

UDC 625.7/.8:528

SCOPUS CODE 1909

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2026-2-85-92>

ტოპოგეოდეზიური კვლევის თანამედროვე მეთოდების გამოყენება საგზაო ინფრასტრუქტურის დაპროექტებისა და მშენებლობისთვის

გიორგი ჩუბინიძე საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის ასოცირებული პროფესორი, საქართველო
E-mail: g.chubinidze@gtu.ge

მანუჩარ შიშინაშვილი საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის ასოცირებული პროფესორი, საქართველო
E-mail: m.shishinashvili@gtu.ge

რეცენზენტები:

ნ. რურუა, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის პროფესორი, საგზაო დეპარტამენტის უფროსი

E-mail: n.rurua@gtu.ge

პ. ნადირაშვილი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის პროფესორი

E-mail: p.nadirashvili@gtu.ge

ანოტაცია. საქართველოს საავტომობილო გზების ქსელის განვითარება ქვეყნის ეკონომიკური და რეგიონული მდგრადი განვითარების მნიშვნელოვანი ფაქტორია, მისი დაგეგმვა და განხორციელება რთულ რელიეფურ და ბუნებრივ პირობებში მნიშვნელოვან ტექნიკურ სირთულეებს უკავშირდება. მოქმედი ნორმებისა და სტანდარტების შესაბამისად, საგზაო ინფრასტრუქტურის დაპროექტებისათვის აუცილებელია მაღალი სიზუსტის ტოპოგეოდეზიური მონაცემების მიღება WGS 1984 UTM კოორდინატთა სისტემაში, რაც Geo-CORS მუდმივმოქმედი ქსელის არასრული დაფარვის პირობებში ყოველთვის ვერ ხერხდება. ტრადიციული გეოდეზიური

მეთოდები და ფოტოგრამეტრია შეზღუდულია მცენარეული საფარით დაფარულ და რთულად მისადგომ ტერიტორიებზე. ნაშრომში განხილულია LIDAR ტექნოლოგიის გამოყენება, როგორც მაღალი სიზუსტის სივრცითი მონაცემების სწრაფი და ეფექტური მიღების საშუალება. კვლევის შედეგები აჩვენებს, რომ LIDAR მნიშვნელოვნად ზრდის საპროექტო გადაწყვეტილებების სიზუსტეს და ამცირებს დროით და შრომით დანახარჯებს საგზაო ინფრასტრუქტურული პროექტების დაგეგმვის პროცესში.

საკვანძო სიტყვები: ლიდარი; დრონი; ფოტოგრამეტრია; საავტომობილო გზები.

შესავალი

საავტომობილო გზების სრულყოფილი ქსელი და შესაბამისი ინფრასტრუქტურის არსებობა ქვეყნის კეთილდღეობის, ეკონომიკური, სოციალური, უსაფრთხოებისა და რეგიონული განვითარების ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი ფაქტორია. მისი მუდმივი გაუმჯობესება წინაპირობაა სახელმწიფოს მდგრადი განვითარებისთვის, კონკურენტუნარიანი ეკონომიკისა და მოსახლეობის კეთილდღეობისთვის. საქართველოს საავტომობილო გზების ქსელი მოიცავს სხვადასხვა ტიპისა და დანიშნულების, მათ შორის საერთაშორისო, შიდასახელმწიფოებრივ და ადგილობრივ გზებს. მიუხედავად იმისა, რომ ქვეყნის თითქმის მთლიანი ტერიტორია დაფარულია აღნიშნული ქსელით, კვლავ არის ახალი გზების დაპროექტება-მშენებლობის და არსებულის გაუმჯობესება-მოდერნიზაციის საჭიროება, რაც გარდა ფინანსურისა, უამრავ სირთულესთან არის დაკავშირებული, ისეთებთან როგორცა, მაგალითად, რთული კლიმატური და ბუნებრივი პირობები. ყოველივე ეს ართულებს და ახანგრძლივებს საკვლევაძიებო და საპროექტო სამუშაოების წარმოების პროცესს.

