ROAD INFRASTRUCTURE AND ECOLOGICAL CHALLENGES

საგზაო ინფრასტრუქტურა და ეკოლოგიური გამოწვევები

Manuchar Shishinashvili[1]

[1]*Georgian Technical University, Civil Engineering Faculty, Road Department, Tbilisi, Georgia*

[1]*NO: https://orcid.org/0009-0007-4432-4428*

Giorgi Chubinidze[2]

[2]*Georgian Technical University, Civil Engineering Faculty, Road Department, Tbilisi, Georgia*

[2]*NO: https://orcid.org/0009-0007-9363-4027*

მანუჩარ შიშინაშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო

https://orcid.org/0009-0007-4432-4428

გიორგი ჩუბინიძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო

https://orcid.org/0009-0007-9363-4027

რეზიუმე

საგზაო ინფრასტრუქტურა თანამედროვე ეკონომიკური და სოციალური განვითარების ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს საფუძველს წარმოადგენს, თუმცა მისი მშენებლობა და ექსპლუატაცია გარემოზე მნიშვნელოვან ზემოქმედებას ახდენს. ნაშრომში განხილულია საგზაო ინფრასტრუქტურასთან დაკავშირებული ძირითადი ეკოლოგიური გამოწვევები, მათ შორის ჰაერის დაბინძურება, სატრანსპორტო ხმაური, ზედაპირული ჩამონადენის შედეგად წყლისა და ნიადაგის დაბინძურება. განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა ავტოტრანსპორტის ემისიებს, გზის საფარისა და საბურავების ცვეთით წარმოქმნილ ნაწილაკებს, აგრეთვე მძიმე მეტალებისა და ნავთობპროდუქტების გარემოში მოხვედრის რისკებს. წარმოდგენილია თანამედროვე საინჟინრო მიდგომები, რომლებიც მიმართულია ეკოლოგიური ზემოქმედების შემცირებისკენ, მათ შორის დაბალხმაურიანი და წყალგამტარი საფარები, რეციკლირებული მასალების გამოყენება, ეფექტიანი სადრენაჟო სისტემები, მწვანე ინფრასტრუქტურა და ინტელექტუალური სატრანსპორტო სისტემები. ასევე განხილულია საერთაშორისო გამოცდილება და მდგრადი საგზაო ინფრასტრუქტურის განვითარების პრინციპები. ნაშრომი ხაზს უსვამს გარემოსდაცვითი მოთხოვნების ინტეგრირების მნიშვნელობას გზების დაგეგმვის, პროექტირების, მშენებლობისა და ექსპლუატაციის ყველა ეტაპზე. ასეთი მიდგომა შესაძლებელს ხდის სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურის ფუნქციური ეფექტიანობის შენარჩუნებასთან ერთად შემცირდეს ბუნებრივ გარემოზე უარყოფითი ზემოქმედება, გაუმჯობესდეს ურბანული ეკოლოგიური მდგომარეობა და გაიზარდოს საგზაო სისტემების მდგრადობა კლიმატური და ტექნოგენური დატვირთვების მიმართ გრძელვადიან პერსპექტივაში და საზოგადოებრივი ჯანმრთელობის უკეთ დაცვის უზრუნველსაყოფად.ფოტოსურათები და მათი ტექნიკური მახასიათებლების შესახებ ინფორმაცია.

საკვანძო სიტყვები: საგზაო ინფრასტრუქტურა; ეკოლოგიური ზემოქმედება; ჰაერის დაბინძურება; მდგრადი ტრანსპორტი

ABSTRACT

Road infrastructure is one of the key foundations of modern economic and social development; however, its construction and operation have significant impacts on the environment. This paper discusses the major environmental challenges associated with road infrastructure, including air pollution, traffic noise, and the contamination of water and soil caused by surface runoff. Particular attention is given to vehicle emissions, particles generated by pavement and tire wear, as well as the risks associated with the release of heavy metals and petroleum products into the environment. Modern engineering approaches aimed at reducing environmental impacts are presented, including low-noise and permeable pavements, the use of recycled materials, efficient drainage systems, green infrastructure, and intelligent transportation systems. The paper also reviews international experience and the principles of sustainable road infrastructure development. It emphasizes the importance of integrating environmental requirements into all stages of road planning, design, construction, and operation. Such an approach makes it possible to maintain the functional efficiency of transport infrastructure while reducing adverse environmental impacts, improving urban ecological conditions, enhancing the resilience of road systems to climatic and technological pressures, and ensuring better protection of public health in the long term.

