



გრუნტში შემღწევი რადარის (GPR) გამოყენება საგზაო სამოსის არადესტრუქციულ კვლევაში

თეიმურაზ არევაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის დოქტორანტი, temuri.arevadze@gmail.com

ანოტაცია

გრუნტში შემღწევი რადარი (GPR – Ground Penetrating Radar) წარმოადგენს საგზაო სამოსის არადესტრუქციული კვლევის თანამედროვე და ეფექტურ მეთოდს, რომელიც ეფუძნება მაღალი სიხშირის ელექტრომაგნიტური ტალღების გამოყენებას. აღნიშნული ტექნოლოგია საშუალებას იძლევა მიღებულ იქნას დეტალური ინფორმაცია გზის საფარის სტრუქტურის შესახებ, მათ შორის ფენების სისქის, მასალის თვისებების, ტენიანობის დონისა და სხვადასხვა ტიპის შიდა დეფექტების არსებობის შესახებ, დესტრუქციული ჩარევის გარეშე.

წარმოდგენილ ნაშრომში განხილულია GPR ტექნოლოგიის გამოყენება საგზაო სამოსის კვლევაში, კანადის 401-ე მაგისტრალის კონკრეტული მონაკვეთის მაგალითზე. კვლევის ფარგლებში განხორციელდა გზის საფარის მდგომარეობის შეფასება როგორც ტრადიციული მეთოდებით (ვიზუალური ინსპექტირება, კერნების ბურღვა და ლაბორატორიული ანალიზი), ასევე გეორადარის გამოყენებით მიღებული მონაცემების საფუძველზე. განსაკუთრებული ყურადღება დაეთმო GPR მონაცემების კალიბრაციას კერნების მონაცემებთან შედარებით, რაც უზრუნველყოფს მიღებული შედეგების სიზუსტის შეფასებას.

კვლევის შედეგებმა აჩვენა, რომ GPR ეფექტურად განსაზღვრავს ასფალტისა და ცემენტბეტონის ფენების სისქეს მაღალი სიზუსტით, რაც დადასტურდა ბურღვით მიღებულ მონაცემებთან შედარებით მინიმალური გადახრით. ამასთანავე, ტექნოლოგიამ შესაძლებელი გახადა ისეთი ფარული სტრუქტურული ელემენტებისა და დაზიანებების გამოვლენა, როგორცაა არმატურა, ბეტონის ნაკერები, ნაწილობრივი და სრული სიღრმის სარემონტო ზონები, აგრეთვე ბზარები, რომლებიც ვიზუალური ინსპექტირებისას არ ფიქსირდება.

მიღებული შედეგები მიუთითებს, რომ GPR წარმოადგენს მნიშვნელოვან ინსტრუმენტს საგზაო სამოსის კომპლექსური შეფასებისთვის, განსაკუთრებით კომპოზიტური სტრუქტურების შემთხვევაში, სადაც ტრადიციული მეთოდები შეზღუდულია. მისი გამოყენება მნიშვნელოვნად ზრდის დიაგნოსტიკის სიზუსტეს, ამცირებს კვლევის ხარჯებს და ხელს უწყობს რეაბილიტაციისა და რეკონსტრუქციის პროცესის ოპტიმალურ დაგეგმვას.

საკვანძო სიტყვები: გრუნტში შემღწევი რადარი (GPR), საგზაო სამოსი, არადესტრუქციული კვლევა, კომპოზიტური საფარი, ბზარები, ფენების სისქე, არმატურა, გზის რეაბილიტაცია

შესავალი

თანამედროვე საგზაო ინფრასტრუქტურის ეფექტური მართვა და ექსპლუატაცია მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული გზის საფარის ტექნიკური მდგომარეობის სწორ და დროულ შეფასებაზე. საგზაო სამოსის დაზიანებები, როგორცაა ბზარები, დეფორმაციები, შიდა სტრუქტურული ცვლილებები და ფენების სისქის არაერთგვაროვნება, დროთა განმავლობაში იწვევს გზის გამტარუნარიანობის შემცირებას, მოძრაობის უსაფრთხოების გაუარესებასა და სარეაბილიტაციო ხარჯების ზრდას. შესაბამისად, აუცილებელია ისეთი კვლევითი მეთოდების გამოყენება, რომლებიც უზრუნველყოფს გზის საფარის მდგომარეობის სწრაფ, ზუსტ და ეკონომიკურად ეფექტურ შეფასებას.

