     |
| Substanțe organice (pierdere la calcinare) | -                   | 20,97      | -   | -  | -                     |
| Carbon organic total                       | 21200,0             | 2,12       | < 5%  | 30000  | 50000                 |
| Cloruri                                    | 214,0               | 0,0214     | < 5%  | -  | -                     |
| Sulfati                                    | 864                 | 0,0864     | < 5%  | -  | -                     |
| Indice fenol                               | < 5,0               | < 0,0005   | < 3%  | -  | -                     |
| Fluoruri                                   | < 10                | < 0,001    | < 3%  | -  | -                     |
| Metale                                     |                     |            | Sumă metale < 3%  | -  | -                     |
| Arsen                                      | < 1,0               | < 0,0001   | Sumă metale < 3%  | -  | -                     |
| Cadmium                                    | < 2,0               | < 0,0002   | Sumă metale < 3%  | -  | -                     |
| Crom total                                 | < 50                | < 0,005    | Sumă metale < 3%  | -  | -                     |
| Cupru                                      | < 5,0               | < 0,0005   | Sumă metale < 3%  | -  | -                     |
| Molibden                                   | < 20                | < 0,0002   | Sumă metale < 3%  | -  | -                     |
| Mercur                                     | < 0,01              | < 0,000001 | Sumă metale < 3%  | -  | -                     |
| Nichel                                     | < 10                | < 0,001    | Sumă metale < 3%  | -  | -                     |
| Plumb                                      | < 20                | < 0,002    | Sumă metale < 3%  | -  | -                     |
| Zinc                                       | < 20                | < 0,002    | Sumă metale < 3%  | -  | -                     |

Tabelul 4. Caracteristicile fizico-chimice ale cărămizii obținute în rețeta 1 cu tulpini de floarea soarelui

| Constituenți                               | Cantitatea în deșeu |         | Limita impusă de Legea 211/2011, HG 856/2002, pentru deșeuri nepericuloase [%] | Limita impusă de Legea 211/2011, Ordin 95/2005 [mg/kg] |                       |
|--|---------------------|---------|--|--|-----------------------|
|  | [mg/kg]             | [%]     |  | deșeuri inerte   | deșeuri nepericuloase |
| pH   | 7,68 unit pH        |         | 7,68 unit pH   | -  | Minim 6,0             |
| Substanțe anorganice                       | -                   | -       | -  | -  | -                     |
| Substanțe organice (pierdere la calcinare) | -                   | -       | -  | -  | -                     |
| Carbon organic total                       | 20800,0             | 20800,0 | < 5%   | 30000  | 50000                 |
| Cloruri                                    | 264,0               | 264,0   | < 5%   | -  | -                     |
| Sulfai                                     | 972                 | 972     | < 5%   | -  | -                     |
| Indice fenol                               | < 5,0               | < 5,0   | < 3%   | -  | -                     |
| Fluoruri                                   | < 10                | < 10    | < 3%   | -  | -                     |
| Metale                                     |                     |         | Sumă metale < 3%   | -  | -                     |
| Arsen                                      | < 1,0               | < 1,0   | Sumă metale < 3%   | -  | -                     |
| Cadmium                                    | < 2,0               | < 2,0   | Sumă metale < 3%   | -  | -                     |
| Crom total                                 | < 50                | < 50    | Sumă metale < 3%   | -  | -                     |
| Cupru                                      | < 5,0               | < 5,0   | Sumă metale < 3%   | -  | -                     |
| Molibden                                   | < 20                | < 20    | Sumă metale < 3%   | -  | -                     |
| Mercur                                     | < 0,01              | < 0,01  | Sumă metale < 3%   | -  | -                     |
| Nichel                                     | < 10                | < 10    | Sumă metale < 3%   | -  | -                     |
| Plumb                                      | < 20                | < 20    | Sumă metale < 3%   | -  | -                     |
| Zinc                                       | < 20                | < 20    | Sumă metale < 3%   | -  | -                     |

Tabelul 5. Limitele de variație ale diferitelor componente și deșeuri care intră în compoziția cărămizilor

| Rețetă  | Nămol de la epurarea apelor [%] | Deșeuri agricole [%] | Ciment [%] | Nisip [%] | Fibră de sticlă [%] |
|---|---------------------------------|----------------------|------------|-----------|---------------------|
| Variația (%) elementelor componente în cadrul rețetei de material final pentru realizare cărămizi | 30-60                           | 5-30                 | 10-20      | 15-30     | 2-5                 |

În total, autorii au testat 5 rețete pentru fabricarea cărămizilor cu diferite compoziții. Tabelul 5 prezintă limitele de variație. În acest articol sunt prezentate rezultatele obținute doar pentru rețeta 1 atât pentru tulpinile de floarea soarelui cât și pentru știuleții de porumb, deoarece cele mai bune rezultate au fost obținute pentru aceste variante.

#### 4. CONCLUZII

Alegerea variantelor de rețetă s-a făcut ținând cont de datele din literatura de specialitate și de experiența autorilor acumulată prin cercetările efectuate în cadrul altor proiecte de cercetare europene privind valorificarea deșeurilor industriale. Au fost elaborate cinci rețete pentru experimente cu cele 3 tipuri de deșeuri agricole: paie de grâu; tulpini de floarea soarelui; tulpini și știuleți de porumb.

