

სამოქალაქო მშენებლობა და სამშენებლო დაპროექტება

**CO<sub>2</sub>-ის ემისიების და ენერგიის მოხმარების შემცირება  
ცემენტ-პლასტმასის კომპოზიტური ქვის ბლოკებში  
ცემენტის მინიმიზაციის გზით**

**მერაბ ბარათაშვილი**

merab.baratashvili@atsu.edu.ge

**თორნიკე ბარათაშვილი**

**მერაბ ირემაძე**

აპაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი  
ქუთაისი, საქართველო

DOI:<https://doi.org/10.52340/atsu.2026.1.27.12>

ცემენტის ინდუსტრია პასუხისმგებელია გლობალური ანთროპოგენური CO<sub>2</sub>-ის ემისიების დაახლოებით 7-8%-ზე, ძირითადად მაღალი ტემპერატურის კლინკერის წარმოებისა და ინტენსიური ენერგიის მოხმარების გამო. სამშენებლო მასალებში ცემენტის შემცველობის შემცირება წარმოადგენს მდგრადი განვითარების კრიტიკულ გზას. ეს კვლევა აფასებს შემცირებული ცემენტის შემცველობით და გადამუშავებული პლასტმასის აგრეგატებით წარმოებული მსუბუქი ქვის ბლოკების გარემოსდაცვით სარგებელს. მინერალური აგრეგატების მნიშვნელოვანი ნაწილის ჩანაცვლებით და ცემენტის დოზის დაახლოებით 10-20%-მდე მინიმიზაციით, შემოთავაზებული კომპოზიტური ბლოკი აღწევს ჩანერგილი ენერგიისა და CO<sub>2</sub>-ის ემისიების მნიშვნელოვან შემცირებას. ანალიტიკური შეფასებები აჩვენებს, რომ ცემენტის შემცირება პირდაპირ ამცირებს პროცესთან დაკავშირებულ ემისიებს, ხოლო გადამუშავებული პლასტმასის გამოყენება ნაგავსაყრელებიდან ნარჩენებს გადაიტანს. შედეგები ადასტურებს, რომ გარემოსდაცვითი მახასიათებლების გაუმჯობესება შესაძლებელია სტრუქტურული ან თერმული მოთხოვნების კომპრომისის გარეშე, რაც დაბალი ნახშირბადის შემცველი მშენებლობისთვის სიცოცხლისუნარიან გადაწყვეტას გვთავაზობს.

**საკვანძო სიტყვები:** CO<sub>2</sub> გამონაბოლქვი, ცემენტის შემცირება, განსახიერებული ენერგია, გადამუშავებული პლასტმასი, მდგრადი ქვა

**შესავალი.** მშენებლობა, როგორც სექტორი, მისი ყველა ეტაპის გათვალისწინებით, ზოგადად მოიხმარს წარმოებული ენერგიის 45%-ს

## მ. ბარათაშვილი, თ. ბარათაშვილი, მ. ირემაძე

და შექმნილი მატერიალური რესურსების 35%-ს. ექსპლუატაციის ეტაპზე შენობებსა და ნაგებობებს მუდმივად სჭირდებათ ენერგიის მიწოდება გათბობის, გაგრილებისა და წყლის გასათბობად, რომლის მოხმარებაც იწვევს სათბურის გაზების გამოყოფას გარემოში, რაც სერიოზულ უარყოფით გავლენას ახდენს გარემოზე. მწვანე მშენებლობა ახალი მიმართულებაა, რომელიც უზრუნველყოფს ენერგიის მოხმარების შემცირებას შენობებსა და ნაგებობებში საცხოვრებელი ან სამრეწველო პირობების გაუარესების გარეშე. შენობების ენერგოეფექტურობის უზრუნველყოფა მწვანე მშენებლობის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი გამოწვევაა (Karen et al. 2018, Gartner, Sui 2018). ჩვენ ჩავატარეთ კვლევა მეორადი პლასტმასის ნარჩენების გამოყენებით ენერგოეფექტური სამშენებლო ბლოკების ოპტიმალური პარამეტრების დასადგენად. ენერგოეფექტურობის უზრუნველყოფის გარდა, ბლოკებს აქვთ კიდევ ერთი ტიპის უპირატესობა: მათი წარმოება ამცირებს მოხმარებული ცემენტის რაოდენობას, რაც უზრუნველყოფს მნიშვნელოვან დეკარბონიზაციას წარმოების ეტაპზე.