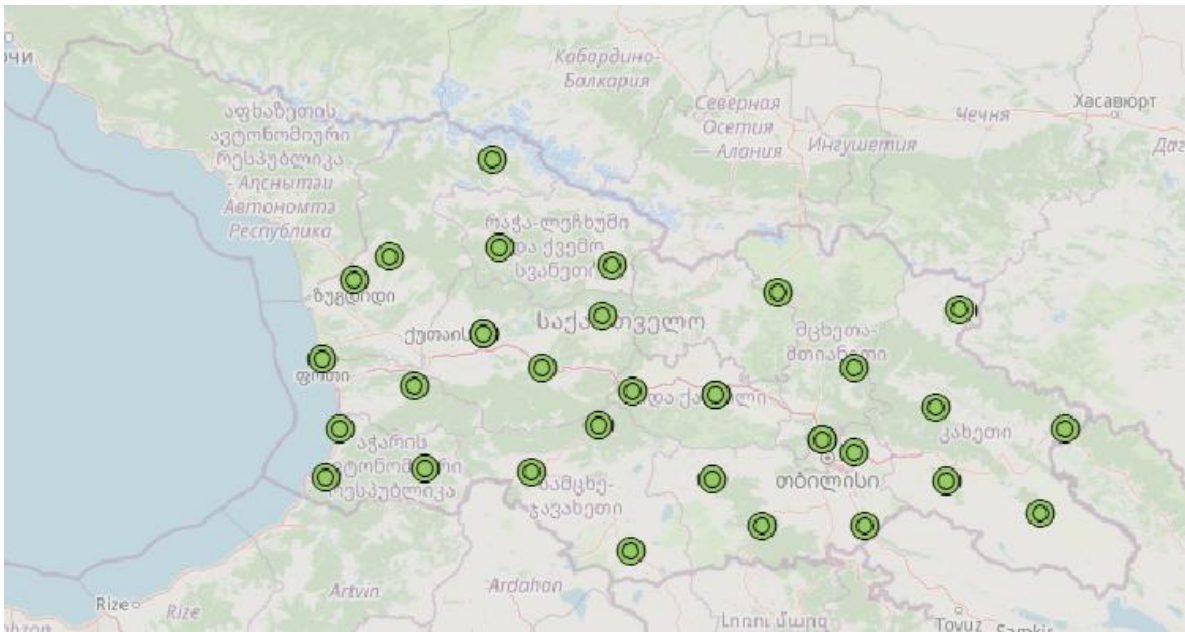
იმ ფაქტორის გათვალისწინებით, რომ საქართველოში არსებული საგზაო ქსელი ძირითადად გადის მთაგორიან რელიეფზე და კვეთს ტყით დაფარულ ტერიტორიებს, ხშირად საპროექტო-საკვლევაძიებო სამუშაოების წარმოების პროცესში წარმოიქმნება სხვადასხვა სახის სირთულე, კერძოდ: მცირე ხილვადობის მანძილი, გარკვეული ტერიტორიების მიუწვდომლობა თუნდაც სპეციალური სატრანსპორტო საშუალებით (სრულამძრავიანი კვადროციკლები, ბაგის ტიპის ავტომობილები, მა-

ღალი გამავლობის ავტომობილები და ა.შ.), GSM ქსელის არარსებობა, შესაბამისად საჯარო რეესტრის ეროვნული სააგენტოს მუდმივმოქმედ საინფორმაციო სისტემასთან Geo-CORS, შეზღუდული წვდომა და ა.შ

ძირითადი ნაწილი

დღევანდელი მდგომარეობით და სახელმწიფოს შესაბამისი სამსახურების მოთხოვნების და ქვეყანაში მოქმედი ნორმებისა და სტანდარტების შესაბამისად, ასევე, საჯარო რეესტრის ბაზებში რეგისტრირებულ საკადასტრო მონაცემებთან თანხვედრისათვის აუცილებელია, ტოპოგრაფიული კვლევა განხორციელდეს მაღალი სიზუსტით, WGS 1984 UTM კოორდინატთა სისტემაში.

