

Vasúti töltések vizsgálata talajradarral

NEDUCZA B.

Mingeo Kft., H-1142 Budapest, Ráskai Lea u. 20.
E-mail: bneducza@mingeo.hu

A cikk módszert mutat be a vasúti pályatestek, töltések földradarral történő vizsgálatára. A bemutatott módszer a pályatest mentén folyamatos információt szolgáltat, és nagy előnye, hogy roncsolásmentes módszer, alkalmazásával kiváltható a pályatest fizikai megbontása, ugyanakkor alkalmazása nem akadályozza a vizsgált pályaszakasz forgalmát.

Neducza, B.: Railroad inspection using GPR

The paper presents a GPR (Ground Probing Radar) method for investigating the condition of railway tracks. Great advantages of the presented method is that it provides continuous information along the track, it is a non-destructive process and its application does not impede traffic on the section of track in question.

Beérkezett: 2021. december 13.; *elfogadva:* 2022. február 5.

Bevezetés

A 90-es évekig a vasúti töltések állagának felmérése a pályatest fizikai megbontásával járó közvetlen feltárásokkal, ún. vágatolásokkal történt. Ezzel az árkolós módszerrel ugyan részletes adatokat szereztek a töltés állapotáról az adott pontban, de a köztes szakaszokról nem kaptak információt. Mindemelllett a vágatolás relatíve költséges módszer, roncsolja a pályaszerkezetet, és a kivitelezéskor akadályozza a vasúti forgalmat.

A talajradar kézenfekvő választásnak tűnt a szükséges árkok számának csökkentésére és a köztes szakaszok rétegtrendjének meghatározására. Az eszközt addigra már sikeresen alkalmazták más, járműforgalommal összefüggő szerkezetek, például útburkolatok és hídburkolatok vizsgálatára (Davis et al. 1994, Maierhofer 2003), de a vasúton nem használták, mivel a talpfák, sínek, valamint számos felszínközeli és felszín alatti tárgyak kedvezőtlenül befolyásolják a vasúti radarméréseket. A felszínnel közvetlenül nem érintkező tölcserantennák megjelenése felgyorsította az adatgyűjtést, az adatfeldolgozás fejlődése forradalmasította az adatfeldolgozást a nagymennyiségű digitális adatrendszeren, így, bár a mérést zavaró külső hatások továbbra sem szűntek meg, a radarmérések értékelhetősége és eredményessége idővel jelentősen javult.

Kezdetben a vasúti radarmérések elsősorban a középső-lék-ágyazat, valamint az azt határoló természetes altalaj,

mint réteghatárok, később a szabadhézag-tartalomra fókuszálva az ágyazat elszennyeződésre, annak mértékére, esetleges hibahelyek felderítésére irányultak. Mivel a pályatest elhasználódásával az ágyazat finomrésztartalma növekszik, a szennyezett szakaszokon a jel nem hatol be elég mélyen a természetes talajba, ill. ha az ágyazati anyag benyomul a természetes talajba, a visszavert jel nem elég erős már az altalaj észleléséhez sem. Az új és a felújított vasutak szerkezetébe manapság egy speciális, rendkívül tartós geotextíliát építenek be, amelyen 5 méterenként egy 20 cm széles, a radarhullámokat jól reflektáló alumínium-csíkokat helyeznek el. A geotextília a radarjelek könnyebb észlelését teszi lehetővé a vasúti ágyazat és a természetes talaj réteghatár-változásainak jövőbeni ellenőrzéséhez, ennek révén pedig hozzájárul az ágyazat minőségi elváltozásainak megfigyeléséhez.

Adatgyűjtés

Az általunk alkalmazott esetekben az adatgyűjtés többszörös GSSI SIR-30 rendszerrel történik. Ez optimális konfiguráció a nagy sebességű, akár 80 km/h-val haladó, radart hordozó járművel történő adatgyűjtéshez is. A legjobb eredményeket egy vagy két 1 GHz-es „horn”, azaz a talaj fölött, attól eltartva vitt ún. tölcserantennával és egy kis frekvenciájú (250–350 MHz), a talajjal közvetlenül nem érintkező, levegőben is használható antenna kombinál-



1. ábra Radarmérés vasúti pályatesten két 1 GHz-es tölcsérantennával a széleken, míg a sínek között egy levegőben vitt 350 MHz-es antenna kombinációjával, a lehető legnagyobb adatgyűjtési sebesség eléréséhez többcsatornás GSSI SIR-30 rendszer alkalmazásával