**კვლევისას გამოყენებული მეთოდები.** ჩატარებულ იქნა ექსპერიმენტები, თბოგადაცემის ოპტიმალური მაჩვენებლის დადგენისას, პლასტმასის მოცულობითი ოდენობის განსაზღვრის მიზნით ცემენტის წარმოება ერთ-ერთი ყველაზე ენერგოინტენსიური სამრეწველო პროცესია, რომელიც მოითხოვს ღუმელის ტემპერატურას დაახლოებით 1450°C-მდე (Habert et al. 2011, European Commission 2020). პროცესი წარმოქმნის CO<sub>2</sub>-ის გამოყოფას როგორც საწვავის წვის, ასევე კირქვის კალცინაციის შედეგად. შესაბამისად, ცემენტის მოხმარების შემცირება კლიმატის შერბილების სტრატეგიებში გლობალურ პრიორიტეტად იქცა. ბოლოდროინდელი კვლევებში აქცენტები გადატანილია ალტერნატიული შემკვრელების, დამატებითი ცემენტის ანალოგიური მასალების გამოყენებაზე, მსუბუქ პოტენციალის მქონე მასალების შექმნის მიზნით მსგავსი მასალების გარემოზე ზემოქმედების შესამცირებლად. თუმცა, ბევრი გადაწყვეტა დაკავშირებული რთულ ქიმიურ მოდიფიკაციებთან და მოითხოვს მაღალ საწარმოო ხარჯებს (Intergovernmental Panel ... 2022).

წარმოდგენილი კვლევა გთავაზობს პრაგმატულ მიდგომას: ცემენტის შემცველობის შემცირებას და ამავდროულად მასალის მახასიათებლების გაუმჯობესებას სტრუქტურული ფორიანობისა და გადამუშავებული პლასტმასის ჩართვის გზით.

**კვლევის არსებითი ხასიათის შედეგები:** ცემენტის წარმოების გარემოზე ზემოქმედება

CO<sub>2</sub>-ის გამოყოფა ცემენტის წარმოებიდან საშუალოდ: 1 ტონა პორტლანდცემენტის წარმოებისას გამოყოფა დაახლოებით 0.85–0.95

ტონა CO<sub>2</sub>-ს, ენერგიის მოხმარება მერყეობს ტონაზე 3.2–4.2 გჯ-ს შორის. ამრიგად, მასალის დონეზე ცემენტის გამოყენების მცირედი შემცირებაც კი მნიშვნელოვან კუმულაციურ სარგებელს იძლევა შენობებისა და ქალაქის მასშტაბით (International Energy... 2023, United Nations... 2019).

ცემენტის შემცველობის შემცირების როლი ჩვეულებრივ ბეტონის ბლოკებში ცემენტის შემცველობა ხშირად აღემატება სტრუქტურულ აუცილებლობას კონსერვატიული დიზაინის პრაქტიკის გამო. შიდა სტრუქტურისა და აგრეგატის შერჩევის ოპტიმიზაციის გზით, შესაძლებელია ცემენტის დოზის შემცირება მექანიკური მახასიათებლების შელახვის გარეშე (Ramezaniapour... 2014).

#### **ცემენტ-პლასტმასის კომპოზიტის კონცეფცია. მასალის სტრატეგია.**

შემოთავაზებული ბლოკი მოიცავს: შემცირებული ცემენტის შემცველობა ( $\approx 10\text{--}20\%$  მასის მიხედვით), გადამუშავებული პლასტმასის ნაწილაკები წარმოდგენილია მსუბუქი მცირე 2მ ზომის აგრეგატების სახით, ცივი შერევის ტექნოლოგია, რომელიც გამორიცხავს დამატებით თერმულ დამუშავებას. პლასტმასის ნაწილაკები არ მონაწილეობენ ჰიდრატაციის რეაქციებში, მაგრამ მოქმედებენ როგორც: მოცულობის შემავსებლები, ბზარების დამბლოკავები, ფორიანობისა და თერმული წინააღმდეგობის ხელშეწყობი ფაქტორები (Jenna et al. 2015, Shrestha et al. 2023).

