

Georadar a pályaszerkezet tervezés és gazdálkodás szolgálatában

Evaluation of GPR technology for civil-engineering applications: Case studies on Hungarian road network

RUNA Boglárka¹, BALOGH Olivér¹

¹RODEN Mérnöki Iroda Kft., 1089 Budapest, Villám utca 13.,
tel: (36-1)814-97-00, fax: (36-1)814-97-03,
e-mail: roden@roden.hu, honlap: www.roden.hu

Abstract

The design and management of pavement structures increasingly depend on advanced non-destructive testing (NDT) methods during condition assessments. Ground Penetrating Radar (GPR) technology can be employed for the surveying of critical transport infrastructure, such as roads, reinforced concrete structures and for the sensing and mapping of underground utilities and voids. This paper presents case studies conducted on Hungarian road network to demonstrate the applicability of GPR technology.

Keywords: GPR, non-destructive, road inspection, utility mapping, reinforcement corrosion

Kivonat

A pályaszerkezet tervezés és gazdálkodás egyre erősebben támaszkodik az állapotfelmérések során a fejlett roncsolásmentes vizsgálati eljárásokra. Ezek közül kiemelkedik a georadar technológia, amely kellő megbízhatósággal képes információt szolgáltatni útpályák és vasbeton szerkezetek szerkezeti felépítéséről és állapotáról, továbbá alkalmas a felszín alatti üregek és a közművezetékek nyomvonalainak térképezésére. Ezen cikkben esettanulmányok bemutatásával igazoljuk a georadar alkalmazásában rejlő potenciált.

Kulcsszavak: GPR, roncsolásmentes, útpályadiagnosztika, közműkutató, korrózióvizsgálat

1. BEVEZETÉS

Az Építményinformációs Modellezés (BIM) térnyerésével kiemelt fontosságúvá vált a valóság minél pontosabb leképezése és a modell input adatainak meghatározása. A beruházás/felújítás megkezdése előtt végrehajtott roncsolásmentes georadar (GPR) vizsgálatokkal jelentős idő és költségmegtakarítás érhető el, mivel alkalmazásával meghatározhatók a felújítás tervezéshez és a kivitelezéshez elengedhetetlen információk, úgy mint a pályaszerkezet rétegrendje, szerkezeti határai, rétegek vastagsága és állapota, valamint a beruházási területen térképezhetők a felszín alatti üregek és a közművezetékek nyomvonalai. Azon beruházásoknál, ahol az előkészítő fázisban nem kerül feltárásra a felszín alatti térrész az előre nem látható problémák jelentős többlet költségeket eredményezhetnek a kivitelezési fázisban. Ezen túl a radar technológia a fenntartási fázisban is alkalmazható. Ismételt mérések végrehajtásával az infrastruktúra állapotváltozása nyomon követhető ezáltal a javítási, fenntartási költségek minimalizálhatók és az élettartam meghosszabbítható.

A georadar technológia fő előnye abban rejlik, hogy gyorsan és a forgalom zavarása nélkül lehet nagymennyiségű mérést úgy végrehajtani, hogy közben nem okozunk kárt a vizsgált szerkezetben. A RODEN Mérnöki Iroda Kft. a pályaszerkezet tervezések során a hagyományos mintavételezési eljárásokon túl georadaros pályaszerkezet vizsgálatokat is végez a speciálisan ezen célra kifejlesztett, mérőautóra rögzített, roncsolásmentes útpályadiagnosztikai mérőrendszerével. A mérőrendszer alkalmazásával nagy pontosságú, folytonos információt szolgáltatunk az útpálya rétegrendjéről, a pályaszerkezeti rétegek vastagságáról, nedvességviszonyairól, a vasbeton szerkezetek felépítéséről és állapotáról, valamint a homogén szakaszokról. Emellett cégünk közmű- és üregkutatót is végez az ezen célra kifejlesztett, különböző frekvenciájú földkapcsolt eszközökkel. Közel 5 éve foglalkozunk georadaros vizsgálatokkal, melynek során több mint 1000

km útszakaszt mértünk fel, így jelentős tapasztalatra tettünk szert a technológia alkalmazásának tekintetében. Ezen cikkben három esettanulmány bemutatásával igazoljuk a georadar technológia közúti célú használatában rejlő potenciált.