მაღალი სიზუსტის მისაღწევად და ქვეყანაში მოქმედ კოორდინატთა სისტემასთან შესაბამისობისათვის, საჯარო რეესტრის ეროვნული სააგენტოს მიერ შექმნილია მუდმივმოქმედი საბაზო სადგურების ქსელი და ქვეყნის ტერიტორიაზე დამონტაჟებულია 34 (A და B კლასის) GPS სტაციონარული სადგური, რომელთა რაოდენობაც მუდმივად ზრდადია ქვეყნის ტერიტორიის სრულად დაფარვის მიზნით. გასათვალისწინებელია, რომ ქვეყნის ოკუპირებული ტერიტორიები და ის ადგილები, რომელიც რთულად მისადგომია (მაღალმთიანი რეგიონები, ხეობები, ტყის მასივები და ა.შ.), ამ პერიოდისათვის არ არის მოქმედი აღნიშნული ქსელის დაფარვის ზონაში, რაც დიდ პრობლემას წარმოადგენს ზემოაღნიშნულ ტერიტორიებზე მოთხოვნების შესაბამისად ზუსტი ტოპოგეოდეზიური განაზომების წარმოებისათვის.



სურ.1 Geo-CORS მუდმივმოქმედი GPS სტაციონარული სადგურების განლაგება საქართველოს ტერიტორიაზე.

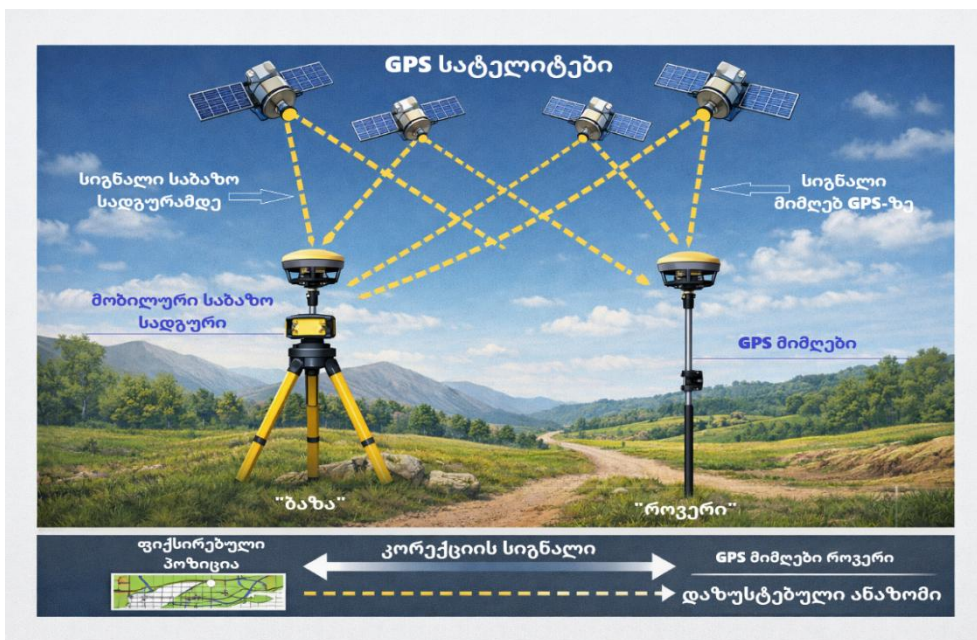
მიმდინარე პერიოდისათვის ქვეყნის მასშტაბით მაღალი ინტენსივობით ხორციელდება საავტომობილო-საგზაო ქსელის მოდერნიზაცია, რაც მოიცავს არსებული საავტომობილო გზების რეაბილიტაციარეკონსტრუქციას და ასევე ახალი საავტომობილო გზების დაპროექტებასა და მშენებლობას, განსაკუთრებით ისეთ ადგილებში, როგორცაა რიკოთის, გოდერძის, გომბორის, აბანოს უღელტეხილები, ზემო და ქვემო სვანეთი, რაჭა-ლეჩხუმის, სვანეთის და იმერეთის მთიანი რეგიონების დამაკავშირებელი გზები და ა.შ.