Keywords: Road infrastructure; Environmental impact; Air pollution; Sustainable transportation.

შესავალი

საგზაო ინფრასტრუქტურა ეკონომიკური და სოციალური განვითარების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი საფუძველია. გზები უზრუნველყოფს ადამიანებისა და ტვირთების გადაადგილებას, ხელს უწყობს რეგიონების დაკავშირებას, ბიზნესის განვითარებასა და მომსახურებებზე ხელმისაწვდომობას. ამავე დროს, გზების მშენებლობა, რეკონსტრუქცია და ექსპლუატაცია დაკავშირებულია გარემოზე მრავალმხრივ ზემოქმედებასთან. თანამედროვე პირობებში, როდესაც სატრანსპორტო ნაკადები იზრდება და ქალაქები ფართოვდება, საგზაო პროექტების დაგეგმვისას მხოლოდ გამტარუნარიანობა და მოძრაობის უსაფრთხოება აღარ არის საკმარისი; აუცილებელია ეკოლოგიური ფაქტორების სისტემური გათვალისწინებაც.

საგზაო ინფრასტრუქტურის ეკოლოგიური ეფექტი ვლინდება როგორც მშენებლობის პერიოდში, ისე გზის მთელი სასიცოცხლო ციკლის განმავლობაში. ძირითადი პრობლემებია ჰაერის დაბინძურება, სატრანსპორტო ხმაური, ზედაპირული ჩამონადენით წყლისა და ნიადაგის დაბინძურება, ბუნებრივი საფარის დაზიანება და ენერგორესურსების მოხმარება. ამიტომ თანამედროვე საგზაო ინჟინერიის ერთ-ერთი მთავარი ამოცანაა ისეთი ტექნიკური გადაწყვეტილებების შერჩევა, რომლებიც უზრუნველყოფს ინფრასტრუქტურის ფუნქციურობას და ამავე დროს ამცირებს გარემოზე უარყოფით ზემოქმედებას.

საგზაო ინფრასტრუქტურის ძირითადი ეკოლოგიური ზემოქმედებები

გზის ეკოლოგიური ზემოქმედება იწყება საპროექტო და სამშენებლო ეტაპიდან. მიწის სამუშაოები, კარიერებიდან მასალების მოპოვება, ინერტული მასალების ტრანსპორტირება, ასფალტბეტონის წარმოება და მძიმე ტექნიკის მუშაობა დაკავშირებულია მტვრის, გამონაბოლქვის, ხმაურისა და ვიბრაციის წარმოქმნასთან. გზის მოწყობისას შესაძლოა შეიცვალოს ბუნებრივი რელიეფი, ზედაპირული წყლების დინების მიმართულება და მიწათსარგებლობის რეჟიმი. ექსპლუატაციის პერიოდში კი ძირითადი დატვირთვა უკავშირდება სატრანსპორტო ნაკადებს, საფარის ცვეთას, საბურავებისა და სამუხრუჭე სისტემების ნაწილაკებს, საწვავისა და ზეთების ნარჩენებს და გზის ზედაპირიდან ჩამონადენს.

ზემოქმედების მასშტაბი დამოკიდებულია გზის კატეგორიაზე, მოძრაობის ინტენსივობაზე, სატრანსპორტო შემადგენლობაზე, რელიეფზე, კლიმატზე და მიმდებარე ტერიტორიის დანიშნულებაზე. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია საცხოვრებელ ზონებთან, წყლის ობიექტებთან და ეკოლოგიურად მგრძნობიარე ტერიტორიებთან გამავალი გზების სწორი დაგეგმვა. ამ პირობებში გარემოსდაცვითი ღონისძიებები უნდა განიხილებოდეს არა როგორც დამატებითი ელემენტი, არამედ როგორც საგზაო პროექტის სრულფასოვანი საინჟინრო ნაწილი.