2. ANYAG ÉS MÓDSZERTAN

A georadar technológia elektromágneses sugárzáson alapul, az építőiparban is széles körben alkalmazott sekélygeofizikai módszer, amely nagy frekvencián kisugárzott elektromágneses impulzusok felhasználásával működik. A mérések fizikai alapja, hogy a kibocsátott impulzusok a különböző dielektromos tulajdonságú rétegek és objektumok határaitól visszaverődnek [1]. A nagy frekvenciának és terjedési sebességnek köszönhetően a felszín alatti térrészről nagy felbontású mélység-idő szelvények készíthetők [2]. A szelvényképeken követhető a pályaszerkezet rétegfelépítése, a rétegek lefutása, vastagsága, valamint feltárhatók a felszín alatti objektumok és anomáliák, például üregek, rétegelválások.

Az építőiparban alkalmazott radar antennáknak két fő típusát különböztetjük meg: földkapcsolt és levegőkapcsolt, ún. HORN antennák. Ez utóbbit specifikusan a közlekedési infrastruktúra vizsgálatára fejlesztették ki, melynek köszönhetően lehetségessé vált hosszabb útszakaszok egyidejű, nagy sebességgel történő, forgalomkorlátozás nélküli felmérése. Az előbb említett előnyök miatt az útpályadiagnosztika gyakorlatában leginkább ezen antenna típus alkalmazása terjedt el [3].

2.1. RODEN Mérnöki Iroda útpályadiagnosztikai mérőrendszere

Cégünk egy hordozó gépjármű átalakításával kiépített egy útpályadiagnosztikai mérőrendszert, mely különböző mérőeszközöket (georadar rendszer, helymeghatározó rendszer, videókamera rendszer) integrálva alkalmas nagy pontosságú folytonos pályaszerkezeti információgyűjtésre. A georadar rendszer 4+1 db levegőkapcsolt antennából, egy adatgyűjtő és vezérlő rendszerből, valamint egy távolságmérő berendezésből áll. Az antenna elrendezés biztosítja a vizsgált sáv teljes szélességű lefedését, a mérés reprodukálhatóságát, valamint az útpálya nagy sebességgel történő felmérését. A nagy pontosságú helymeghatározást egy, a vezérlőegységhez csatlakoztatott Leica RTK GPS biztosítja. A videókamera rendszer 4 db GoPro HD kamerából, egy GPS-ből, valamint egy rögzítő eszközből épül fel. A georadar adatok és a videófelvevételek integrációja koordináta alapon történik. A mérőrendszer által szolgáltatott adatok opcionálisan kiegészíthetők ortofotókkal is, ezáltal növelhető a felszíni állapotértékelés részletessége [4].



1. ábra. A RODEN Mérnöki Iroda útpályadiagnosztikai mérőrendszere

3. ESETTANULMÁNYOK

Az elmúlt évek során a 2018-1.1.2-KFI-2018-00029 szerződésszámú projekt, valamint a piacra lépést követően elnyert megbízások keretein belül több mint 1000 km hosszúságú útszakasz pályadiagnosztikai vizsgálatát végeztük el, melyek között szerepelnek autópálya szakaszok, főutak, alsóbb rendű utak, teszt pályák. Emellett különböző vasbeton szerkezetek szerkezeti és állapotvizsgálatával, valamint üreg és közműtérképezéssel is foglalkoztunk. A következőkben esettanulmányok bemutatásával részletesen ismertetjük, hogy a georadar technológia alkalmazásával milyen információkat kaphatunk a felszín alatti térrészről és ezen információk hogyan implementálhatók a felújítás tervezés, a kivitelezés és a fenntartás munkafolyamataiba.