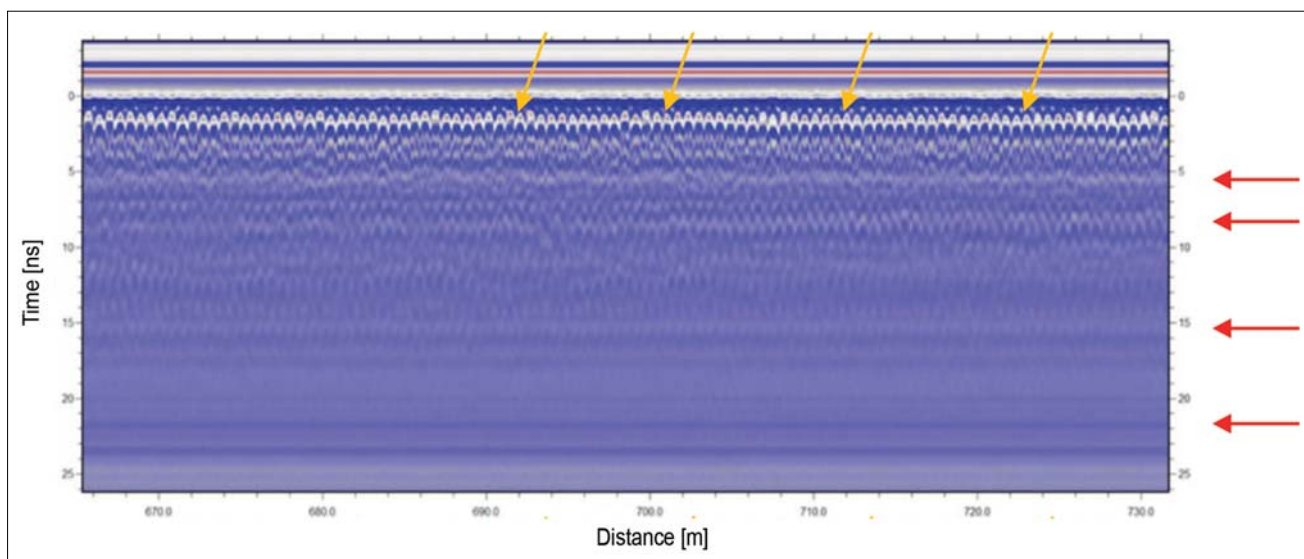
Figure 1 Combination of two 1 GHz horn antennae on the sides and a 350 MHz air-coupled antenna between the tracks were used in this configuration. A multi-channel GSSI SIR-30 system was used to reach the maximum data acquisition speed

sával érjük el (1. ábra). A tölcsérantenna nagy felbontást eredményez a kőzetalak-ágyazatról, kavicságyról és az altalajról, míg a nagyobb behatolású, kis frekvenciájú antenna az altalajról nyújt információt.

A helymeghatározáshoz nagy pontosságú DGPS rendszert használunk, így még nagy sebességű adatgyűjtés esetén is deciméter alatti pontosság érhető el.

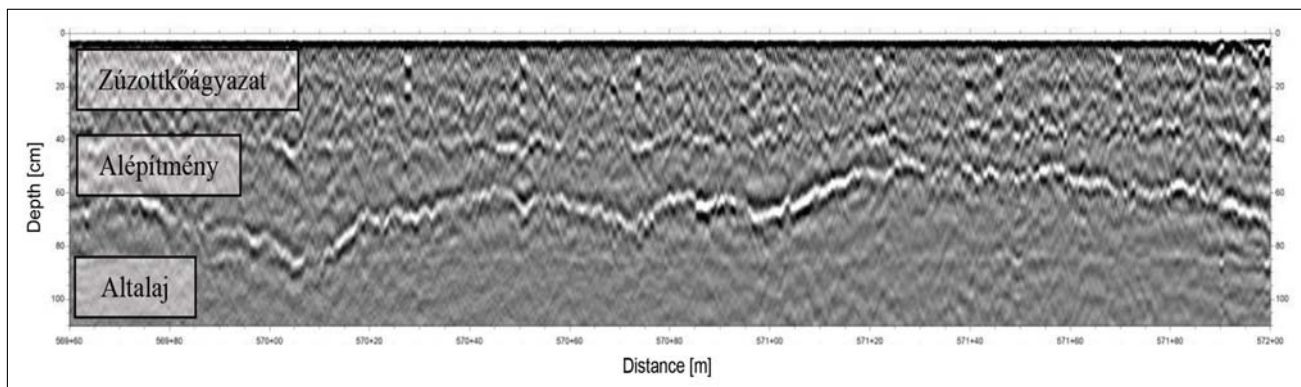
Adatfeldolgozás

A 2. ábrán egy vasúti pályán mért nyers taljradarmérés egy szakasza látható. A felvételen a keresztaljak erős hiperbolákkal jelentkeznek, 65 cm-es osztásközszel (narancssárga nyilak). A többi jól látható vízszintes, egyidejű beérkezés leginkább a sínekről és a mozdonyról kapott refle-