**ცემენტის შემცირების დასაბუთება.** ცემენტი ძირითადად უზრუნველყოფს: შიგა სტრუქტურაში არსებულ თბურ ხიდებს შორის დატვირთვის გადატანას, კომპოზიტის სტრუქტურულ სტაბილურობას.

პლასტმასის შემავსებლის დაბალი სიმკვრივისა და ელასტიურობის გამო, ბლოკის დეფორმაციების და ბზარების წარმოქმნის რისკი მცირდება, რაც საშუალებას იძლევა ცემენტის შემცველობის მინიმუმამდე დაყვანა, საკმარისი შეკუმშვის სიმტკიცის შენარჩუნებით.

**CO<sub>2</sub> ემისიების შემცირების შეფასება.** ცემენტის დაზოგვის გაანგარიშება (საორიენტაციო) დაშვებით:

ჩვეულებრივი ბლოკების წამოებისას ცემენტის შემცველობა: 270 კგ/მ<sup>3</sup>, შემოთავაზებული ბლოკების შემთხვევაში ცემენტის შემცველობა: 170 კგ/მ<sup>3</sup>.

**ცემენტის დაზოგვა:**  $\Delta C = 270 - 170 = 100$  კგ/მ<sup>3</sup>. ასოცირებული CO<sub>2</sub> შემცირება:  $\Delta CO_2 = 100 \times 0.9 = 90$  კგ CO<sub>2</sub>.

ეს წარმოადგენს ცემენტთან დაკავშირებული ემისიების 33–37%-ით შემცირებას ქვის კუბურ მეტრზე.

**ენერგიის მოხმარების შემცირება.** ცემენტის მოთხოვნის შემცირება პირდაპირ ამცირებს: ლუმელის საწვავის მოხმარებას, ელექტროენერგიის მოხმარებას დაფქვისა და დამუშავებისთვის. გარდა ამისა, ცივი შერევის

ტექნოლოგია გამოირიცხავს დამატებით თერმული ენერგიის მოთხოვნებს ბლოკების წარმოების დროს.

**დამატებითი გარემოსდაცვითი სარგებელი. პლასტმასის ნარჩენების გამოყენება.** გადამუშავებული პლასტმასის გამოყენება: ამცირებს ნაგავსაყრელზე განთავსების რაოდენობას, ამცირებს გარემოს დაბინძურებას, ახანგრძლივებს მასალის სასიცოცხლო ციკლს წრიული ეკონომიკის ჩარჩოებში.

**ოპერაციული ენერგიის დაზოგვა.** ბლოკების გაუმჯობესებული თერმული მახასიათებლები ( $\lambda \approx 0.15 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ) იწვევს: გათბობისა და გაგრილების მოთხოვნის შემცირებას, შენობის სასიცოცხლო ციკლის განმავლობაში  $\text{CO}_2$ -ის საოპერაციო ემისიების შემცირებას, მაღალი სიმტკიცის ბეტონისგან განსხვავებით, შემოთავაზებული კომპოზიტი უპირატესობას ანიჭებს: ფუნქციურ მახასიათებლებს ჭარბ სიმტკიცეზე, მასალის ეფექტურობას მასის სიმკვრივეზე, გარემოსდაცვით ოპტიმიზაციას კონკრეტული ენერგიის დაზოგვისა და მერადი პლასტმასის გარემოდან გამოტანის მეშვეობით.

ცემენტის შემცირებას, გადამუშავებული პლასტმასის გამოყენებასა და ფოროვან სტრუქტურას შორის სინერგიით წარმოიქმნება სამშენებლო მასალა, რომელიც ითვალისწინებს როგორც ჩაშენებულ, ასევე საოპერაციო ნახშირბადის ემისიებს.