3.1. M7 autópálya georadaros pályaszerkezet vizsgálat

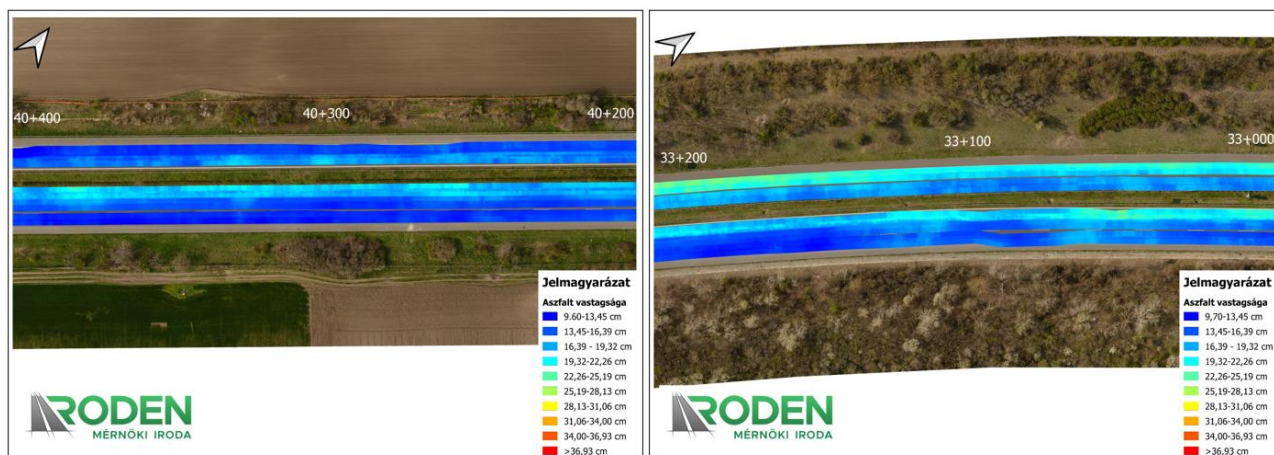
Az M7 autópálya 16+200 – 90+603 km+m szelvények közötti szakaszán a pályabővítéshez kapcsolódóan 2024 tavaszán georadaros vizsgálatot hajtottunk végre a jobb és a bal oldal forgalmi és leállósávjában. A vizsgálat célja a tervezés előkészítő fázis támogatása volt a pályaszerkezet részletes diagnosztikai állapotfelméréssel. A teljes tervezési szakasz felmérése mindössze 5 terepi munkanapot vett igénybe, melynek biztosításához elegendő volt egy mozgó terelés, így a méréssorozat jelentősebb forgalomkorlátozás, sávlezárás nélkül valósult meg.

A vizsgálat során a következő, tervezés szempontjából kiemelten fontos, azonban egyéb vizsgálati módszerekkel nem, vagy csak pontszerűen vizsgálható kérdésekre kerestük a választ:

- Igaz-e az, hogy a 2002-es terveknek megfelelően változó aszfaltvastagsággal javították a pálya esését 1,5%-ról 2%-ra?
- Az aszfaltvastagság adatok alapján igazolható-e, hogy a tetőszelvényben a külső él alatt vékonyabb az aszfalt mint a belső él alatt, valamint, hogy túlemelésben a külső él aszfaltja vastagabb mint a belső él aszfaltja?
- Szőnyegezés tervezéséhez az összes-hengerelt aszfaltvastagság hossz- és keresztmetszet menti változásának meghatározása. Az adatok birtokában ellenőrizhető, hogy a felújításhoz kapcsolódóan tervezett marás eléri-e a beton burkolatot vagy más megközelítésben mennyi aszfalt marad a betonszerkezeten a marást követően.
- Milyen állapotban van a '60-as '70-es években épült beton pályaszerkezet?
- A pályaszerkezet különböző mélységtartományaiban víz jelenlétének vizsgálata.

A radarméréseket a fűrtmintavétel eredményeivel validálva meghatároztuk, hogy a radaros rétegvastagság meghatározást átlagosan 2,9% hiba terhelte. Ez alapján kijelenthető, hogy a vastagsági értékek kontrolljaként a roncsolásmentes georadaros rétegvastagság meghatározás pontossága elérte a fúrásokkal történő ellenőrzés megbízhatóságát. A radarmérések igazolták, hogy a betonpályához hozzáépített leállósávokban, illetve a bal oldali többlet előzősávban a rétegfelépítés és a rétegvastagság eltér a főpálya szerkezetétől.

A radarral feltárt aszfaltvastagság adatokat elemezve kimutatható volt, hogy mind a jobb, mind pedig a bal pályán a kétoldali beton burkolatszél felett tendenciózusan eltérő az aszfaltvastagság. Ezen megállapítást a jobb pálya betonburkolatán megvalósult geodéziai geometriai vizsgálatok is alátámasztják. A kétoldali aszfaltvastagság különbség alapján a 2002-es terveknek megfelelő 0,5%-os esés javítás érték alig néhány helyen jön ki pontosan, jellemzően ennél kisebb javítást sikerült csak építeni.