2. ábra Tipikus, kb. 60 méternyi vasúton mért feldolgozatlan radarszelvény. A diffrakciós hiperbolák (narancssárga nyilak) a keresztaljakról, a vízszintesen összeálló beérkezések (piros nyilak) leginkább a sínekről és a mozdonyról kapott reflexiókból származnak

Figure 2 Typical raw GPR section acquired on a railroad. The effect of sleepers is the strong hyperbolas with 65 cm spacing (orange arrows). The rest of the most important events are the horizontal reflections from the tracks and the locomotive (red arrows)



3. ábra | Feldolgozott szelvény, melyen jól követhetők a vasúti zúzottkőágyazat, valamint az alépítmény és az altalaj mélységének változásai
Figure 3 | The processed section, where the variation of railway ballast bed, subgrade and subsoil is well detected

xiókkal azonosítható (piros nyilak), amelyek elfedik az ágyazatból és a talajból kapott hasznos jeleket, így a feldolgozás során ezek hatását csökkentenünk kell.

A 3. ábrán bemutatott feldolgozott szelvényen már jól láthatók a zúzottkőágyazat, az alépítmény és az altalaj közti réteghatárok változásai is. A nyers felvételen a következő feldolgozási folyamatot alkalmaztuk:

1. Átalakítás WGS-ből EOV vagy UTM koordinátákra
2. Horizontális átmintavételezés
3. Time zero korrekció
4. Normálás
5. Háttérzajszűrés
6. Frekvenciaszűrés
7. Dőlésszűrés
8. Migráció
9. Idő/mélység konverzió
10. Nyomtatási kép kialakítása

A feldolgozás a geometriai transzformációval kezdődik, amellyel a GPS által szolgáltatott WGS koordinátákat EOV- vagy UTM-adatokká alakítjuk. Az adatgyűjtést – a maximális adatmennyiség elérése érdekében – időben állandó mintavétellel végezzük, így térbeli átalakító mintavételezést alkalmazunk, hogy térben egyenközű adatrendszert kapjunk. A szelvény nullidő-korrekciója kulcsfontosságú a levegőcsatolású antennák esetében, míg normálás során egy jól megválasztott erősítési függvényt használunk a teljes szakaszra, amivel megőrizzük az amplitúdó horizontális változását. A háttérzaj eltávolításával csökkentjük a vízszintes eseményeket, míg a dőlésszűrő eltávolítja a keresztaljak hatását. A frekvenciaszűrő és a migráció javítja a jel/zaj arányt. Végül beérkezési idő/mélység konverzióval készítjük el a végső, mélységkonvertált szelvényt.