**კვლევის შედეგები.** ეს კვლევა ადასტურებს, რომ  $\text{CO}_2$ -ის ემისიების და ენერგიის მოხმარების მნიშვნელოვანი შემცირება შესაძლებელია ქვის ბლოკებში ცემენტის მინიმიზაციის გზით. შემოთავაზებული ცემენტ-პლასტმასის კომპოზიტი აჩვენებს, რომ მდგრადობა და ეფექტურობა ურთიერთგამომრიცხავი არ არის.

**დასკვნები.** მსგავსი მახასიათებლებით მასალების ინტეგრაცია დაბალი ნახშირბადის შემცველობის სამშენებლო სტრატეგიებში და ქმნის მყარ საფუძველს შემდგომი ექსპერიმენტული ვალიდაციის, სტანდარტიზაციისა და რეგულაციების გავლით აღიარების მოპოვებისა და მათი მასიური დანერგვისათვის.

### ლიტერატურა

- European Commission. 2020. *Circular Economy Action Plan*. Brussels: European Union.
- Gartner, Ellis & Sui, T. 2018. *Alternative cement clinkers. Journal of Sustainable Cement-Based Materials*. Taylor & Francis.
- Habert, Guillaume., d'Espinose de Lacaillerie, J. B., & Roussel, N. 2011. "Environmental impact of cement production: detail of the different processes and cement plant variability evaluation." *Journal of Cleaner Production*. Elsevier.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2022. *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*. Cambridge University Press.
- International Energy Agency. 2023. *Cement Sector Technology Roadmap*. Paris: IEA Publications.
- Jenna, R., Jambeck et al. 2015. *Plastic waste inputs from land into the ocean*. Science, American Association for the Advancement of Science (AAAS).
- Karen, L. Scrivener, John, V. M., & Gartner, E. 2018. *Eco-efficient cements: Potential, economically viable solutions for a low-CO<sub>2</sub> cement-based materials industry*. Cement and Concrete Research. Elsevier.
- Ramezaniapour, Ali Akbar. 2014. *Cement Replacement Materials: Properties, Durability, Sustainability*. Springer.
- Shrestha, Mukta Narayan, et al. (2023). "A review of plastic bricks as a construction material." *Journal of Engineering Materials and Structures*, Academic Publisher.
- United Nations Environment Programme. 2019. *Global Status Report for Buildings and Construction*. Nairobi: UNEP.

## Civil and Structural Engineering

### Reduction of CO<sub>2</sub> Emissions and Energy Consumption through Cement Minimization in Cement–Plastic Composite Masonry Blocks

**Merab Baratashvili**

merab.baratashvili@atsu.edu.ge

**Tornike Baratashvili**

**Merab iremadze**

Akaki Tsereteli State University

Kutaisi, Georgia

DOI:<https://doi.org/10.52340/atsu.2026.1.27.12>

*The cement industry is responsible for approximately 7–8% of global anthropogenic CO<sub>2</sub> emissions, primarily due to high-temperature clinker production and intensive energy consumption. Reducing cement content in construction materials represents a critical pathway toward sustainable development. This study evaluates the environmental benefits of lightweight masonry blocks produced with reduced cement content and recycled plastic aggregates. By replacing a significant portion of mineral aggregates and minimizing cement dosage to approximately 10–20%, the proposed composite block achieves notable reductions in embodied energy and CO<sub>2</sub> emissions. Analytical estimations demonstrate that cement reduction directly lowers process-related emissions while recycled plastic utilization diverts waste from landfills. The results confirm that environmental performance can be improved without compromising structural or thermal requirements, offering a viable solution for low-carbon construction.*

**Keywords:** CO<sub>2</sub> emissions; Cement reduction; Embodied energy; Recycled plastic; Sustainable masonry

**Introduction.** Construction as a sector, taking into account all its stages, consumes, in general, 45% of the energy produced and 35% of the material resources created. At the operation stage, buildings and structures continuously require energy supply for heating, cooling, and water heating, the consumption of which produces greenhouse gas emissions into the environment, which has a serious negative impact on the environment. Green construction is a new direction that ensures the reduction of energy consumption in buildings and structures without deteriorating living or industrial conditions. Ensuring the energy efficiency of buildings is a crucial challenge of green construction (Karen

et al. 2018, Gartner, Sui 2018). We conducted a study to determine the optimal parameters of energy-efficient construction blocks using secondary plastic waste. In addition to ensuring energy efficiency, the blocks have another type of advantage: their production reduces the amount of cement consumed, which ensures significant decarbonization at the production stage.