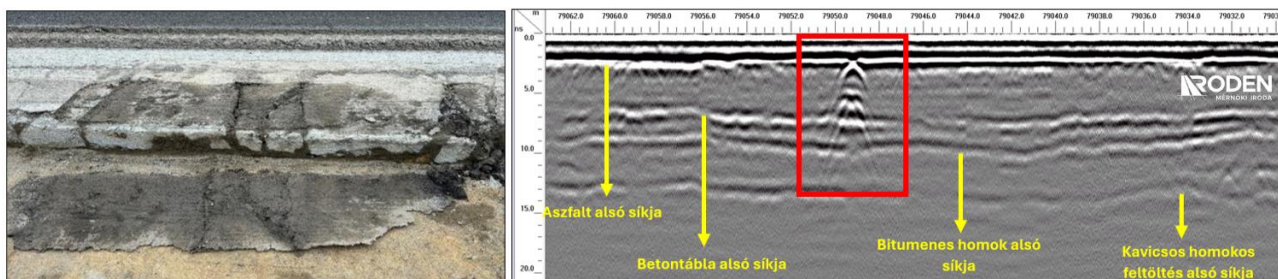
2. ábra. M7 autópályán radarvizsgálat eredményeként meghatározott aszfaltvastagság keresztmetszet menti változása

A jobb oldali betonpályán jól kimutathatóan az aszfaltvastagság azt az elvet követi, hogy túlemelésben a külső él aszfaltja a vastagabb, tetőszelvénynél pedig a külső él aszfaltja a vékonyabb. Az előbbi tendencia a bal oldalon szintén kimutatható volt, azonban több anomália is árnyalta az eredményt. Az anomáliákat igazolta a bal pálya 61+120 – 61+160 km+m szelvényei között betontábláig megvalósult aszfaltmarás, amely feltárta, hogy a tervekkel ellentétben a betontábla feletti kiegyenlítő aszfaltréteg a H2 sáv felől a betoncsík leállósáv felőli oldaláig fokozatosan vastagszik.

A radarmérés eredményeként megfelelő pontosságú, folytonos információt kaptunk a betonpálya feletti összes hengerelt aszfaltvastagság hossz- és keresztmetszet menti változásáról. Ezen adatok elengedhetetlen fontosságúak a szőnyegezés tervezéséhez, mivel felhasználásukkal ellenőrizhető, hogy a felújításhoz kapcsolódóan tervezett marás eléri-e a beton burkolatot. Egyéb vizsgálati módszerekkel ezen pályaszerkezeti adatok feltárására nem lett volna lehetőség. A technológia tervezést előkészítő fázisban történő alkalmazásának jelentőségére hívja fel a figyelmet, hogy a jobb és a bal oldalon a betonpálya teljes területének 11%-án tártunk fel olyan szakaszokat, ahol az aszfaltvastagság legalább az egyik forgalmi sáv teljes sáv szélességében, minimum 100 méter hosszúságú szakaszon, legalább 20 mm-rel alacsonyabb a tervezettnél. Ezen vastagsági hiánnyal jellemezhető keresztmetszetek ismerete kritikus fontosságú a marás tervezéséhez, hiszen a nem körültekintően meghatározott marási mélység könnyen a tervezettnél kisebb bennmaradó aszfaltvastagsághoz, vagy akár a beton burkolat felszínének marásához is vezethet.

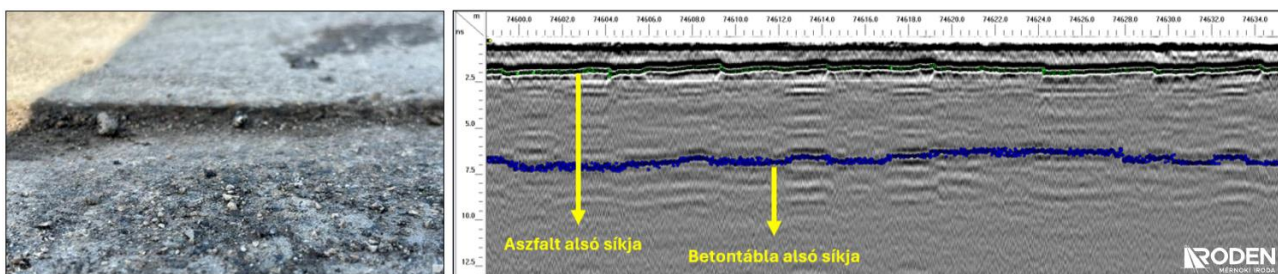
Az M7 autópályán végrehajtott radarvizsgálatnak köszönhetően lehetőség nyílt a '60-as '70-es években épült betonpálya állapotának feltárására. A radar szelvényképek elemzésével képet kaptunk a felszín alatti pályaszerkezeti hibákról és anomáliákról. A projektszakaszon három, ismétlődően megjelenő hibatípust határoztunk meg, melyek validációjára is lehetőségünk nyílt a beton feletti aszfaltréteg rövid szakaszokon megvalósult bontásával. Ezen három jellemző hibatípus a következő:

- Nagy szélességű repedés: Ezen hibatípus megjelenésében szisztematikusság volt azonosítható, amely alapján arra következtettünk, hogy a betontáblák aszfaltozást megelőző törése során létrehozott repedések mentén, vagy a táblahatárokon mozgó víz erodáló hatására jöttek létre. A nagy szélességű repedés hibatípus területi eloszlását elemezve megállapítottuk, hogy a régebben épült bal pályán nagyobb gyakoriságban jelentkezik mint a később kivitelezett jobb pályán.



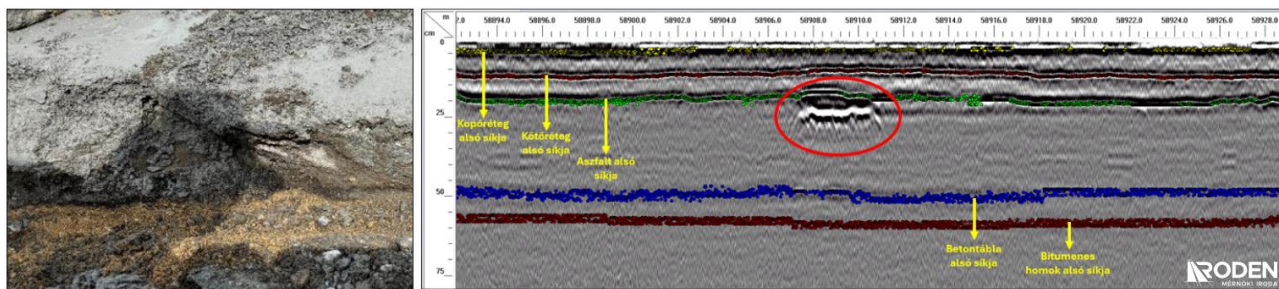
3. ábra. Aszfaltréteg leemelését követően a betontábla felületén láthatóvá vált nagy szélességű keresztrepedések (Fotó: iUtak Mérnök Iroda Kft.) (bal) és ezen hibatípus megjelenése a szelvényképen (jobb)

- Táblalépcsők, táblasüllyedések: Hézagvasalás nélküli betontáblák esetén a haladási iránynak megfelelően táblalépcsők, táblasüllyedések alakulnak ki. A projektszakaszon megvalósult radarmérések szelvényképein egyértelműen nyomozható volt a táblalépcsők megléte, valamint a mozgáshoz kapcsolódó táblasüllyedés nyomán kialakult „mélyedés” kiegyenlítő aszfalttal való kitöltöttsége. Eredményeink alapján a táblamozgás elsősorban a jobb pálya haladásávját érinti. A hibatípus meglétét alátámasztotta a jobb pályán betonszintig történt marás is, amely több helyen táblalépcsőt és a táblasüllyedés nyomán kialakult mélyedés aszfalttal való kitöltöttségét tárta fel.



4. ábra. Jobb pálya haladásávjában betonszintig történt marás által feltárt táblalépcső (Fotó: iUtak Mérnök Iroda Kft.) (bal) és táblalépcsők, táblasüllyedések megjelenése a szelvényképen (jobb)

- Betonlemez réteges elválása: A szelvényképeken számos helyen megfigyelhető volt a betonlemez réteges elválása, törése. A bontás során ezen hibatípus is feltárásra került, továbbá fúrt próbatesteken is azonosítható volt vízszintes elválás formájában.