საგზაო ტრანსპორტით გამოწვეული ჰაერის დაბინძურება

საგზაო ტრანსპორტი ურბანულ ტერიტორიებზე ჰაერის დაბინძურების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი წყაროა. ავტომობილების მუშაობის შედეგად ატმოსფეროში გამოიყოფა ნახშირორჟანგი (CO_2), აზოტის ოქსიდები (NOx), ნახშირჟანგი (CO), აქროლადი ორგანული ნაერთები და მყარი ნაწილაკები (PM). დამატებით, საბურავების, სამუხრუჭე ხუნდებისა და საგზაო საფარის ცვეთა წარმოქმნის მიკრონაწილაკებს, რომლებიც გზის მტვერთან ერთად შეიძლება მოხვდეს ჰაერში. დაბინძურების კონცენტრაცია განსაკუთრებით იზრდება საცობების, ხშირი აჩქარება-შენელებისა და დაბალი საშუალო სიჩქარის პირობებში.

ჰაერის დაბინძურების შემცირება მხოლოდ ავტომობილების ტექნიკური გაუმჯობესებით არ მიიღწევა. საგზაო ქსელის ოპტიმალური ორგანიზება, გზაჯვარედინების გამტარუნარიანობის გაუმჯობესება, ადაპტიური შუქნიშნების გამოყენება და მოძრაობის უწყვეტობის ზრდა ამცირებს უმოქმედო რეჟიმში მუშაობასა და საწვავის ზედმეტ ხარჯს. ასევე მნიშვნელოვანია გზისპირა გამწვანება და მტვრის კონტროლი, თუმცა ისინი უნდა განიხილებოდეს მოძრაობის მართვისა და დაბალემისიური სატრანსპორტო პოლიტიკის დამატებით ღონისძიებებად.

სატრანსპორტო ხმაური და მისი ზემოქმედება გარემოზე

სატრანსპორტო ხმაური განსაკუთრებით აქტუალური პრობლემაა ქალაქებში და დასახლებულ ტერიტორიებთან გამავალ ავტომაგისტრალებზე. ხმაურის ძირითადი წყაროებია ძრავისა და გამონაბოლქვი სისტემის მუშაობა, საბურავისა და საფარის კონტაქტი და მაღალი სიჩქარისას - აეროდინამიკური ხმაური. მძიმე სატვირთო ავტომობილები, მაღალი სიჩქარე და დაზიანებული ან უხეში ტექსტურის საფარი ხმაურის დონეს მნიშვნელოვნად ზრდის. ხანგრძლივმა ხმაურმა შეიძლება გააუარესოს მოსახლეობის საცხოვრებელი გარემოს ხარისხი და უარყოფითად იმოქმედოს დასვენებისა და მუშაობის პირობებზე.

საინჟინრო ღონისძიებებიდან ეფექტურია გზის ტრასის ოპტიმალური განთავსება, ხმაურის დამცავი ეკრანები, მიწაყრილები, მწვანე ზოლები და დაბალხმაურიანი საფარები. თანამედროვე ფოროვანი ან ოპტიმიზებული ტექსტურის ასფალტბეტონის საფარი საბურავთან კონტაქტის ხმაურს ამცირებს. ღონისძიების შერჩევისას საჭიროა ადგილობრივი რელიეფის, შენობების მდებარეობის, მოძრაობის სიჩქარისა და სატრანსპორტო ნაკადის შემადგენლობის გათვალისწინება.

საგზაო ინფრასტრუქტურის გავლენა წყალსა და ნიადაგზე

გზის ზედაპირზე გროვდება მტვერი, საბურავისა და სამუხრუჭე სისტემების ცვეთის ნაწილაკები, ნავთობპროდუქტების კვალი და სხვა დამაბინძურებლები. ნალექის დროს ისინი ზედაპირულ ჩამონადენთან ერთად გადაადგილდება გზისპირა ნიადაგში, სანიაღვრე ქსელში ან ბუნებრივ წყალსატევებში. ინტენსიური მოძრაობის მქონე მონაკვეთებზე ჩამონადენმა შეიძლება შეიცავდეს შეწონილ ნაწილაკებს, მძიმე მეტალებსა და ნახშირწყალბადებს. ზამთარში დამატებითი ფაქტორია გამყინვარების საწინააღმდეგო

მარილების გამოყენება, რომლებიც ნიადაგისა და წყლის ქიმიურ მდგომარეობაზე მოქმედებს.

