

<https://doi.org/10.52326/csd2024.36>

CONCRETE PRODUCED WITH THE ADDITION OF AGGREGATES FROM WASTE (GLASS WASTE, COAL ASH AND RUBBER PARTICLES)

BETOANE PRODUSE CU ADAOS DE AGREGATE PROVENITE DIN DEȘEURURI (DEȘEURURI DE STICLĂ, CENUȘĂ DE ARDERE A CĂRBUNELUI ȘI PARTICULE DE CAUCUC)

Maria-Liliana MARIAN¹, Sergiu TUZLUCOV²

Technical University of Moldova, 168 Stefan cel Mare and Sfânt Boulevard, Chisinau, Republic of Moldova

Abstract. Post-consumer glass is a major component of solid waste. On the other hand, more than 100 million tons of coal combustion ash are generated every year in the world, of which 60 million tons are airborne. To deal with these problems, new materials such as: "glass concrete" and "fly ash concrete" have been proposed worldwide. These two materials have the potential to be produced practically entirely from recycled materials: crushed recycled glass as aggregate and activated ash as agent cemented binder. The combination of glassy waste and coal incineration ash provides a viable technology for the use of industrial waste combats this urgent problem, two innovative materials have been proposed for the use of rubber particles in the concrete structure, namely: "rubberized concrete" and "rubberized concrete with sulfur". In the case of rubberized concrete, the strength losses are minimized, and the shock resistance of concrete is improved by surface treatment of rubber particles using coupling agents. In the case of sulfur rubberized concrete, waste rubber is mixed into the sulfur concrete, and the partial vulcanization process between the rubber and hot sulfur improves the strength of the concrete.

Keywords: *waste; aggregates; glass concrete; gray concrete; rubberized concrete; sulfur rubberized concrete; sustainable materials; recycle; ecology; green design.*

Abstract. Sticla post-consum reprezintă o componentă majoră a deșeurilor solide. Pe de altă parte, în fiecare an în lume sunt generate peste 100 milioane de tone de cenușă de ardere a cărbunelui, din care 60 milioane de tone sunt purtate de aer. Pentru a face față acestor probleme, la nivel mondial au fost propuse materiale noi precum: "sticlobetonul" și "cenușobetonul". Aceste două materiale au potențialul de a fi produse practic integral din materiale reciclate: sticlă reciclată zdrobită ca agregat și cenușă activată ca agent liant cementat. Combinația dintre deșeurile sticloase și cimentul Portland sau cenușa de ardere a cărbunelui oferă o tehnologie viabilă de utilizare valoroasă a deșeurilor industriale. În aceeași ordine de idei, gestionarea deșeurilor din anvelope de cauciuc prezintă o altă problemă gravă pentru mediu ambiant. Pentru a combate această problemă stringentă, au fost propuse două materiale inovative pentru utilizarea particulelor de cauciuc în structura betonului și anume: "beton cauciucat" și "beton cauciucat cu sulf". În cazul betonului cauciucat, pierderile de rezistență sunt minimizate, iar rezistența la șocuri a betonului este îmbunătățită prin tratamentul suprafeței particulelor de cauciuc folosind agenți de cuplare. În cazul betonului cauciucat cu sulf, deșeurile de cauciuc sunt amestecate în betonul cu sulf, iar procesul parțial de vulcanizare între cauciuc și sulful fierbinte îmbunătățește rezistența betonului.

Cuvinte cheie: *deșeururi; agregate; sticlobeton; cenușobeton; beton cauciucat; beton cauciucat cu sulf; materiale sustenabile; reciclare; ecologie; proiectarea verde.*