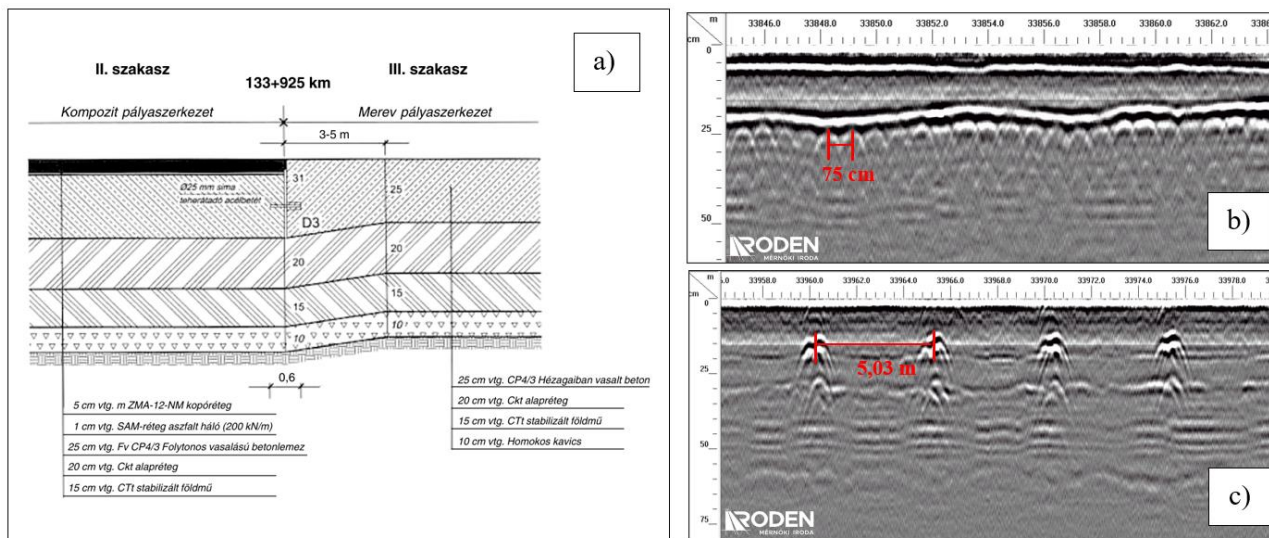


5. ábra. Bontást követően a betonlemezen belül feltárt réteges elválás (Fotó: iUtak Mérnök Iroda Kft.) (bal) és betonlemez réteges elválásának megjelenése a szelvényképen (jobb)

Az M7 autópálya vizsgálati szakaszán meghatározásra kerültek az egyes sávok pályaszerkezeti rétegeinek alsó síkjára vonatkozó dielektromos állandó értékek is, melyek relatív térbeli változásai alapján kijelöltük azon szelvényeket és mélységtartományokat, ahol a mérés időpontjában víz jelenlétére következtethettünk. Az eredmények egyértelműen kirajzolták, hogy a legjelentősebb vizesedési problémák a Székesfehérvár – Balatonfőkajár közötti szakaszon jelentkeznek. Emellett az is megállapítható volt, hogy kevés olyan hely van, ahol a vizesedés a jobb és a bal oldalon közel azonos tartományba esik, amely arra enged következtetni, hogy a meghibásodást nem a talajvíz, hanem a beton alatt hosszabb szakaszon migrálni képes víz okozhatja.

3.2. 44 sz. főút Békéscsaba-Gyula közötti betonburkolatú kísérleti útszakaszok vizsgálata

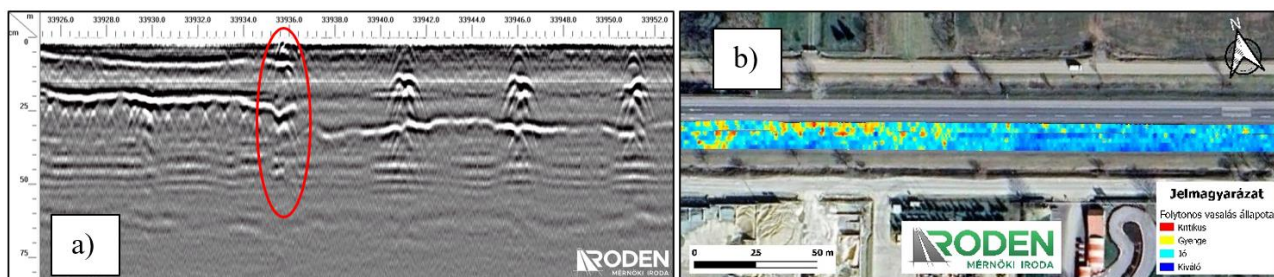
A georadar technológia alkalmas vasaltbeton szerkezetek vizsgálatára, használatával meghatározható a vasalás feletti burkolati rétegek vastagsága, a vasalások szerkezeti pozíciói, valamint lehatárolhatók a korrózió által érintett zónák. A korrózió korai feltárásával és gyors beavatkozással jelentősen megnövelhető a szerkezet várható élettartama. 2022. decemberében méréseket hajtottunk végre a 44 sz. főút Békéscsaba-Gyula közötti szakasz jobb oldalán, 133+525 – 134+325 km+m szelvények között kivitelezett kompozit és merev pályaszerkezetű próbaszakaszokon. A 2003-ban épült, vizsgálatba bevont, két db 400-400 méter hosszúságú próbaszakasz pályaszerkezeti rétegfelépítését a 6.a) ábra szemlélteti. A kompozit pályaszerkezet teherviselő betonlemezé folytonos vasalású, melyet a szakasz első felében 4 cm, míg a szakasz második felében 5 cm kopóréteggel fedtek le. A merev pályaszerkezetű próbaszakasz hézagaiban vasalt betonburkolatú [5]. Vizsgálatunk során azt akartuk feltárni, hogy a mérés irányára merőleges különböző típusú vasalások hogyan jelentkeznek a radar szelvényképeken, az azonosított vasalás távolságok megfeleltethetők-e a tervadatokban szereplő vasalási távolságoknak, valamint vizsgálhatók-e az olyan kritikus helyek, mint a két különböző pályaszerkezetű próbaszakasz csatlakozása. Emellett a vasalásokról visszavert radarjelek amplitúdójának ASTM–D6087–22 szabvány szerinti elemzésével vizsgáltuk a korrózió által érintett tönkremeneteli zónákat.