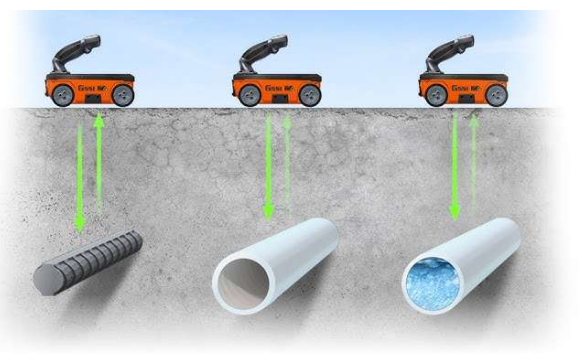
ტრადიციული კვლევის მეთოდები, როგორცაა კერნების ბურღვა, ლაბორატორიული ანალიზი და ვიზუალური ინსპექტირება, მიუხედავად მათი სიზუსტისა, დაკავშირებულია გარკვეულ შეზღუდვებთან. კერძოდ, ისინი ხშირ შემთხვევაში მოითხოვს საფარის ნაწილობრივ დაზიანებას, არის დროისა და რესურსების მომთხოვნი და არ იძლევა გზის მთლიანი მონაკვეთის უწყვეტი შეფასების შესაძლებლობას. სწორედ ამ გამოწვევების დასაძლევად ფართოდ დაინერგა არადესტრუქციული კვლევის თანამედროვე მეთოდები, რომელთა შორის ერთ-ერთი ყველაზე ეფექტურია გრუნტში შემღწევი რადარი (GPR – Ground Penetrating Radar).

GPR წარმოადგენს გეოფიზიკურ მეთოდს, რომელიც ეფუძნება მაღალი სიხშირის ელექტრომაგნიტური ტალღების გავრცელებას სხვადასხვა დიელექტრიკული თვისებების მქონე მასალებში. ტალღების არეკვლისა და გავრცელების დროის ანალიზის საფუძველზე შესაძლებელია მიწისქვეშა სტრუქტურის დეტალური ვიზუალიზაცია, რაც საშუალებას იძლევა განისაზღვროს საგზაო სამოსის ფენების სისქე, გამოვლინდეს შიდა

დეფექტები, ტენიანობის ცვლილებები და სხვადასხვა სტრუქტურული ელემენტები, მათ შორის არმატურა და კომუნიკაციები.

განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება GPR-ის გამოყენებას კომპოზიტური საგზაო სამოსის კვლევისას, სადაც ასფალტისა და ცემენტბეტონის ფენების კომბინაცია ქმნის რთულ სტრუქტურას. ასეთ პირობებში ვიზუალური ინსპექტირება და ლოკალური ბურღვითი კვლევები ხშირად არ იძლევა სრულ სურათს საფარის მდგომარეობის შესახებ. GPR ტექნოლოგია კი უზრუნველყოფს უწყვეტ და დეტალურ ინფორმაციას მთელი მონაკვეთის მასშტაბით, რაც მნიშვნელოვნად ზრდის დიაგნოსტიკის სიზუსტეს.

მოცემული ნაშრომის მიზანია გრუნტში შემღწევი რადარის გამოყენების ეფექტურობის შეფასება საგზაო სამოსის კვლევაში, კომპოზიტური საფარის პირობებში. კვლევა განხორციელდა კანადის 401-ე მაგისტრალის კონკრეტულ მონაკვეთზე, სადაც GPR მონაცემები შედარებულ იქნა ტრადიციული მეთოდებით მიღებულ შედეგებთან. განსაკუთრებული ყურადღება დაეთმო ფენების სისქის განსაზღვრის სიზუსტეს, ფარული დაზიანებების იდენტიფიცირებასა და GPR ტექნოლოგიის პრაქტიკული გამოყენების შესაძლებლობებს საგზაო ინფრასტრუქტურის მართვაში.



ნახ. 1. გრუნტში შემღწევი რადარი (GPR - Ground Penetrating Radar)

კვლევის ობიექტი

კვლევის ობიექტს წარმოადგენს კანადის 401-ე ავტომაგისტრალის 1 კმ სიგრძის მონაკვეთი (კმ 11+800–დან 12+800-მდე), რომელიც შეირჩა გრუნტში შემღწევი რადარის (GPR) გამოყენების ეფექტურობის შესაფასებლად. აღნიშნული მონაკვეთი ხასიათდება კომპოზიტური საგზაო სამოსით, რაც ქმნის ხელსაყრელ პირობებს როგორც ტრადიციული, ასევე არადესტრუქციული კვლევის მეთოდების შედარებისთვის.

საგზაო სამოსის სტრუქტურა შედგება ასფალტბეტონის ზედა ფენებისა და არმირებული ცემენტბეტონის საფუძვლისგან, რომლის ქვემოთ განლაგებულია მარცვლოვანი ფენა. მსგავსი კომპოზიტური სტრუქტურა ხშირად გამოიყენება მაღალი დატვირთვის მქონე გზებზე და გამოირჩევა რთული შიდა სტრუქტურით, რაც ართულებს მისი მდგომარეობის შეფასებას მხოლოდ ვიზუალური მეთოდებით.

კვლევის მონაკვეთი შეირჩა ასევე იმის გამო, რომ მასზე არსებობდა სხვადასხვა ტიპის დაზიანებები, მათ შორის განივი და გრძივი ბზარები, აგრეთვე წარსულში შესრულებული სარემონტო სამუშაოების კვალი. აღნიშნული გარემოებები უზრუნველყოფს GPR ტექნოლოგიის შესაძლებლობების სრულფასოვან შეფასებას, განსაკუთრებით ფარული დეფექტებისა და სტრუქტურული თავისებურებების გამოვლენის კუთხით.