ამიტომ განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია სანიაღვრე სისტემის სწორად დაპროექტება. წყლის სწრაფად მოცილება მხოლოდ ჰიდრავლიკური ამოცანა არ არის - საჭიროა დაბინძურებული ჩამონადენის შეკავება, დალექვა, გაფილტვრა და საჭიროების შემთხვევაში კონტროლირებადი ჩაშვება. ბიოსვეილები, ფილტრაციული ზოლები, დამჭერი აუზები, გამყოფი ნაგებობები და წყალგამტარი საფარები საშუალებას იძლევა შემცირდეს როგორც დატბორვის, ისე მიმდებარე ნიადაგისა და წყლის დაბინძურების რისკი.

ეკოლოგიური ზემოქმედების შემცირების თანამედროვე საინჟინრო მიდგომები

თანამედროვე საგზაო ინჟინერია სულ უფრო მეტად იყენებს სასიცოცხლო ციკლის პრინციპს, რომლის მიხედვითაც გარემოსდაცვითი ეფექტი ფასდება მასალების წარმოებიდან გზის ექსპლუატაციამდე და შემდგომ რეაბილიტაციამდე. ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მიმართულებაა რეციკლირებული ასფალტის (RAP) გამოყენება, რაც ამცირებს პირველადი ქვის მასალისა და ბიტუმის მოთხოვნას. თბილი ასფალტბეტონის ტექნოლოგიები (Warm Mix Asphalt - WMA) იძლევა ნარევის შედარებით დაბალ ტემპერატურაზე წარმოებისა და დაგების შესაძლებლობას, რის შედეგადაც მცირდება ენერგომოხმარება და წარმოების პროცესთან დაკავშირებული ემისიები.

ურბანულ გარემოში ეფექტურია წყალგამტარი საფარები და მდგრადი სადრენაჟო სისტემები, რომლებიც ზრდის ინფილტრაციას და ამცირებს ზედაპირულ ჩამონადენს. ხმაურის შესამცირებლად გამოიყენება სპეციალური დაბალხმაურიანი საფარები და დამცავი ბარიერები. მოძრაობის ინტელექტუალური მართვის სისტემები (ITS), მათ შორის ადაპტიური შუქნიშნები, მოძრაობის მონიტორინგი და რეალურ დროში ინფორმაციის დამუშავება, ხელს უწყობს საცობებისა და ზედმეტი გაჩერებების შემცირებას. მნიშვნელოვანი შედეგი მიიღწევა მაშინ, როდესაც საფარის ტექნოლოგია, დრენაჟი, მოძრაობის მართვა და გარემოსდაცვითი ღონისძიებები ერთიან საინჟინრო სისტემად არის განხილული.

საერთაშორისო გამოცდილება და საუკეთესო პრაქტიკა

საერთაშორისო პრაქტიკა აჩვენებს, რომ გარემოზე ზემოქმედების შემცირება ყველაზე ეფექტურია მაშინ, როდესაც იგი ინტეგრირებულია ქალაქისა და სატრანსპორტო ქსელის საერთო დაგეგმვაში. კოპენჰაგენში განვითარებული ველოინფრასტრუქტურა და საზოგადოებრივი ტრანსპორტის მხარდაჭერა ამცირებს კერძო ავტომობილზე დამოკიდებულებას. სინგაპურში ფართოდ გამოიყენება ურბანული დრენაჟისა და წყლის მართვის კომპლექსური მიდგომები, ხოლო მოძრაობის მართვის თანამედროვე ტექნოლოგიები გამოიყენება სატრანსპორტო ნაკადების ოპტიმიზაციისთვის. ფრაიბურგში მნიშვნელოვანი ადგილი უკავია საზოგადოებრივ ტრანსპორტს, ქვეით და ველომოძრაობას, ასევე მწვანე ინფრასტრუქტურის ინტეგრაციას ქუჩების დიზაინში.