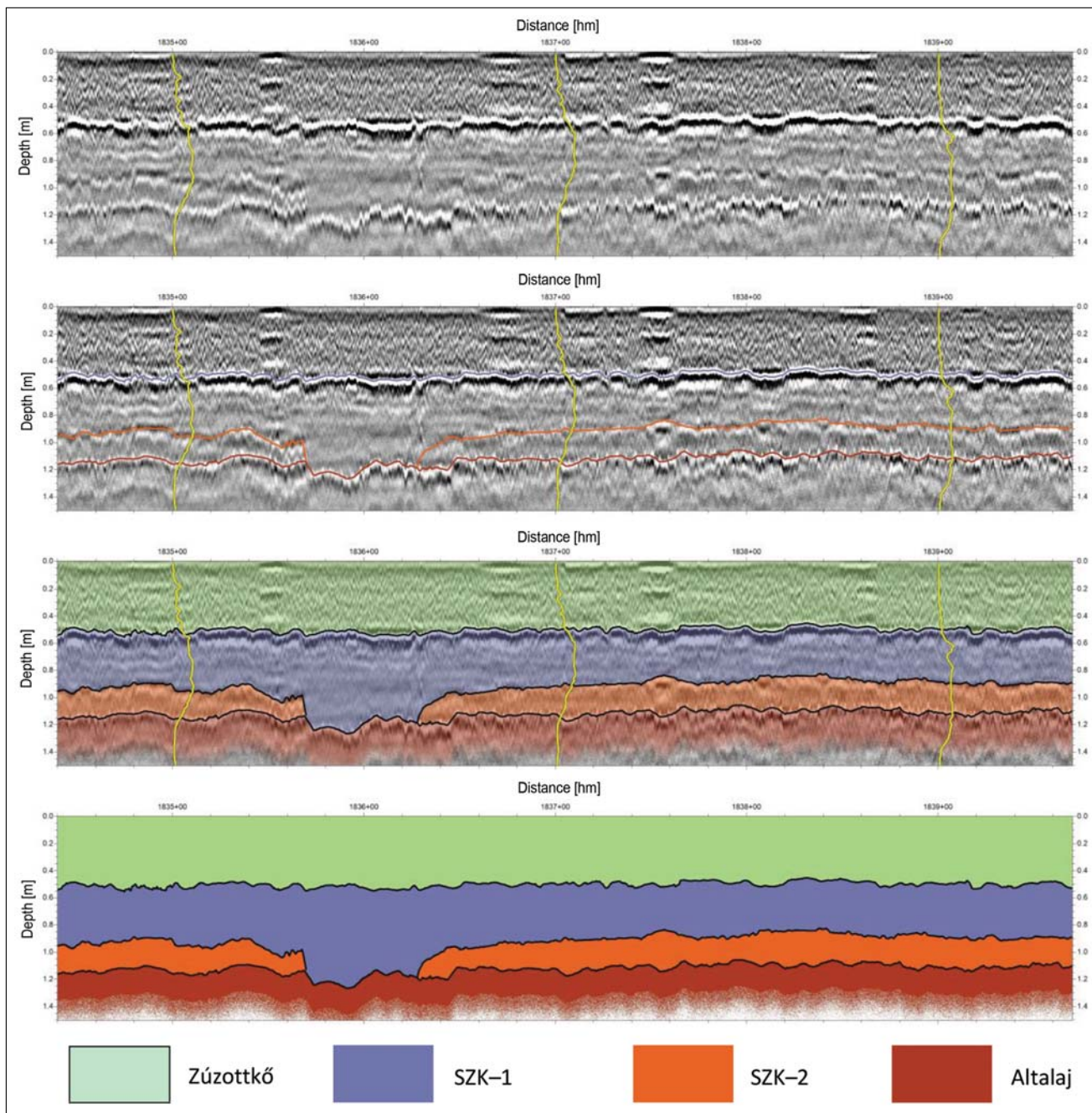
Értelmezés

Míg a hagyományos építésű vasúti pályák a radarmérés szempontjából csupán a zúzottkőágyazatból, esetlegesen az azon belüli elszennyeződések miatt kialakult rétegzett-

ségből, valamint az alépítmény és természetes talaj közötti réteghatárokból állnak, addig az új vagy felújított vasútvonalak a hagyományostól eltérően általában több réteghatárt is tartalmaznak, ezért ez utóbbiaknál nagyobb kihívást jelent a mérések értelmezése. Ezek pl. az SZK-1 és SZK-2-nek nevezett, különböző szemcseméretű anyagok keverékéből álló rétegek a zúzottkő alatt, amelyek a beszivárgó vizek elvezetésére szolgálnak, és a vágánystabilitás szempontjából is nagy jelentőséggel bírnak. A rétegek anyagának elkülönítése, jelenlétének, beépítési hiányainak felismerése, a réteghatár lejtésének követése kiemelkedő fontosságú a pályáépítés minőség-ellenőrzésének szempontjából. A következőkben a radarmérések ilyen irányú leképezési lehetőségeit mutatjuk be.

Az értelmezéshez egy jól felépített, saját fejlesztésű értelmezőrendszert használunk. A rétegek azonosítását megkönnyíti, hogy a feldolgozott radar-mélység-szelvényen a vágatolások és/vagy a CPT-szondázások félig átlátszó megjelenítései vizuálisan összevethetők a radarmérések adataival. A 4. ábrán bemutatott példában a 200 méterenként elvégzett CPT-szondázás szondacsúcsának ellenállási adatait használtuk fel a réteghatárok azonosításához a radarmérések adatai mellett. A rétegszerkezetet az értelmezőrendszer gyors, félautomata „picking” algoritmus jelölte ki. A bemutatott példán a zúzottkőágyazat alja, az SZK-1 és SZK-2 rétegek és végül az altalaj, tetején a jól reflektáló geotextíliát tartalmazó réteghatárok voltak azonosíthatók. A két módszerrel történő együttes értelmezés hatását jól jellemezte, hogy az SZK-2 réteg hiányát 1836 + 00-nál két CPT-szondázás között csak a talajradarral lehetett kimutatni. A megrendelő számára végül a kevésbé értelmezhető radarhullámkép helyett a bemutatott szinkódokkal ellátott adatsort adtuk át a további értékeléshez.