იმ ტერიტორიებზე, სადაც ვერ ხდება Geo-CORS ქსელით დაფარვა, საგზაო ინფრასტრუქტურის დაპროექტებისათვის საჭირო ტოპოგეოდეზიური კვლევების განსახორციელებლად გამოიყენება დროებითი ლოკალური მობილური საბაზო სადგურები, რომელთა მუშაობის პრინციპიც ეფუძნება ე.წ. „სტატი-

კური“ მეთოდის გამოყენებას. იგი გულისხმობს მობილური საბაზო სადგურის მეშვეობით მისი დგომის წერტილების კოორდინატების წინასწარ განსაზღვრას ადგილზე ხანგრძლივი განაზომების აღების და მათი შემდგომში Geo-CORS ვებპორტალზე ან კამერალურ პირობებში შესაბამისი პროგრამული უზრუნველყოფის საშუალებით დამუშავებას, სადაც გამოყენებული იქნება საჯარო რეესტრის ეროვნული სააგენტოს მიერ შექმნილი მუდმივმოქმედი საბაზო სადგურების ქსელიდან განაზომების წარმოების ადგილმდებარეობასთან განლაგებული უახლოესი 5 ან მეტი საბაზო სადგურის ჩანაწერები. შემდგომში, ამ დაზუსტებულ წერტილებზე ხორციელდება მობილური საბაზო სადგურების დაყენება და მათგან GSM - ან რადიოკავშირის საშუალებით კორექციების მიღება გამზომ ინსტრუმენტზე. ყოველივე ზემოაღნიშნული, დაკავშირებულია დიდ შრომით და დროის

დანახარჯებთან, ამავდროულად, ამ სახის სამუშაოები განხორციელებადია მხოლოდ ისეთ ადგილებზე, სადაც შესაძლებელია ადამიანის ფიზიკური გადაადგილება და თან უზრუნველყოფილია ღია არეალი სატელიტების ხედვისათვის, როგორც მობილური საბაზო სადგურის დგომის, ისე გამზომი ხელსაწყოების საშუალებით ანათვალის აღებისა ყოველი წერტილისათვის.

იმ შემთხვევაში, როდესაც საკვლევაში ტერიტორია დაფარულია მაღალი ხეებით და შეზღუდულია ღია ცის ქვეშ მუშაობა, რაც შესაბამისად ხელს უშლის სატელიტური სიგნალების მიღებას, მიზანშეწონილია თანამედროვე ელექტრონული ტაქიმეტრის გამოყენება, რაც ასევე მეტად შრომატევადია, ვიდრე ზემოაღწერილი მეთოდი.



სურ. 2 . დროებითი მობილური საბაზო სადგურისა და GPS მიმღები როვერის მუშაობის სქემა.

ბოლო წლებში, მეტად აქტუალური და ფართოდ გავრცელებულია ადგილმდებარეობის ზედაპირის ციფრული მოდელის შექმნა GPS სისტემით აღჭურვილი დრონისა (ან სხვა ტიპის უპილოტო მართვადი საფრენი აპარატი) და მასზე დამონტაჟებული მაღალი გარჩევადობის მქონე სპეციალური ფოტოკამერის საშუალებით, ფოტოგრამმეტრიის მეთოდის გამოყენებით. აღნიშნული მეთოდი საშუალებას იძლევა ძნელად მისაღწეად ადგილებში განხორციელ-

დეს აეროგადაღება, შემდგომში კი კამერალურად, ფოტოგრამმეტრიის მეთოდით, სხვადასხვა სპეციალიზებული პროგრამული კომპლექსის გამოყენებით შედგეს ადგილმდებარეობის ზედაპირის საკმაოდ ზუსტი ციფრული მოდელი და დამუშავდეს ადგილმდებარეობის მაღალი გარჩევადობის აერო-ორთოფოტოები, რომლებიც შესაბამისად განთავსებული იქნება ქვეყანაში მოქმედ WGS 1984 UTM კოორდინატთა სისტემაში. აღნიშნული მეთოდი

ძალზე მოსახერხებელია საგზაო ინფრასტრუქტურული პროექტების როგორც დაპროექტების, ისე მშენებლობის სტადიების წარმოებისას, მაგრამ სამწუხაროდ, ასევე აქვს უარყოფითი მხარეც – თოვლით ან მცენარეული საფარით დაფარულ რელიეფზე (მაღალი ბალახი, ბუჩქნარი და ა.შ.), შეუძლებელია რელიეფის ზედაპირის ზუსტი ნიშნულების მიღება.