INTRODUCERE

Prezentul articol constituie un studiu al transformării deșeurilor din sticlă, cenușă de ardere a cărbunelui și deșeurilor din cauciuc, în materiale de construcție, mai exact în agregate pentru producerea betonului. Betonul pe baza cimentului Portland este cel mai utilizat material de construcție din lume. Industria betonului produce la nivel global anual aproximativ 12 miliarde de tone de beton și folosește aproximativ 1,6 miliarde de tone de ciment Portland. Pe lângă consumul unor cantități considerabile de materiale naturale (calcar și nisip) și energie, producerea fiecărei tone de ciment Portland eliberează în mediu o tonă de dioxid de carbon (CO₂). Preocupările privind dezvoltarea durabilă în industria cimentului și betonului sunt din ce în ce mai dese [1, 2]. Una dintre tehnologiile emergente ale betonului pentru dezvoltare durabilă este utilizarea materialelor „verzi” pentru construcții. Materialele „verzi” sunt considerate materiale care folosesc mai puține resurse naturale și energie și generează mai puțin CO₂. Acestea sunt durabile și reciclabile și necesită mai puțină întreținere [3]. Viitorul industriei construcțiilor se îndreaptă către tehnici, tehnologii și materiale sustenabile. Pentru a modifica practicile din domeniul construcțiilor și pentru a putea integra sistemul de proiectare ecologică, materialul de construcții cel mai des utilizat, care constituie și una dintre cele mai „verzi” opțiuni disponibile, este betonul. Betonul constituie o alegere deosebit de importantă, ce se află la dispoziția consumatorilor dispuși la utilizarea materialelor ecologice în viitoarele lor locuințe, acesta corespunzând cerințelor de protecție a mediului înconjurător, fapt pentru care poate fi, cu succes utilizat în proiectarea verde. Dezvoltarea noilor materiale, care sunt prietenoase cu mediul înconjurător, trebuie să constituie o preocupare permanentă a specialiștilor cercetători ai domeniului construcțiilor; în aceeași ordine de idei, conceperea unor soluții sustenabile ce vor permite atât reciclarea, cât și valorificarea deșeurilor, utilizate ulterior ca și materie primă în procesul de obținere a unor materiale de construcții noi. Astfel, pot fi salvate acele resurse naturale neregenerabile. În conformitate cu cerințele directivei DC2008/98/CE [1], în care este reglementat regimul deșeurilor, producătorii acestora sunt obligați să le recicleze și să le valorifice, utilizând cele mai reușite tehnici, cu impact minim asupra mediului înconjurător și asupra sănătății oamenilor. În respectiva directivă (DC2008/98/CE [1]) cu privire la deșeuri, procesul reciclării ocupă un loc primordial în ierarhia proceselor, situându-se înaintea depozitării și a incinerării.

La nivel mondial, domeniul construcțiilor este considerat responsabil de creșterea economică. Institutul de statistică Eurostat, estimează pentru primul trimestru a anului 2023 o producție în industria construcțiilor cu 3% mai mare, comparativ cu primul trimestru a anului 2022, pentru țările Uniunii Europene. Însă, această industrie, constituie una din principalele surse de poluare, pornind de la extracția materiilor prime din natură și terminând cu procesul de demolare a construcțiilor existente, emanând cantități enorme de deșeuri. Același institut de statistică, estimează pentru anul 2022, o cantitate totală a deșeurilor rezultate în urma proceselor economice și casnice, de 2957 milioane de tone, cea ce constituie cea mai ridicată valoare, ce s-a înregistrat din anul 2014 încoace [2]. Menționăm faptul că deșeurile produse în domeniul construcțiilor, sunt foarte numeroase și variate, în funcție de materialele și tehnologiile folosite dar și de structura construcției [3].

Sticlobetonul, cenușobetonul, betonul cauciucat și betonul cauciucat cu sulf, aceste materiale au potențialul de a fi produse practic integral din materiale reciclate: sticlă reciclată zdrobită ca agregat, cenușă activată ca agent liant cementat și particule reciclate de cauciuc sub formă de agregat în structura betonului. Combinația dintre deșeurile de sticlă, ori de cenușă de ardere a cărbunelui, ori de cauciuc și cimentul Portland oferă o tehnologie viabilă de utilizare valoroasă a deșeurilor industriale.

I. Sticlobetonul: Betonul cu bază de ciment portland și agregate de sticlă reciclată.

Sticla post-consum reprezintă o componentă majoră a deșeurilor solide. Metodele moderne de colectare a deșeurilor de sticlă sunt limitate, ceea ce face ca doar o mică parte a acestui tip de deșeuri să poată fi utilizată direct în industria îmbutelierii. Această problemă este extrem de gravă în marile așezări urbane, unde sunt colectate anual peste 100000 de tone de deșeuri de sticlă, iar această cantitate nu include deșeurile de sticlă provenite din companiile industriale și comerciale. Sticla este un produs indispensabil în viața cotidiană. Constatăm faptul creșterii necesarului de sticlă, ca urmare a modalităților de folosire, direct proporțional cu cantitatea de deșeurilor [4]. Aceasta fiind

indestructibilă pe cale naturală și un material inert în gropile de gunoi, este extrem de nocivă pentru mediul ambiant.