კვლევის ფარგლებში მონაკვეთში კერნები ამოღებული იყო რეგულარული ინტერვალებით, რაც გამოყენებულ იქნა ფენების სისქის განსაზღვრისა და GPR მონაცემების კალიბრაციისთვის.

კვლევის მეთოდოლოგია

კვლევის ფარგლებში გამოყენებულ იქნა როგორც ტრადიციული, ასევე არადესტრუქციული კვლევის მეთოდები, რაც უზრუნველყოფდა საგზაო სამოსის სტრუქტურის კომპლექსურ შეფასებას. კვლევა განხორციელდა კანადის 401-ე მაგისტრალის 1 კმ სიგრძის მონაკვეთზე (კმ 11+800–დან 12+800–მდე), რომელიც ხასიათდება კომპოზიტური საგზაო სამოსით.

- **საველე და ლაბორატორიული კვლევები**

კვლევის პირველ ეტაპზე განხორციელდა საგზაო სამოსის მდგომარეობის შეფასება ტრადიციული მეთოდების გამოყენებით, რაც მოიცავდა:

- ვიზუალურ ინსპექტირებას ზედაპირზე არსებული დაზიანებების ტიპის, სიმძიმისა და გავრცელების განსაზღვრის მიზნით;
- გეოტექნიკურ კვლევას, რომელიც მოიცავდა კერნების ამოღებას და ბურღვას საგზაო სამოსის სხვადასხვა მონაკვეთზე;
- ლაბორატორიულ ანალიზს, ამოღებული ნიმუშების კლასიფიკაციისა და მასალის მახასიათებლების დასადგენად.

კერნები ამოღებული იყო დაახლოებით 50 მეტრიანი ინტერვალებით, რაც გამოყენებულ იქნა როგორც ფენების სისქის განსაზღვრისთვის, ასევე GPR მონაცემების კალიბრაციისთვის.

- **GPR კვლევის მეთოდი**

არადესტრუქციული კვლევის მიზნით გამოყენებულ იქნა გრუნტში შემღწევი რადარი (GPR), კერძოდ **Noggin 1000 SmartCart** სისტემა, რომელიც მუშაობს 1000 MHz სიხშირეზე. აღნიშნული სიხშირე უზრუნველყოფს მაღალი გარჩევადობის გამოსახულებას და საკმარის სიღრმისეულ შეღწევადობას საგზაო სამოსის კვლევისთვის.

GPR მონაცემები შეგროვდა მოძრაობის მესამე ზოლის გარე საბურავის კვალზე, მონაკვეთზე 11+800–დან 12+700-მდე, ყოველ 0.01 მ ინტერვალით. მონაცემთა შეგროვების პროცესში გამოიყენებოდა სპეციალური საორიენტაციო მარკერები, რომლებიც აღნიშნავდა:

- ბზარების მდებარეობას
- კერნების ამოღების წერტილებს
- სხვა მნიშვნელოვან ზედაპირულ მახასიათებლებს

აღნიშნული მარკერები უზრუნველყოფდა GPR მონაცემების კორელაციას საველე დაკვირვებებსა და ლაბორატორიულ შედეგებთან.

- **მონაცემთა დამუშავება და ანალიზი**

GPR მონაცემების ინტერპრეტაცია განხორციელდა სპეციალიზებული პროგრამული უზრუნველყოფის გამოყენებით, რომლის მეშვეობითაც მოხდა:

- ასფალტისა და ცემენტბეტონის ფენების საზღვრების იდენტიფიცირება;
- ჰორიზონტების სიღრმის განსაზღვრა;
- ჰიპერბოლური ანომალიების ანალიზი (არმატურისა და სხვა ელემენტების იდენტიფიკაციისთვის);
- ბზარებისა და ნაკერების ლოკალიზაცია.

ფენების სიღრმის განსაზღვრა ეფუძნებოდა ელექტრომაგნიტური ტალღის გავრცელების სიჩქარის განსაზღვრას, რომელიც დადგინდა კერნების მონაცემების გამოყენებით. კვლევის ფარგლებში მიღებული საშუალო სიჩქარე შეადგენდა:

- 0.108 მ/ნწ — ასფალტის ფენისთვის
- 0.100 მ/ნწ — ცემენტბეტონის ფენისთვის

აღნიშნული პარამეტრები გამოყენებულ იქნა GPR მონაცემების კალიბრაციისთვის და სიღრმის ზუსტი განსაზღვრისთვის.

- **მეთოდების კომბინირებული გამოყენება**

კვლევის მნიშვნელოვანი ნაწილი იყო ტრადიციული და GPR მეთოდების კომბინირებული გამოყენება. კერნების ბურღვით მიღებული მონაცემები გამოყენებულ იქნა:

- GPR სიგნალების კალიბრაციისთვის
- ფენების სისქის სიზუსტის შესაფასებლად
- GPR ინტერპრეტაციის ვალიდაციისთვის

ამ მიდგომამ შესაძლებელი გახადა კვლევის სანდოობის გაზრდა და სხვადასხვა მეთოდით მიღებული შედეგების ურთიერთშედარება.