A gyakorlatban az SZK-1 és SZK-2 rétegek elkészítéséhez általában helyi anyagokat is felhasználnak, ha azok geotechnikai paraméterei megfelelőek, ezért az új építésű vasúti pályáknál az altalaj és felépítmény sokszor alig eltérő fizikai paraméterei nem tennék lehetővé a közöttük lévő réteghatár radarméréssel történő felismerését. Az építéskor az altalajra fektetett alufóliás geotextília



4. ábra Egy új építésű vasúti pályán mért radarmérés értelmezésének bemutatása a pálya kb. fél km-es szakaszán. A szelvények felülről lefelé: feldolgozott mélységszelvény, kiegészítve vágatolásokkal vagy CPT-szondázásokkal, félautomata „picking” algoritmussal meghatározott rétegszerkezet, végül az értelmezett szelvény

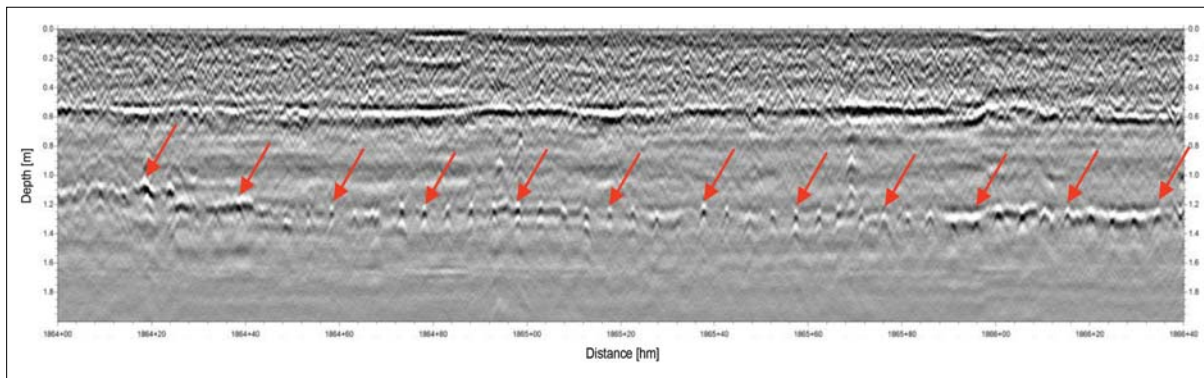
Figure 4 The process of railroad GPR interpretation starts with the processed depth sections with additional information from trench/CPT. Layer depth is picked with a fast semi-automatic picking algorithm and the result can be checked with transparent visualization. Finally, a layer sequence is given for the client

helyzete az útpálya későbbi ellenőrzésénél is mintegy vezérszintként nyomon követhető, lehetőséget adva arra, hogy az esetleges ágyazat süllyedését nyomon követhessük, ill. közvetve az ágyazat állapotát is ellenőrizhessük a későbbi radarmérésekkel. Az 5. ábrán egy jól reflektáló geotextíliáról kapott jelek nagyított képét mutatjuk be. A migrált szelvényen ezeket az eseményeket az

1,0–1,2 m mélységben látjuk. Az ábrán csak minden 4. csíkot jelöltük.

Összegzés

A talajradar gyors, hatékony és mindenekelőtt roncsolásmentes feltárási módszer, amelynek eredményei kiegészí-



5. ábra | Az alufóliás geotextiliáról kapott jelek egy új építésű kb. 240 méteres vasúti pályaszakaszon felvett radarmérésből (piros nyilak)

Figure 5 | A detailed view of the reflective geo-textile, where every 4th strip is marked. The detection of the natural ground is more straightforward with this reflective layer

tik a vasúti pályákon vágatásokból vagy CPT-szondázásokból nyert lokális információt a vizsgált szelvény mentén. Részletes eredményt ad a különböző rétegek változásairól, és jól használható adatokat a vasúti mérnökök számára az ágyzat felújításának tervezéséhez.

A tanulmány szerzője

Neducza Boriszláv

Hivatkozások

Davis J. L., Rossiter J. R., Mesher D. E., Dawley C. B., (1994): Quantitative measurement of pavement structures using radar. Proc. 5th International Conference on Ground Penetrating Radar, Kitchener, Canada. Waterloo Centre for Groundwater Research, pp. 319–334.

Maierhofer C. (2003): Nondestructive evaluation of concrete infrastructure with ground penetrating radar. ASCE Journal of Materials in Civil Engineering, 15/3, 287–297.