6. ábra. a) Kompozit és merev próbaszakaszok pályaszerkezeti rétegfelépítése és csatlakozása [5]; b) kompozit pályaszerkezet szelvényképe; c) merev pályaszerkezet szelvényképe

A vizsgálat eredményeként igazoltuk, hogy a radartechnológia alkalmas különböző vasalástípusok kimutatására és megkülönböztetésére. A kompozit pályaszerkezetű, folytonos vasalású próbaszakaszon a tervek szerint a keresztvasak 70 cm távolságonként kerültek elhelyezésre. Ezen keresztvasak távolsága a radar szelvényképeken átlagosan 75 cm volt. A szelvényképeken nyomon követhető volt a betonlemez feletti aszfalt kopóréteg tervek szerinti, hosszszelvény mentén kivastagodása is. A merev pályaszerkezetű, hézagaiban vasalt, betonburkolatú próbaszakasz keresztthézag vasalásai a tervek alapján egymástól 5 m távolságonként kerültek lefektetésre és rögzítésre. Ezzel egybehangzóan a radar szelvényképeken a hézagvasalások átlagos távolsága 5,03 m volt. A tervadatoktól való kis mértékű eltérés az építési pontatlanságra és a mérési bizonytalanságra vezethető vissza. Az eredmények alapján kijelenthető, hogy a georadar technológia alkalmas a vasalás módjának és a vasalások elhelyezkedésének meghatározására akár olyan szakaszokon is, ahol nincs előzetes ismeretünk a vasbeton szerkezetek felépítéséről.

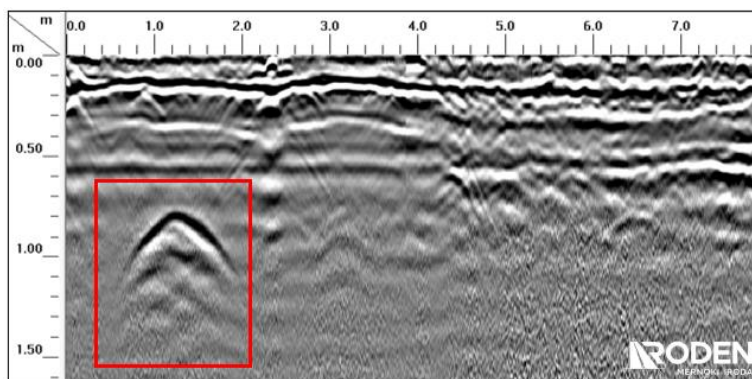
A két próbaszakasz csatlakozása a tervek szerint az alaprég szintkifuttatásával és vasalt keresztthézaggal történt, amelyek szintén nyomozhatók voltak a radar szelvényképeken. A csatlakozás megjelenése a 7. a) ábrán látható. A vasalásról visszavert radarjelek amplitúdó értékeinek elemzésével a kompozit pályaszerkezetű szakaszon vizsgáltuk a vasalás állapotát és lehatároltuk a korrózió által érintett zónákat. Eredményeink alapján a folytonos vasalású kompozit pályaszerkezet vasalása 80,6%-ban megfelelő állapotú volt. A mért amplitúdó értékeket koordináta alapon hő térképen ábrázoltuk, így lokalizálni tudtuk a korrózió által érintett vasalások pozícióit. A 7. b) ábrán látható, hogy a korrózió elsősorban a kompozit pályaszerkezetű kísérleti szakasz elejét, azon belül is az előzősávot érinti.