Pentru a rezolva această problemă a fost propus un material nou și anume "sticlobetonul" (vezi figura 1). Studiile arată că pe piața deșeurilor de sticlă există peste 70% din totalul de sticlă, care ar putea fi refolosită. Cele mai importante utilizări sunt: asfaltul de sticlă, fibra de sticlă, materialul de umplutură din sticlă și drenajul. Există multe avantaje în utilizarea agregatelor din deșeuri de sticlă, printre care se numără utilizarea lor extensivă în domeniul arhitectural. Sticlobetonul are un aspect foarte atractiv datorită particulelor fine și colorate de sticlă, ceea ce îl face potrivit pentru diverse soluții arhitecturale și decorative.

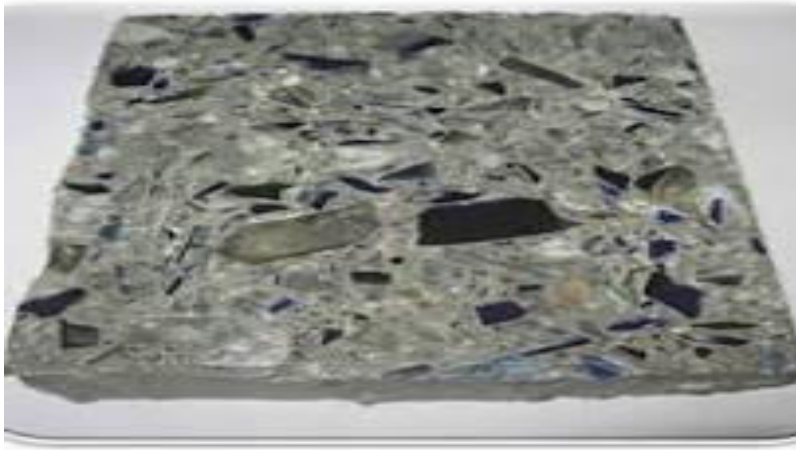


Figura 1. Beton cu bază de ciment portland și agregate de sticlă reciclată.

Inginerul român, chimistul, Gheorghe Petcu, în anul 1997 a realizat betonul cu agregate din sticlă [5], beton care s-a dovedit a avea o rezistență înaltă la compresiune (314 daN/cm²) dar dovedindu-se, pe baze experimentale, a avea o rezistență redusă, privind încercările fizico-mecanice de scurtă și lungă durată. Un studiu similar, al prof. dr. ing. Maria Gheorghe, a fost efectuat, privind acțiunea chimică a sticlei și comportarea în mediu alcalin produs la reacția de hidratare a cimentului [6]. Înlocuire parțială a agregatului natural cu deșeuri din sticlă în betonul pe bază de cimentul portland a fost studiată de către Meyer [7].

Există multe avantaje în utilizarea agregatelor din deșeuri de sticlă, printre care se numără: impermeabilitatea sporită, rezistența la îngheș-dezghet, rezistența la uzură și posibilitatea utilizării lor extensive în domeniul construcțiilor. Totuși, deoarece sticla este un material reactiv și este adăugată în cimentul Portland, apare o problemă de lungă durată numită reacția alcalisilică [8, 9].

Așadar, mecanismele de suprimare a reacțiilor alcalisilice necesită studii suplimentare.

II. Cenușobetonul. Beton cu cenușă activată

În fiecare an în lume sunt generate peste 100 milioane de tone de cenușă de ardere a cărbunelui, din care 60 milioane de tone sunt purtate de aer. Doar aproximativ 27% din cenușa produsă este reciclată și refolosită, restul fiind depozitat sub sol poluând mediul. Astfel, în rezolvarea acestei probleme este propus un nou material și anume "cenușobetonul". În raportul European Coal Combustion Products Association [10], sunt scoase în evidență atât domeniile, cât și gradul de utilizare a cenușii de ardere a cărbunelui. Construcția drumurilor, industria cimentului Portland și fabricarea betonului, acupă o pondere însemnată în reciclarea cenușii active.

Condițiile deosebit de dificile și de solicitare la care sunt supuse structurile rutiere ce au îmbrăcăminte din beton de ciment, atât în ce privește traficul, cât și din punct de vedere al acțiunii factorilor climaterici, impun o atenție deosebită din partea constructorilor de drumuri.