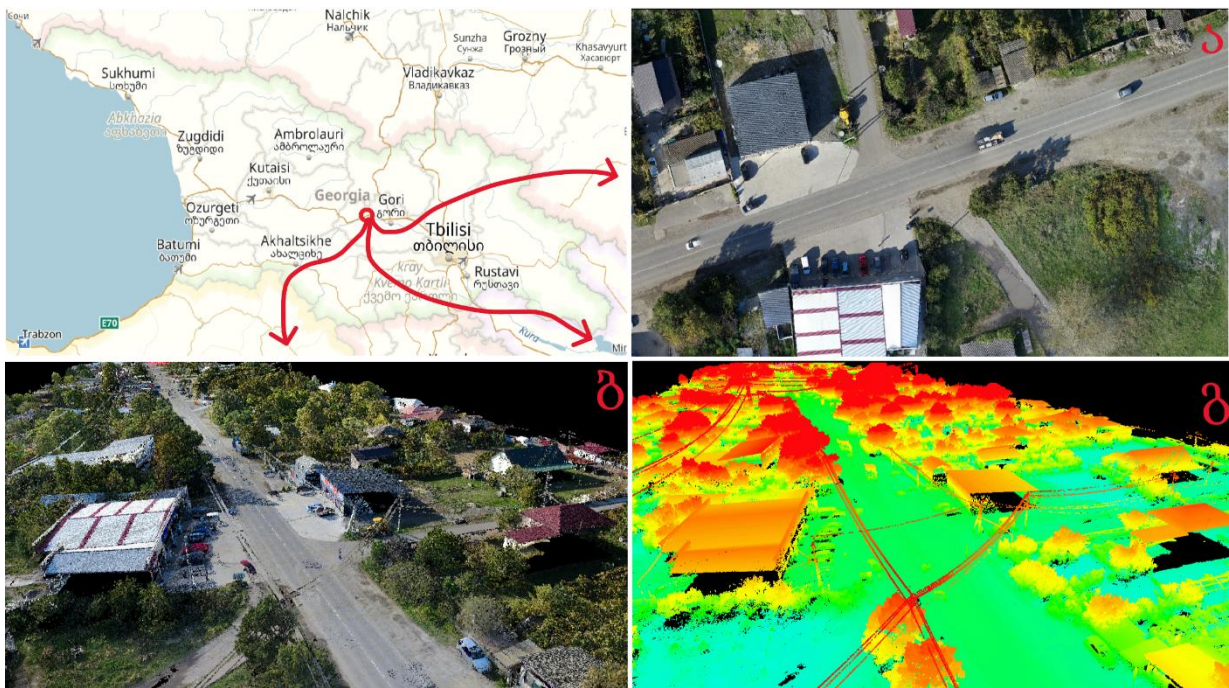
უკვე განხილული მეთოდების გარდა, ამ სამუშაოების შესასრულებლად ძალზე მნიშვნელოვანი როლი აქვს ლიდარ ტექნოლოგიის გამოყენებას LIDAR (Light Detection and Ranging). მისი ძირითადი უპირატესობებია:

- ძალიან მაღალი სიზუსტე და შესაბამისად, დეტალური ტოპოგრაფიული მონაცემების მიღების საშუალება. LIDAR-ის გამოყენებით იქმნება მაღალი რეზოლუციის სამგანზომილებიანი წერტილების ღრუბელი, რაც საშუალებას იძლევა ზუსტად განისაზღვროს რელიეფის ზედაპირი და მცირედი დეტალიც კი არ იქნეს უგულებელყოფილი, შესაბამისად, ტრადიციული მეთოდებით წარმოებულ გეოდეზიურ ანაზომებთან შედარებით, მიღებული მონაცემები უფრო კომპლექსური და დეტალურია;
- დიდი არეალებისათვის მონაცემთა სწრაფი შეგროვება – დრონზე ან სხვა საფრენ აპარატზე დამონტაჟებული LIDAR-ის გამოყენებით