7. ábra. a) Kompozit és merev pályaszerkezet vasalt keresztthézaggal történt csatlakoztatásának megjelenése a szelvényképen; b) korrózióvizsgálat eredménytérképe

3.3. Közműhálózat térképezése a Magyar Közút Mérnökségi Telephelyén

Egy megbízás keretein belül, a Magyar Közút egyik délkelet magyarországi telephelyén, annak felújítás tervezéséhez kapcsolódóan georadar alapú közműhálózat térképezést hajtottunk végre egy többfrekvenciás földkapcsolt radar antennával és a hozzá csatlakoztatott magnetométerrel. A mérést megelőzően nem állt rendelkezésünkre információ a Telephely közművezetékeinek nyomvonalával kapcsolatban, így a felszín alatti térrész minél pontosabb leképezése érdekében gridhálók mentén végeztük el a ~1,9 hektáros tervezési terület felmérését. A megfelelő pontosságú helyazonosítás érdekében a georadarhoz egy Leica RTK GPS-t csatlakoztattunk, így rögzítésre kerültek a gridhálók mentén felvett hossz- és keresztzelvények nyomvonalai, valamint nagy pontossággal megadhatók voltak a szelvényképeken azonosított közművezetékek pozíciói. A magnetométer kiegészítő alkalmazásával kimutatható volt a radar felbontóképességénél kisebb átmérőjű elektromos földkábelek nyomvonala is.



8. ábra. Felszín alatti csapadékvízcsatorna megjelenése a szelvényképen

A terepi információk és a mérési eredmények együttes értelmezésével egyértelműen kirajzolódott az elektromos földkábel, a csapadékvíz csatorna, a szennyvíz csatorna, a telekommunikációs földkábel, a gázvezeték és a vízvezeték felszín alatti nyomvonala és mélysége. A radar szelvényképeken azonosított vezeték nyomvonalakat vektorizáltuk és az így kapott 3D vonalas elemeket CAD rajzként adtuk át a megrendelőnek.



9. ábra. Közművezetékek radarmérés alapján feltárt nyomvonalai

4. KONKLÚZIÓK

A fentiekben ismertetett esettanulmányok egyértelműen alátámasztják, hogy a roncsolásmentes radar technológia alkalmazásával szolgáltatott adatok széleskörűen alkalmazhatók a felújítás tervezés és kivitelezés, valamint az infrastruktúra fenntartás munkafolyamataiban. Az eredmények rávilágítanak a radarvizsgálatok kiegészítő alkalmazásának szükségességére is, hiszen a technológia használatával olyan információkat kaphatunk a felszín alatti térrészről, amelyek a tervezés során hagyományosan alkalmazott, gyakran roncsolásos vizsgálati módszerekkel nem, vagy csak pontszerűen meghatározhatók. Ezen információk birtokában feltárhatók és ezáltal elkerülhetők azon felszín alatti, előre nem látható problémák, amelyek jelentős többletköltségeket eredményezhetnek a kivitelezés és a fenntartás során.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Daniels J. J. *Ground Penetrating Radar Fundamentals, Appendix to a report to the U.S. EPA, Region V, Department of Geological Sciences, The Ohio State University, USA, 2000.*
- [2] Bigman D. P. *GPR Basics: A Handbook for Ground Penetrating Radar Users*, Bigman Geophysical, LLC, Suwanee, GA, USA, 2018.
- [3] Solla M., Pérez-García V., Fontul S. *A Review of GPR Application on Transport Infrastructures: Troubleshooting and Best Practices*. Remote Sensing. MDPI, 2021, 13, 672, 3-4.
- [4] Trenka S., Runa B., Balogh O., van-Leeuwen B., Fi I., Tóth Cs., Primusz P., Sipos Gy., Tobak Z. *Georadar alapú roncsolásmentes útpályadiagnosztikai módszertan bemutatása*. XXVII. Nemzetközi Építéstudományi Konferencia, 2023, 210-216.
- [5] Gáspár Cs. *A 44-es főút Békéscsaba és Gyula közötti próbaszakaszok építésének előkészítése*. Közúti és Mélyépítési Szemle, 2003, 53(12), 35-39.