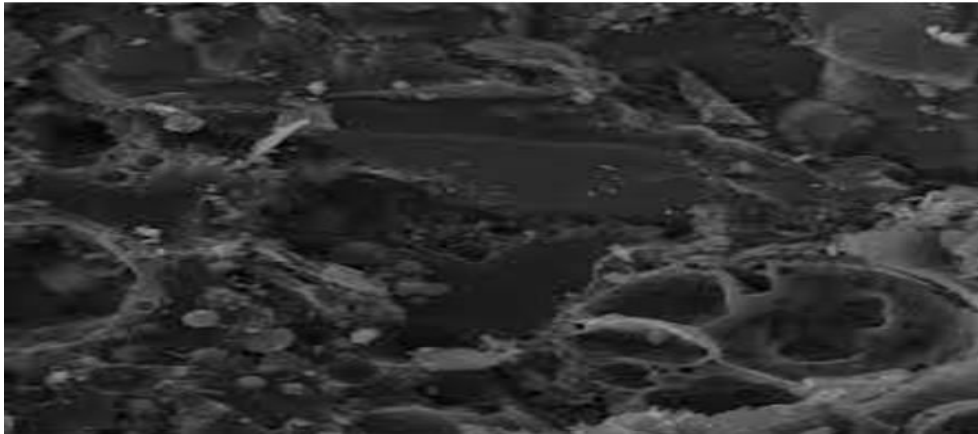


Figura 2. Beton cu cenușă activată

Astfel, betonul pe bază de ciment Portland, utilizat la realizarea îmbrăcăminților rutiere, trebuie să corespundă unor cerințe deosebite în asigurarea a o serie întreagă de proprietăți, ce sunt impuse de natura condițiilor în care lucrează precum: rezistență ridicată la șocuri și la încovoiere, contracții minime, permeabilitate scăzută, rezistență la gelivitate, modul de elasticitate sporit și uzură prin frecare redusă. De asemenea, betonul rutier trebuie să posede capacitatea de deformare elastică, la acțiunea solicitărilor variabile în timp, iar ca mărime caracteristică, traficul la care este supus. Cenușobetonul îndeplinește cel mai bine aceste cerințe (vezi Figura 2.). Cenușobetonul are o rezistență foarte ridicată la compresiune, ceea ce îl face unic pentru aplicații în industria betonului prefabricat [11].

III. Betonul cauciucat (BC) și betonul cauciucat cu sulf (BCS)

În aceeași ordine de idei, gestionarea deșeurilor provenite de la anvelopele de cauciuc, prezintă o altă problemă gravă pentru mediul ambiant. Fluxul constant de anvelope uzate, împreună cu cele 2-3 miliarde de anvelope uzate deja acumulate în depozite și gropi de gunoi, au creat probleme masive de stocare și depozitare. Pentru multe state, re folosirea deșeurilor de cauciuc reprezintă un obiectiv major pe termen lung. Pentru a combate această problemă stringentă, mai mulți oameni de știință [12], au efectuat încercări de a folosi particulele reciclate de cauciuc sub formă de agregat în structura betonului. Astfel au fost propuse două materiale inovative pentru utilizarea particulelor de cauciuc în structura betonului și anume: ”betonul cauciucat” și ”betonul cauciucat cu sulf”. Principalele avantaje ale betonului cauciucat includ duritatea și ductibilitatea sporită în comparație cu betonul simplu, densitatea redusă și, în comparație cu alte metode de reciclare, precum folosirea deșeurilor de cauciuc ca și combustibil în fabricile de ciment, betonul cauciucat utilizează la maximum proprietatea particulelor de cauciuc de a absorbi energia de impact. În cazul betonului cauciucat, pierderile de rezistență sunt minimizate, iar rezistența la șocuri a betonului este îmbunătățită prin tratamentul suprafeței particulelor de cauciuc folosind agenți de cuplare. Pentru a studia efectul dimensiunii particulelor de cauciuc asupra proprietăților mecanice ale BC, au fost utilizate două tipuri de particule de cauciuc de diferite dimensiuni (mari și mici) (vezi Figura 3.). Dimensiunea medie a particulelor mari este de 4,12 mm, iar dimensiunea medie a particulelor mici este de 1,85 mm. Rezultatele testelor au indicat faptul că dimensiunile particulelor utilizate în acest studiu nu au niciun efect asupra rezistenței la compresiune a BC. Raportul apă-ciment scăzut crește semnificativ rezistența mortarului modificat cu cauciuc. Pretratarea cu cenușă de siliciu 8% pe suprafața particulelor de cauciuc poate îmbunătăți proprietățile mortarului modificat cu cauciuc [13, 14]

În general, legătura dintre particulele de cauciuc și beton poate fi îmbunătățită prin creșterea interacțiunilor electrostatice și/sau facilitarea legăturilor chimice. Acest studiu [12, 13, 14], demonstrează faptul că particulele de cauciuc au fost pretratate cu agenți de cuplare, iar metoda s-a dovedit a fi foarte eficientă pentru îmbunătățirea proprietăților mecanice ale BC. Rezultatele generale ale studiului arată că utilizarea agenților de cuplare corespunzători pentru tratarea suprafeței particulelor de cauciuc este o tehnică promițătoare, care produce un material de înaltă performanță potrivit pentru multe aplicații ingineresti.