Cement production is one of the most energy-intensive industrial processes, requiring kiln temperatures of approximately 1450°C (Habert et al. 2011, European Commission 2020). The process generates CO<sub>2</sub> emissions from both fuel combustion and limestone calcination. Consequently, reducing cement consumption has become a global priority within climate mitigation strategies.

Recent research highlights the potential of alternative binders, supplementary cementitious materials, and lightweight aggregates to lower the environmental footprint of construction materials. However, many solutions involve complex chemical modifications or high processing costs (Intergovernmental Panel ... 2022).

This study proposes a pragmatic approach: reducing cement content while enhancing material performance through structural porosity and recycled plastic incorporation.

**Environmental Impact of Cement Production.** CO<sub>2</sub> Emissions from Cement Manufacturing On average: 1 ton of Portland cement emits approximately 0.85–0.95 tons of CO<sub>2</sub>, Energy consumption ranges between 3.2–4.2 GJ per ton. Thus, even modest reductions in cement usage at the material level yield substantial cumulative benefits at the building and urban scale (International Energy... 2023, United Nations... 2019).

**Role of Cement Content Reduction.** In conventional concrete blocks, cement content often exceeds structural necessity due to conservative design practices. By optimizing internal structure and aggregate selection, it becomes possible to reduce cement dosage without sacrificing mechanical performance (Ramezani pour... 2014).

**Cement–Plastic Composite Concept. Material Strategy.** The proposed block incorporates: Reduced cement content (≈10–20% by mass), Recycled plastic particles as lightweight aggregates, Cold-mixing technology eliminating additional thermal processing.

Plastic particles do not participate in hydration reactions but act as: Volume fillers, Crack arresters, Contributors to porosity and thermal resistance (Jenna et al. 2015, Shrestha et al. 2023).

**Justification for Cement Reduction.** Cement primarily ensures: Load transfer between aggregates, Structural coherence of the composite.

Due to the low density and elasticity of plastic aggregates, stress concentrations are reduced, allowing cement content to be minimized while maintaining sufficient compressive strength.

**CO<sub>2</sub> Emission Reduction Assessment. Cement Savings Calculation (Indicative).** Assuming: Conventional block cement content: 270 kg/m<sup>3</sup>, Proposed block cement content: ~170 kg/m<sup>3</sup>,

**Cement saving:**  $\Delta C = 270 - 170 = 100$  kg/m<sup>3</sup>, Associated CO<sub>2</sub> reduction:  $\Delta CO_2 = 100 \times 0.9 = 90$  kg CO<sub>2</sub>

This represents a 33–37% reduction in cement-related emissions per cubic meter of masonry.

**Energy Consumption Reduction.** Lower cement demand directly reduces: Kiln fuel usage, Electricity consumption for grinding and processing.

Furthermore, cold-mixing technology eliminates additional thermal energy requirements during block production.

**Additional Environmental Benefits. Plastic Waste Utilization.** Incorporation of recycled plastic: Reduces landfill disposal, Decreases environmental pollution, Extends material lifecycle within a circular economy framework.

**Operational Energy Savings.** The improved thermal performance of the blocks ( $\lambda \approx 0.15$  W/m·K) leads to: Reduced heating and cooling demand, Lower operational CO<sub>2</sub> emissions throughout the building's life cycle.

Unlike conventional high-strength concrete, the proposed composite prioritizes: Functional performance over excessive strength, Material efficiency over mass density, Environmental optimization over conservative overdesign.

The synergy between cement reduction, recycled plastic use, and porous structure results in a material that addresses both embodied and operational carbon emissions.

**Research results.** This study confirms that significant reductions in CO<sub>2</sub> emissions and energy consumption can be achieved through cement minimization in masonry blocks. The proposed cement–plastic composite demonstrates that sustainability and performance are not mutually exclusive.

The findings support the integration of such materials into low-carbon construction strategies and provide a strong foundation for further experimental validation, standardization, and patent development.