Ținând cont de următoarele elemente:

- ușurința procesării prin mărunțirea deșeurilor agricole cu experiență;
- gradul de includere, uniformitatea în amestec, compatibilitatea componentelor;
- aspectul fizic al cărămizilor;
- comportamentul la impact al cărămizilor;

- datele din literatura de specialitate privind efectele benefice ale deșeurilor agricole asupra conductivității termice, densității, elasticității, au fost considerate a fi cele mai bune cărămizi obținute prin rețetele 1 și 2 făcute cu deșeuri agricole din știuleți de porumb și tulpini de floarea soarelui, rezultate prezentate în cadrul prezentului articol fiind cele aferente rețetei 1 pentru știuleți și tulpini de floarea soarelui.

#### MULȚUMIRI

Cercetarea a fost realizată în cadrul proiectului: PN-III-P2-2.1-PED-2021-3175, contract nr. 727 PED/2022 "Utilizarea în construcții a bioresurselor regenerabile provenite din agricultură și din stațiile de epurare", (Acronim: BIOBRICK), finanțat de către Ministerul Educației și Cercetării din România, CCDI – UEFISCDI.

#### BIBLIOGRAFIE

- [1] Binici, H., Aksogan, O., Dincer, A., Luga, E., Eken, M., Isikaltun, O., *The possibility of vermiculite, sunflower stalk and wheat stalk using for thermal insulation material*

- production*. Thermal Science and Engineering Progress, **18**, 2020.
- [2] Chinnu, S. N., Minnu, S. N., Bahurudeen, A., Senthilkumar, R., *Recycling of industrial and agricultural wastes as alternative coarse aggregates: A step towards cleaner production of concrete*. Construction and Building Materials, **287**, 2021.
- [3] Duque-Acevedo, M., Lancellotti, I., Andreola, F., Barbieri, L., Belmonte-Ureña, L.J., Camacho-Ferre, F., *Management of agricultural waste biomass as raw material for the construction sector: An analysis of sustainable and circular alternatives*. Envir. Sciences Europe, **34(1)**, 2022.
- [4] Gherghel, A., Teodosiu, C., & De Gisi, S., *A review on wastewater sludge valorisation and its challenges in the context of circular economy*. Journal of cleaner production, **228**, 2019.
- [5] Gudainiyan, J., Kishore, K., *A review on cement concrete strength incorporated with agricultural waste*. Materials Today: Proceedings, **78**, 2023.
- [6] Hafez, R. D. A., Tayeh, B. A., Abd-Al Ftah, R. O., *Development and evaluation of green fired clay bricks using industrial and agricultural wastes*. Case Studies in Construction Materials, **17**, 2022.
- [7] Hassan, A. M. S., Abdeen, A., Mohamed, A. S., Elboshy, B., *Thermal performance analysis of clay brick mixed with sludge and agriculture waste*. Construction and Building Materials, **344**, 2022.
- [8] He, J., Kawasaki, S., Achal, V., *The utilization of agricultural waste as agro-cement in concrete: A review*. Sustainability, **12(17)**, 2020.
- [9] Koh, C. H. A., Kraniotis, D., *A review of material properties and performance of straw bale as building material*. Construction and Building Materials, **259**, 2020.
- [10] Loehr, R., *Agricultural waste management: problems, processes, and approaches*. Elsevier. 2013.
- [11] Magar, J., *Application of industrial and agricultural waste for sustainable construction*. International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology, **8(7)**, 2020.
- [12] Mo, K. H., Thomas, B. S., Yap, S. P., Abutaha, F., Tan, C. G., *Viability of agricultural wastes as substitute of natural aggregate in concrete: A review on the durability-related properties*. Journal of Cleaner Production, **275**, 2020.
- [13] Reno, J., *Waste and waste management*. Annual Review of Anthropology, **44**, 2015.
- [14] Shi, S., Xu, G., Yu, H., Zhang, Z., *Strategies of valorization of sludge from wastewater treatment*. Journal of Chemical Technology & Biotechnology, **93(4)**, 2018.
- [15] Souza, A. B., Ferreira, H. S., Vilela, A. P., Viana, Q. S., Mendes, J. F., Mendes, R. F., *Study on the feasibility of using agricultural waste in the production of concrete blocks*. Journal of Building Engineering, **42**, 2021.
- [16] Świerczek, L., Cieślak, B. M., & Konieczka, P., *The potential of raw sewage sludge in construction industry—a review*. Journal of cleaner production, **200**, 2018.
- [17] Zhou, Y., Trabelsi, A., El Mankibi, M., *A review on the properties of straw insulation for buildings*. Construction and Building Materials, **330**, 2022.

---

### Despre autor

Prof.univ. dr. **Gabriel POPESCU**

Centrul de Studii și Cercetări pentru Biodiversitate Agrosilvică „Acad. David Davidescu”, România.

Doctor în economie agrară. Profesor universitar și Conducător de doctorat, în domeniul economie agrară din cadrul Academiei de Studii Economice din București. Conducător de doctorat, domeniul economie și management în ramură din 2001 în cadrul Universității Agrare de Stat, Facultatea de Economie Agrară, Republica Moldova, Chișinău. Cărți, tratate și manuale: 31. Studii și articole publicate: 98, din care ISI și ISI Proceedings: 24. Proiecte de cercetare: 61, din care director/responsabil de proiect: 27. Alte participări la manifestări științifice: 56.