**Figura 3: (a) Particule mari de cauciuc cu dimensiunea medie de 4,12 mm
(b) Particule mici de cauciuc cu dimensiunea medie de 1,85 mm**

Betonul cauciucat cu sulf (BCS) este o idee inovatoare [12, 15]. În betonul cu cauciuc și sulf, sulful topit, înlocuiește cimentul Portland ca liant. Din acest motiv, betonul este numit beton cauciucat cu sulf, deoarece nu conține ciment Portland. Producția betonului cu sulf este un proces similar cu cel folosit pentru fabricarea asfaltului. Betonul cu sulf poate fi produs într-o stație de asfalt modificată sau într-o instalație de mixare continuă. Atunci când în betonul cu sulf se folosește cauciuc pentru a înlocui o parte din agregatele naturale, procesul de amestecare la cald determină vulcanizarea agregatelor de cauciuc, adică reacționează cu sulful la o temperatură de aproximativ 140°C. Deși cinetica reacției nu permite vulcanizarea completă pe suprafața particulelor de cauciuc în condițiile de amestecare a betonului, matricea de sulf prezintă totuși o afinitate bună față de cauciuc. Această caracteristică ajută la crearea unei legături mai bune între cele două faze (vezi Figura 4.), decât legătura dintre cauciuc și pasta de ciment Portland. Ca rezultat, rezistența betonului cu cauciuc și sulf este mai mare decât rezistența betonului obișnuit cu agregate de cauciuc [15].

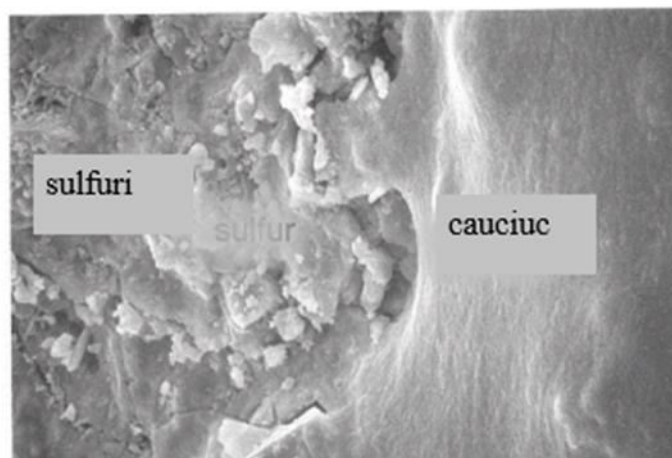


Figura 4. Interfața dintre particulele de cauciuc și matricea de sulf

În cazul betonului cauciucat cu sulf, deșeurile de cauciuc sunt amestecate în betonul cu sulf, iar procesul parțial de vulcanizare între cauciuc și sulful fierbinte îmbunătățește rezistența betonului.

Concluzie

În scopul reutilizării deșeurilor solide, cum ar fi sticla, cenușa de la arderea cărbunelui și particulele de cauciuc din anvelope uzate, au fost efectuate studii experimentale ample pentru dezvoltarea a patru tipuri diferite de noi betoane: sticlobeton, cenușbeton, beton cauciucat și beton cauciucat cu sulf. Rezultatele experimentale arată că fiecare tip de beton are proprietăți unice, cu potențial de utilizare în diverse aplicații. Utilizarea unor asemenea tipuri de betoane permite elaborarea unor soluții inovative și ecologice, care vor conduce la o reducere semnificativă a

consumului de resurse naturale neregenerabile, cât și a impactului asupra mediului ambiant. Utilizarea deșeurilor la producerea materialelor și produselor pentru construcții (ex. deșeurile reciclate de sticlă, cenușă de cărbune și cauciuc), duce la reducerea semnificativă a poluării mediului, inclusiv reducerea emisiilor de carbon, prin înlocuirea parțială a cimentului Portland. Reciclarea deșeurilor provenite din construcții și reducerea cantităților de ciment Portland în amestec, conferă statutul de beton ecologic / beton verde.