უზარმაზარი ტერიტორიების სკანირება შესაძლებელია საათობით, მაშინ როცა იმავე სამუშაოს შესასრულებლად ტრადიციული მეთოდების გამოყენებით დღეები ან კვირები საჭირო;

- სამუშაო მონაკვეთზე უსაფრთხოების მაღალი დონის უზრუნველყოფა – ინჟინრებს აღარ უწევთ სახიფათო ადგილებზე ფიზიკურად მისვლა, რადგან მონაცემების შეგროვება შესაძლებელია საფრენ აპარატზე დამაგრებული მოწყობილობის საშუალებით;
- ადგილმდებარეობის ზუსტი მოდელირებისა და სამგანზომილებიანი ვიზუალიზაციის შექმნა – LIDAR-ის მონაცემებზე დაყრდნობით შესაძლებელია შეიქმნას DTM/DEM მოდელები, რომლებიც გამოიყენება გზის დაპროექტებისთვის, მიწის სამუშაოების მოცულობების დათვლისათვის, ასევე ჰიდროლოგიური მონაცემების დასამუშავებლად, ანალიზისათვის და.ა.შ. ასევე, საშუალებას იძლევა, კამერალური სამუშაოებისას ტერიტორია უფრო ადვილად აღქმადი იყოს პროექტზე მომუშავე პერსონალისათვის.

მე-3 სურ-ზე მოცემულია სოფ. აგარაში საავტომობილო გზის მონაკვეთის Lidar-ით გადაღებული და დამუშავებული მონაცემები სხვადასხვა ვიზუალიზაციით ერთი და იმავე მონაკვეთისათვის:



სურ. 3. Lidar-ით გადაღებული და დამუშავებული მონაცემები სხვადასხვა ვიზუალიზაციით ერთი და იმავე მონაკვეთისათვის: ა) აეროორტოფოტო; ბ) სამგანზომილებიანი წერტილების ღრუბლის RGB ვიზუალიზაცია; გ) სამგანზომილებიანი წერტილების ღრუბლის სიმადლური მოდელის ვიზუალიზაცია.

გარდა ზემოთ ჩამოთვლილი უპირატესობებისა, აუცილებლად აღსანიშნავია ის ფაქტორი, რომ LIDAR-ით გადაღებისას, მისი ტექნიკური მონაცემებიდან გამომდინარე, შესაძლებელია მცენარეული საფარით გარკვეულწილად დაფარულ ტერიტორებზე რელიეფის რეალური ზედაპირიდან განაზომების მიღება. LIDAR ტექნოლოგია საგზაო ინფრასტრუქტურის მიმართულებით კვლევადიებისათვის ერთ-ერთი ყველაზე ეფექტური ინსტრუმენტია სივრცითი მონაცემების სწრაფად და მაღალი სიზუსტით მიღებისათვის. აღნიშნული სისტემა მუშაობს ლაზერული იმპულსების გამოსხივებისა და ზედაპირიდან მათი არეკვლის დროის გაზომვის პრინციპზე, რაც ობიექტიდან მაღალი სიზუსტის განაზომების მიღების საშუალებას იძლევა. მიღებული მონაცემების საფუძველზე იქმნება სამგანზომ-

ილებიანი წერტილების ღრუბელი, რომელიც ასახავს გზის (რელიეფის ან ტერიტორიის) ზედაპირს, მიმდებარე ინფრასტრუქტურას და რელიეფის სხვა თავისებურებებს. ტექნოლოგიის ერთ-ერთი მთავარი უპირატესობაა მისი უნარი იმუშაოს დაბალი განათების პირობებშიც, რაც მნიშვნელოვნად ზრდის სავალე სამუშაოების მოქნილობას. მაღალი სიხშირით გენერირებული ლაზერული იმპულსები უზრუნველყოფს ზედაპირის დეტალურ სკანირებას და გზის გეომეტრიული პარამეტრების ზუსტ ფიქსაციას. შემდგომ ეტაპზე წერტილების ღრუბელი საჭიროებს ფილტრაციასა და კლასიფიკაციას, რის შედეგადაც გამოიყოფა სხვადასხვა ტიპის ელემენტები: მცენარეული საფარი, მიწა, გზის საფარი, ბორდიურები, ნიშნები და სხვა. ამ მონაცემების ინტეგრაცია GIS პლატფორმებში შესაძლებელს ხდის

სივრცით ანალიზს, გრძივი და განივი პროფილების აგების საშუალებას და რეაბილიტაციის ან მოვლა-შენახვის სამუშაოებისათვის დეფორმაციების იდენტიფიცირებას.