შედეგები

კვლევის ფარგლებში მიღებული შედეგები ეფუძნება როგორც გრუნტში შემღწევი რადარის (GPR), ასევე ტრადიციული საველე კვლევების (კერნების ბურღვა) მონაცემებს. მიღებული მონაცემების ანალიზმა შესაძლებელი გახადა საგზაო სამოსის სტრუქტურის დეტალური შეფასება, ფენების სისქის განსაზღვრა და ფარული დეფექტების იდენტიფიცირება.

- **ფენების სისქე და სტრუქტურა**

საველე კვლევებისა და კერნების ანალიზის საფუძველზე დადგინდა, რომ საგზაო სამოსი წარმოადგენს კომპოზიტურ სტრუქტურას, რომელიც შედგება ასფალტბეტონის, ცემენტბეტონისა და მარცვლოვანი საფუძვლის ფენებისგან.

მიღებული შედეგების მიხედვით:

- ასფალტის ფენის სისქე მერყეობდა **230–365 მმ** ფარგლებში;
- ცემენტბეტონის ფენის სისქე — **210–230 მმ** (საშუალოდ ~215 მმ);
- მარცვლოვანი საფუძვლის სისქე — **245–1020 მმ**.

ცხრილი 1. საგზაო სამოსის ფენების სისქეები კერნების მიხედვით

მდებარეობა	ასფალტბეტონის სისქე მმ.	ცემენტბეტონის სისქე მმ.	მარცვლოვანი ფენის სისქე მმ.	შენიშვნა
11+800	240	220	460	არმატურის სიღრმე 320 მმ
11+850	265	215	330	არმატურის სიღრმე 350 მმ
11+900	240	220	290	არმატურის სიღრმე 320 მმ
11+950	240	215	245	არმატურის სიღრმე 300 მმ
12+000	260	220	1,020	არმატურის სიღრმე 350 მმ
12+050	365	-	535	
12+100	240	220	400	არმატურის სიღრმე 310 მმ
12+150	270	220	500	არმატურის სიღრმე 410 მმ
12+200	275	215	450	არმატურის სიღრმე 345 მმ
12+250	310	215	625	არმატურის სიღრმე 385 მმ
12+300	255	215	500	არმატურის სიღრმე 400 მმ
12+350	240	215	445	არმატურის სიღრმე 325 მმ
12+400	250	210	640	არმატურის სიღრმე 365 მმ
12+450	250	215	445	არმატურის სიღრმე 350 მმ
12+500	230	230	420	არმატურის სიღრმე 320 მმ
12+550	240	215	445	არმატურის სიღრმე 315 მმ
12+600	245	210	405	არმატურის სიღრმე 340 მმ
12+650	260	215	365	არმატურის სიღრმე 410 მმ
12+700	250	210	350	არმატურის სიღრმე 305 მმ
საშუალო	245	205	445	

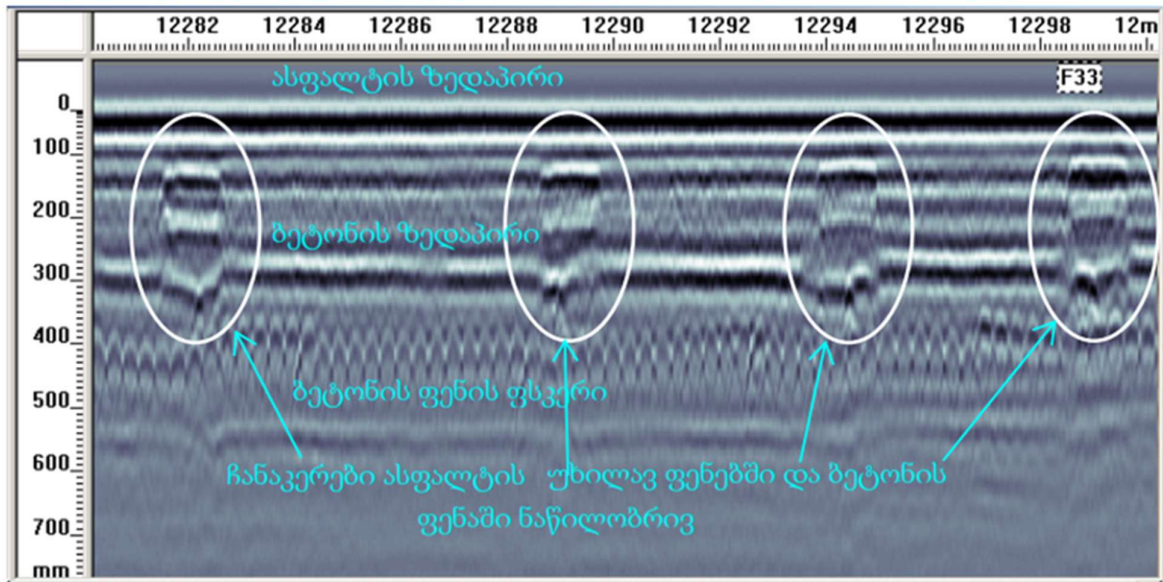
GPR მონაცემებით განსაზღვრული ფენების სისქეები მაღალი სიზუსტით დაემთხვა კერნების მონაცემებს. საშუალო გადახრა შეადგენდა:

- ასფალტის ფენისთვის — 3.1 მმ;
- ცემენტბეტონის ფენისთვის — 3.5 მმ.
- ფარული დეფექტებისა და სარემონტო ზონების გამოვლენა

GPR კვლევამ გამოავლინა მრავალი ისეთი სტრუქტურული თავისებურება, რომელიც ვიზუალური ინსპექტირებისას არ ფიქსირდებოდა. მათ შორის:

- დაფარული სარემონტო ზონები (ჩანაკერები);
- ნაწილობრივი და სრული სიღრმის შეკეთებები;
- ბზარების გავრცელება ქვედა ფენებში.

100-მეტრიან მონაკვეთში იდენტიფიცირდა 17 სარემონტო ზონა, რომელთა საშუალო სიგრძე შეადგენდა დაახლოებით 1 მ-ს. აღნიშნული ზონების უმეტესობა ზედაპირზე არ იყო ხილული და გამოვლინდა მხოლოდ GPR მონაცემების ანალიზით.



ნახ. 2. დაფარული სარემონტო ზონების იდენტიფიკაცია GPR მონაცემებით

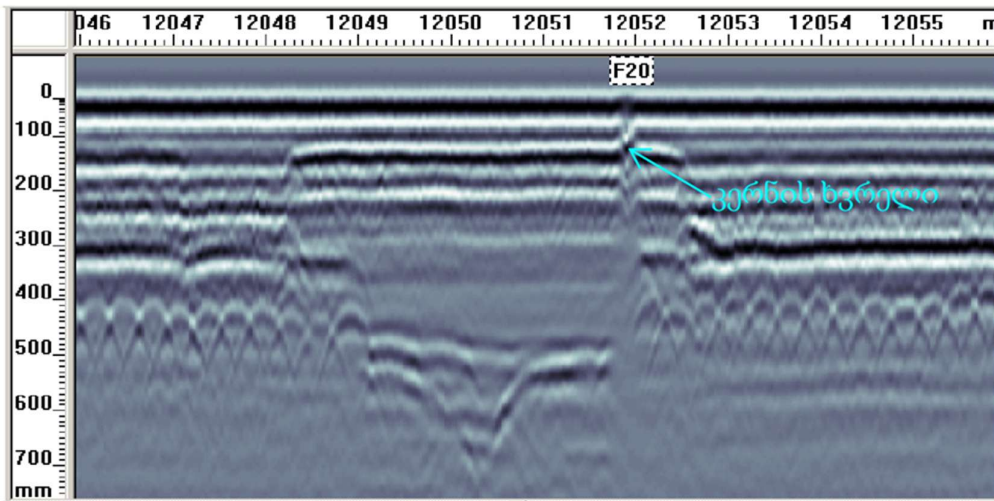
ერთ-ერთ მონაკვეთში (კმ 12+050) დაფიქსირდა სრული სიღრმის შეკეთება, სადაც ცემენტბეტონის ფენა მთლიანად იყო ამოღებული, რაც დადასტურდა როგორც კერნის ბურღვით, ასევე GPR გამოსახულებით.

არმირების დეტალები

GPR მონაცემებში მკაფიოდ ფიქსირდებოდა ფოლადის არმატურის მიერ წარმოქმნილი დიფრაქციული ჰიპერბოლები, რაც საშუალებას იძლეოდა მისი მდებარეობისა და სიღრმის განსაზღვრას.

მიღებული შედეგების მიხედვით:

- არმატურის საშუალო სიღრმე GPR-ით — **0.37 მ**;
- კერნების მიხედვით — **0.35 მ**;
- საშუალო სხვაობა — დაახლოებით **10 მმ**.



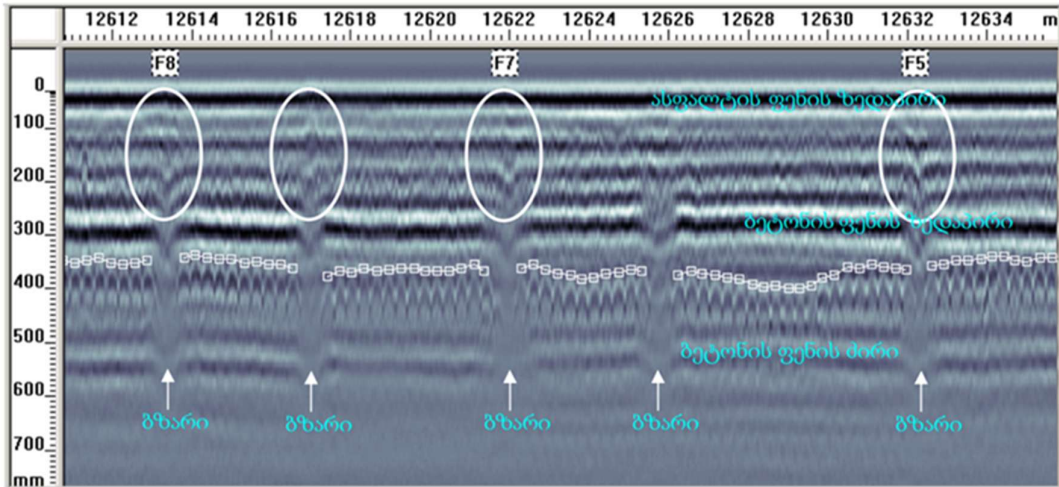
ნახ. 3. არმატურის ამსახველი ჰიპერბოლური ანომალიები GPR გამოსახულებაში