ევროპისა და სხვა განვითარებული ქვეყნების გამოცდილებაში ასევე მნიშვნელოვანი მიმართულებებია გადამუშავებული საგზაო მასალების გამოყენება, დაბალხმაურიანი საფარები, გზის ჩამონადენის კონტროლი და გარემოსდაცვითი მონიტორინგი. საუკეთესო პრაქტიკა მიუთითებს, რომ ერთ კონკრეტულ ტექნოლოგიას არ შეუძლია ყველა პრობლემის გადაწყვეტა; შედეგიანი მიდგომა მოითხოვს პროექტირების, მასალების შერჩევის, მშენებლობის, ექსპლუატაციისა და მონიტორინგის ეტაპების კოორდინაციას.

დასკვნა

საგზაო ინფრასტრუქტურის განვითარება აუცილებელია ეკონომიკური და სოციალური პროგრესისთვის, თუმცა იგი მნიშვნელოვან ეკოლოგიურ გამოწვევებთან არის დაკავშირებული. ჰაერის დაბინძურება, სატრანსპორტო ხმაური და ზედაპირული ჩამონადენით წყლისა და ნიადაგის დაბინძურება წარმოადგენს იმ ძირითად პრობლემებს, რომლებიც გათვალისწინებული უნდა იყოს როგორც ახალი გზების პროექტირებისას, ისე არსებული ქსელის რეაბილიტაციის პროცესში.

თანამედროვე საინჟინრო მიდგომები - რეციკლირებული და დაბალტემპერატურული ასფალტბეტონი, წყალგამტარი საფარები, ეფექტური სანიაღვრე სისტემები, დაბალხმაურიანი საფარები და ინტელექტუალური მოძრაობის მართვა - იძლევა გარემოზე ზემოქმედების შემცირების რეალურ შესაძლებლობას. მდგრადი საგზაო ინფრასტრუქტურა გულისხმობს არა მხოლოდ გზის ტექნიკურ გამართულობასა და უსაფრთხოებას, არამედ ბუნებრივი რესურსების რაციონალურ გამოყენებას, დაბინძურების პრევენციას და ინფრასტრუქტურის მთელი სასიცოცხლო ციკლის განმავლობაში გარემოსდაცვითი შედეგების გათვალისწინებას.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Steg, L. (2007). Sustainable transportation: A psychological perspective. *IATSS research*, *31*(2), 58-66.

2. Meijer, J. R., Huijbregts, M. A., Schotten, K. C., & Schipper, A. M. (2018). Global patterns of current and future road infrastructure. *Environmental Research Letters*, *13*(6), 064006.

3. Shishinashvili, M., & Chubinidze, G. (2026, May). SELF-HEALING ASPHALT IN ROAD ENGINEERING. In *Full text book of 9TH INTERNATIONAL MEDITERRANEAN SCIENTIFIC RESEARCH CONGRESS* (Vol. 3, pp. 1-5).

4. Shishinashvili, M. (2025). Construction of highways in Georgia. *Scientific-technical Journal" BUILDING"*, *1*(71), 86-89.

5. Chubinidze, G., & Shishinashvili, M. (2025, May). MODERN METHODS FOR EXTENDING THE SERVICE LIFE OF ASPHALT ROAD PAVEMENTS. In *PROCEEDINGS BOOK of the INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENTIFIC AND ACADEMIC RESEARCH* (pp. 187-191).

6. Van Der Ree, R., Smith, D. J., & Grilo, C. (2015). The ecological effects of linear infrastructure and traffic: challenges and opportunities of rapid global growth. *Handbook of road ecology*, 1-9.

7. Burduladze, A. R., Shishinashvili, M. T., & Magradze, M. D. (2014). Improvement of the quality of the asphalt mix. *ISJ Theoretical & Applied Science*, *2*(10), 44-47.

8. Wang, Z., Zhou, H., Wan, H., Shi, P., Li, C., Qi, J., & Fang, R. (2024). Assessment of the impact of road construction on the ecological environment. *Remote Sensing*, *16*(23), 4478.