Apariția unor produse comerciale care utilizează deșeuri din numeroase ramuri industriale este una dintre soluții, pentru a obține un viitor sustenabil pentru umanitate.

Recunoștințe: Prezentul articol a fost realizat în cadrul proiectului de cercetare nr. 020408 ”Cercetări privind Asigurarea Dezvoltării Durabile și Creșterii Competitivității Republicii Moldova în Context European”.

Referințe

1. DC2008/98/CE Directiva cadru – Directiva a Parlamentului European și a Consiliului privind dese-urile, din 19 noiembrie 2008 cu completari în 2014.
2. European Commission. Eurostat Waste statistics. [online]. 2023. [accesat 10.09.2024]. Disponibil: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics.
3. Merino, M. R., Gracia, P. I. and Azevedo, I. S. W. Sustainable construction: construction and demolition waste reconsidered. *Waste Management & Research*. 2010, Vol. 28.
4. Rindl J., Report by Recycling Manager, Dane County, Dept. of Public Works, Madison, USA, August, 1998;
5. O. Corbu, A. M. Ioani, Mohd Mustafa Al Bakri Abdu-llah, V. Meita, H. Szilagy, A. V. Sandu, The Pozzolanic activity level of powder waste glass in comparisons with other powders, *Key Engineering Materials*, Vol. 660: Innovative Materials and Engineering Research, DOI: 10.4028 / www.scientific.net/ KEM.660.237, pp. 237-243, August, 2015
6. Gheorghe M., Saca N., Radu L. & Potera S G., Valorificarea deșeurilor de sticla, *Revista Romana de Materiale*, Vol. 38 / issue 1, pp. 57-68, 2008;
7. Meyer, C., and Xi, Y. “Use of Recycled Glass and Fly Ash for Precast Concrete.” *Journal of Materials in Civil Engineering*, 11(2), May 1999, 89-90.
8. NYSERDA (New York State Energy Research and Development Authority). Use of Recycled Glass for Concrete Masonry Blocks. Report 97-15, Nov. 1997.
9. NYSERDA (New York State Energy Research and Development Authority). Use of Recycled Glass and Fly Ash for Precast Concrete. Final Report 98-18, Oct. 1998.
10. Power materials for construction (ECOBA). [online]. [accesat 10.09.2024]. Disponibil: https://www.ecoba.com/evjm,media/who/ecoba_construction_Leaflet10_15_web.pdf
11. Utilizarea cenusii de termocentrala captata uscat la realizarea betoanelor rutiere 30.04.2024 *Revista Constructiilor revista specialistilor in constructii*. [online]. 2024, [accesat 15.09.2024]. Disponibil: <https://www.revistaconstructiilor.eu/index.php/2014/11/01/utilizarea-cenusii-de-termocentrala-captata-uscat-la-realizarea-betoanelor-rutiere/>
12. Xi, Y., Li, Y., Xie, Z.H., and Li, Z.J. High Toughness of Rubber-Modified Concrete (RMC). Final Report CU/SR-XI-2003/002. Colorado Commission of Higher Education, [online]. 2003a, 63 p. [accesat 23.09.2024]. Disponibil: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=11c59bd3aebf9bf2b8860347f10254e122704a9d>
13. Li, Y., and Xi, Y. “Microstructure and Properties of Rubber-Modified Portland Cement Mortar.” To be submitted to *ACI Materials Journal*, [online]. 2003a, [accesat 23.09.2024]. Disponibil: https://www.academia.edu/26265552/Utilization_of_Solid_Wastes_Waste_Glass_and_Rubber_Particles_as_Aggregates_in_Concrete?uc-sb-sw=102038732
14. Li, Y., and Xi, Y. “Improving Strength and Toughness of Rubber-Modified Concrete.” Submitted to *Cement and Concrete Research*, [online]. 2003b, [accesat 05.10.2024]. Disponibil: https://www.researchgate.net/publication/237383120_Utilization_of_solid_wastes_waste_glass_or_rubber_particles_as_aggregate_in_concrete
15. Xi, Y., Li, Y., Xie, Z.H., and Lee, J.S. “Mix Designs and Processing Techniques for Sulfur Rubber Concrete.” Submitted to *Cement and Concrete Research*, [online]. 2003b, [accesat 05.10.2024]. Disponibil: https://www.academia.edu/26265552/Utilization_of_Solid_Wastes_Waste_Glass_and_Rubber_Particles_as_Aggregates_in_Concrete?uc-sb-sw=102038732