ბზარებისა და ნაკერების იდენტიფიკაცია

GPR მონაცემების ანალიზმა შესაძლებელი გახადა ბზარებისა და ნაკერების იდენტიფიცირება ცემენტბეტონის ფენაში. აღნიშნული მახასიათებლები გამოვლინდა:

- ჰორიზონტების წყვეტებით;
- სიგნალის დეფორმაციით;
- გაფანტული ჰიპერბოლური ანომალიებით.

ზოგიერთ შემთხვევაში დაფიქსირდა ასფალტის ფენაში არსებული რეფლექტორული ბზარები, რაც მიუთითებს ქვედა ბეტონის ფენაში არსებული ბზარების ზემოქმედებაზე.



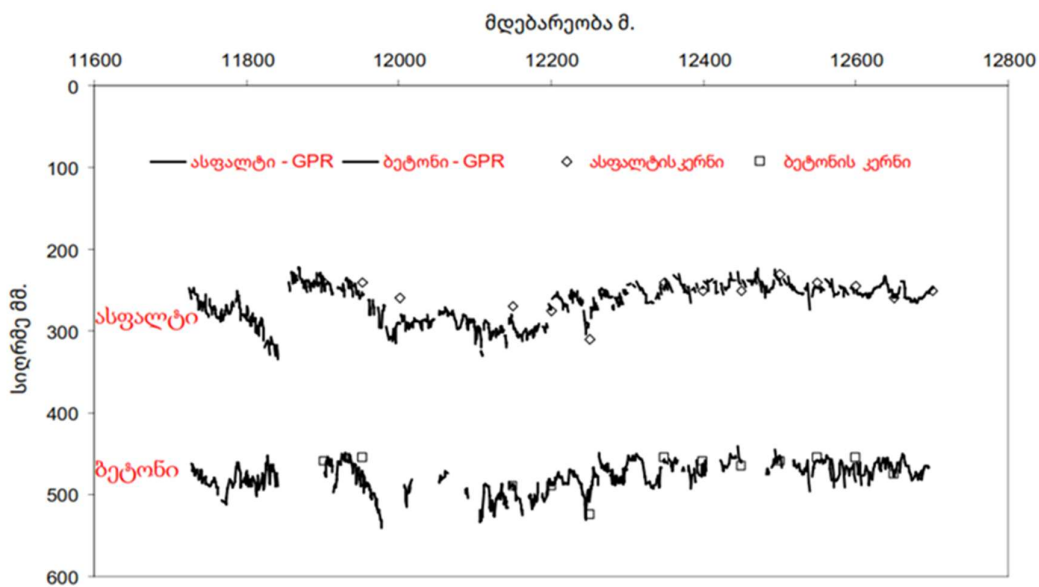
ნახ. 4. ბზარებისა და ნაკერების გამოვლენა GPR მონაცემებში

GPR მონაცემების ვიზუალიზაცია

GPR განივკვეთების გამოსახულებებში გამოიკვეთა სამი ძირითადი ჰორიზონტი:

- ასფალტის ზედაპირი;
- ცემენტბეტონის ფენის ზედა საზღვარი;
- ცემენტბეტონის ფენის ქვედა საზღვარი.

ამასთანავე, არმატურის ელემენტები წარმოქმნიდა დამახასიათებელ ჰიპერბოლურ სიგნალებს, რაც გამოიყენებოდა როგორც მათი იდენტიფიკაციისთვის, ასევე სიღრმის განსაზღვრისთვის.



ნახ. 5. GPR განივი კვეთის გამოსახულება საგზაო სამოსის სტრუქტურით

განხილვა

მიღებული შედეგები ნათლად მიუთითებს, რომ გრუნტში შემღწევი რადარი (GPR) წარმოადგენს ეფექტურ და სანდო ინსტრუმენტს საგზაო სამოსის კომპლექსური კვლევისთვის, განსაკუთრებით კომპოზიტური სტრუქტურების შემთხვევაში. კვლევის ფარგლებში მიღებული მონაცემების ანალიზმა აჩვენა, რომ GPR-ის გამოყენებით შესაძლებელია ისეთი სტრუქტურული მახასიათებლებისა და დეფექტების გამოვლენა, რომლებიც ტრადიციული მეთოდებით ან ვიზუალური ინსპექტირებით არ იდენტიფიცირდება.

ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი შედეგი იყო GPR მონაცემების მაღალი თანხვედრა კერნების ბურღვით მიღებულ მონაცემებთან. ფენების სისქის განსაზღვრისას დაფიქსირებული მცირე გადახრა (რამდენიმე მილიმეტრის ფარგლებში) ადასტურებს, რომ სწორად კალიბრირებული GPR უზრუნველყოფს მაღალი სიზუსტის შედეგებს. ეს განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია პრაქტიკული გამოყენებისას, რადგან ამცირებს დესტრუქციული კვლევების საჭიროებას და შესაბამისად - კვლევის ხარჯებსა და დროს.

კვლევამ ასევე ცხადყო GPR-ის მნიშვნელოვანი უპირატესობა ფარული დეფექტების გამოვლენაში. გამოვლენილი სარემონტო ზონების დიდი ნაწილი ვიზუალურად არ იყო იდენტიფიცირებადი, რაც მიუთითებს იმაზე, რომ მხოლოდ ზედაპირული ინსპექტირება ვერ ასახავს საგზაო სამოსის რეალურ მდგომარეობას. GPR-ის საშუალებით შესაძლებელი გახდა როგორც ნაწილობრივი, ასევე სრული სიღრმის შეკეთებების იდენტიფიცირება, რაც კრიტიკულია გზის რეაბილიტაციის სწორად დაგეგმვისთვის.

არმირების ელემენტების იდენტიფიცირება და მათი სიღრმის განსაზღვრა კიდევ ერთი მნიშვნელოვანი შედეგია. მიღებული მონაცემების თანხვედრა კერნების შედეგებთან მიუთითებს, რომ GPR ეფექტურად აფიქსირებს მეტალურ ელემენტებს და შეიძლება გამოყენებულ იქნას ბეტონის ფენის არსებობის ინდიკატორადაც. აღნიშნული განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია კომპოზიტური საფარების კვლევისას, სადაც ფენების სტრუქტურა რთულია და მათი ვიზუალური შეფასება შეზღუდულია.

ზხარებისა და ნაკერების იდენტიფიკაციამ აჩვენა, რომ GPR საშუალებას იძლევა შეფასდეს არა მხოლოდ არსებული დაზიანებები, არამედ პოტენციური პრობლემური ზონებიც. რეფლექტორული ზხარების დაფიქსირება მიუთითებს ქვედა ფენების დეფორმაციაზე და წარმოადგენს ადრეულ სიგნალს მომავალი დაზიანებების შესახებ. ეს შესაძლებლობა განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია პრევენციული ტექნიკური მომსახურების დაგეგმვისთვის.

მიუხედავად ზემოთ აღნიშნული უპირატესობებისა, კვლევამ აჩვენა გარკვეული შეზღუდვებიც. ზოგიერთ შემთხვევაში ბეტონის ფენის ქვედა საზღვარი მკაფიოდ არ იკითხებოდა GPR გამოსახულებაში, რაც დაკავშირებულია მასალების დიელექტრიკული

თვისებების დაბალ კონტრასტთან. აღნიშნული გარემოება შეიძლება გავლენას ახდენდეს ფენების სისქის განსაზღვრის სიზუსტეზე, განსაკუთრებით ღრმა ფენებში.

საერთო ჯამში, მიღებული შედეგები ადასტურებს, რომ GPR წარმოადგენს ძლიერ ინსტრუმენტს საგზაო სამოსის დიაგნოსტიკისთვის და მისი გამოყენება მნიშვნელოვნად ზრდის კვლევის ეფექტურობას. ტრადიციულ მეთოდებთან კომბინაციაში GPR უზრუნველყოფს უფრო სრულ და სანდო სურათს გზის საფარის მდგომარეობის შესახებ, რაც აუცილებელია ინფრასტრუქტურის მართვისა და რეაბილიტაციის გადაწყვეტილებების მისაღებად.

დასკვნა

წარმოდგენილ კვლევაში შეფასდა გრუნტში შემღწევი რადარის (GPR) გამოყენების ეფექტურობა კომპოზიტური საგზაო სამოსის კვლევაში, კანადის 401-ე მაგისტრალის მაგალითზე. მიღებული შედეგები ადასტურებს, რომ GPR წარმოადგენს მაღალეფექტურ არადესტრუქციულ მეთოდს, რომელიც უზრუნველყოფს საგზაო სამოსის სტრუქტურის დეტალურ და სანდო ანალიზს.

კვლევის შედეგად დადგინდა, რომ GPR მაღალი სიზუსტით განსაზღვრავს ასფალტისა და ცემენტბეტონის ფენების სისქეს, რაც დადასტურდა კერნების ბურღვით მიღებულ მონაცემებთან შედარებით. ასევე, ტექნოლოგიამ შესაძლებელი გახადა ფარული დეფექტების, სარემონტო ზონების, ბზარებისა და არმირების ელემენტების ეფექტური იდენტიფიცირება, რომლებიც ვიზუალური ინსპექტირებისას არ ფიქსირდება.

განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია GPR-ის შესაძლებლობა გამოავლინოს ისეთი სტრუქტურული ცვლილებები, რომლებიც დაკავშირებულია როგორც წარსულში ჩატარებულ სარემონტო სამუშაოებთან, ასევე პოტენციურ მომავალ დაზიანებებთან. აღნიშნული მნიშვნელოვნად ზრდის გზის საფარის მდგომარეობის შეფასების სიზუსტეს და ქმნის საფუძველს რეაბილიტაციისა და ტექნიკური მომსახურების ოპტიმალური დაგეგმვისთვის.

მიუხედავად გარკვეული შეზღუდვებისა, რომლებიც დაკავშირებულია მასალების ფიზიკურ თვისებებთან და სიგნალის ინტერპრეტაციის სირთულეებთან, GPR-ის გამოყენება ტრადიციულ მეთოდებთან კომბინაციაში უზრუნველყოფს მაქსიმალურად სრულყოფილ და სანდო შედეგებს.

საერთო ჯამში, გრუნტში შემღწევი რადარი წარმოადგენს პერსპექტიულ და პრაქტიკულად მნიშვნელოვან ინსტრუმენტს საგზაო ინფრასტრუქტურის მართვის სფეროში, რომლის გამოყენება მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს დიაგნოსტიკის ხარისხს,

ამცირებს კვლევის ხარჯებს და ხელს უწყობს მდგრადი და ეფექტური საინჟინრო გადაწყვეტილებების მიღებას.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Daniels, David J. *Ground Penetrating Radar*. 2nd ed. London: Institution of Engineering and Technology, 2004.
2. Saarenketo, Timo, and Tom Scullion. "Road Evaluation with Ground Penetrating Radar." *Journal of Applied Geophysics* 43, no. 2–4 (2000): 119–138.
3. ASTM International. *ASTM D6432-11: Standard Guide for Using the Surface Ground Penetrating Radar Method for Subsurface Investigation*. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2011.
4. Al-Qadi, Imad L., and Samuel Lahouar. "Measuring Layer Thicknesses with GPR – Theory to Practice." *Construction and Building Materials* 19, no. 10 (2005): 763–772.
5. Huginschmidt, Jürgen. "Road Condition Evaluation Using Ground Penetrating Radar." *Journal of Applied Geophysics* 43, no. 2–4 (2000): 105–117.
6. Scullion, Tom, and Timo Saarenketo. *Ground Penetrating Radar Applications in Pavement Engineering*. Federal Highway Administration Report, 1998.
7. Wei, Shun, et al. "Study on Ground-Penetrating Radar Response and Void Detection in Concrete Pavements." *Sensors* 25, no. 18 (2025).
8. Xiong, Xuetang, et al. "Evaluation of Asphalt Pavement Internal Distresses Using Three-Dimensional Ground-Penetrating Radar." *International Journal of Pavement Research and Technology* (2024).
9. Xie, Shuo, et al. "GPR Feature Enhancement of Asphalt Pavement Hidden Defects Based on Image Processing Methods." *Sensors* (2025).
10. ალექსი ბურდულაძე, თეიმურაზ არევაძე. საგზაო სამოსის მდგომარეობის შეფასება და მდგომარეობის ინდექსის გამოყენება საგზაო ქსელის კვლევის პროცესში. *Georgian Scientists*. Vol. 8 Issue 1, 2026. <https://doi.org/10.52340/g.s>. 2026. 08.01.19

Application of Ground Penetrating Radar (GPR) in Non-Destructive Pavement Investigation

Teimuraz Arevadze

Georgian Technical University PhD Student

Abstract

Ground Penetrating Radar (GPR) is a modern and effective non-destructive method for pavement investigation, based on the use of high-frequency electromagnetic waves. This technology enables the acquisition of detailed information about pavement structure, including layer thickness, material properties, moisture content, and the presence of various types of internal defects, without the need for destructive intervention.

This paper presents the application of GPR technology for pavement evaluation, using a case study from a selected section of Highway 401 in Canada. The study involved an assessment of pavement condition using both traditional methods (visual inspection, core drilling, and laboratory analysis) and data obtained from GPR measurements. Particular attention was given to the calibration of GPR data against core sample results, ensuring the accuracy and reliability of the obtained measurements.

The results demonstrated that GPR can accurately determine the thickness of asphalt and concrete layers, with minimal deviation when compared to data obtained from core drilling. In addition, the technology proved effective in identifying hidden structural elements and defects, such as reinforcement, concrete joints, partial and full-depth repairs, as well as cracks that are not visible during surface inspections.

The findings indicate that GPR is a valuable tool for comprehensive pavement assessment, particularly in the case of composite structures where traditional methods are limited. Its application significantly improves diagnostic accuracy, reduces investigation costs, and supports the optimal planning of rehabilitation and reconstruction processes.

Keywords: Ground Penetrating Radar (GPR), pavement, non-destructive testing, composite pavement, cracks, layer thickness, reinforcement, pavement rehabilitation