დასკვნა

LIDAR-ის გამოყენება უზრუნველყოფს მონაცემთა ხარისხის გაუმჯობესებას, დროისა და ხარჯების შემცირებას და გადაწყვეტილების მიღების პროცესის ეფექტიანობას საგზაო ინფრასტრუქტურის მართვაში. მიუხედავად ხსენებული დადებითი ფაქტორებისა, უნდა აღინიშნოს, რომ მოცემული ტექნო-

ლოგიის ერთადერთ უარყოფით მხარედ შეიძლება ჩაითვალოს მისი სრულყოფილად დამუშავებისათვის საჭირო მაღალი წარმადობის, ძლიერი და ძვირად ღირებული კომპიუტერული სისტემები, ხოლო დამუშავებული მონაცემები ძალიან დიდი მოცულობისაა, რაც გარკვეულწილად ართულებს მათ გამოყენებას. თუმცა, მისი ფინანსური და დროითი დანაზოგის, ასევე მიღებული შედეგის ხარისხი მეტად მნიშვნელოვანია და თავისუფლად შეიძლება ითქვას, რომ საგზაო ინფრასტრუქტურული პროექტების წარმოებისათვის ამ ტექნოლოგიის გამოყენებას ამ ეტაპზე კონკურენტი არ გააჩნია.

ლიტერატურა

1. Roriz, R., Cabral, J., & Gomes, T. (2021). Automotive LiDAR technology: A survey. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(7), 6282–6297.
2. Hatta Antah, F., Khoiry, M. A., Abdul Maulud, K. N., & Abdullah, A. (2021). Perceived usefulness of airborne LiDAR technology in road design and management: A review. *Sustainability*, 13(21), 11773.
3. Rurua, N., Shishinashvili, M., & Chubinidze, G. (2018). Geographic information systems for railway and road. *Theoretical & Applied Science*, (12), 113–116.
4. National Agency of Public Registry (NAPR). (n.d.). *SBC geocors system*. <http://geocors.napr.gov.ge/SBC> (accessed January 22, 2026)

UDC 625.7/.8:528

SCOPUS CODE 1909

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2026-2-85-92>

The Use of Modern Topographic and Geodetic Survey Methods for the Design and Construction of Road Infrastructure

Giorgi Chubinidze Georgian Technical University, faculty of civil engineering, associate professor, Georgia
E-mail: g.chubinidze@gtu.ge

Manuchar Shishinashvili Georgian Technical University, faculty of civil engineering, associate professor, Georgia
E-mail: m.shishinashvili@gtu.ge

Reviewers:

N. Rurua, Georgian Technical University, Faculty of Civil Engineering, head of road department, Professor
E-mail: n.rurua@gtu.ge

P. Nadirashvili, Georgian Technical University Faculty of Civil Engineering, Professor
E-mail: p.nadirashvili@gtu.ge

Abstract. The development of Georgia's road network is a key factor in the country's economic and regional sustainable growth; however, its planning and implementation in complex terrain and natural conditions are associated with significant technical challenges. In accordance with existing regulations and standards, the design of road infrastructure requires the acquisition of high-accuracy topographic and geodetic data in the WGS 1984 UTM coordinate system, which is not always feasible due to incomplete coverage of the Geo-CORS permanent reference station network. Traditional geodetic methods and photogrammetry are limited in densely vegetated and hard-to-access areas. This paper examines the application of LiDAR technology as an effective tool for the rapid acquisition of high-precision spatial data. The results of the study demonstrate that LiDAR significantly improves the accuracy of design decisions while reducing time and labor costs in the planning process of road infrastructure projects.

Keywords: Drone; Lidar; Photogrammetry; Roads.

განხილვის თარიღი 02.02.2026

შემოსვლის თარიღი 6.02.2026

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 26.06.2026