

## **NIEKTORÉ PRVKY TUNELOVÝCH KONŠTRUKCIÍ V GEORADAROVOM OBRAZE**

### **SOME ELEMENTS OF TUNNEL STRUCTURES IN GPR IMAGE**

**Vojtech Gajdoš<sup>1</sup>**

**S. V. Izjumov<sup>2</sup>**

**Martin Gajdoš<sup>3</sup>**

#### **ABSTRAKT**

V posledných rokoch sa pri inšpekcii dopravných stavieb vo väčšej miere začali používať georadarové merania. Jedným z takýchto dopravných objektov sú aj tunely a podzemné stavby. Skúsenosti ukazujú, že konštrukčné prvky takýchto stavieb sa pomerne dobre zobrazujú v získaných radarogramoch. Je pri tom potrebné akceptovať podmienky merania vyplývajúce z charakteru skúmaného objektu ako aj z požiadaviek na výber parametrov metodiky merania a meracieho zariadenia. V predkladanom príspevku budú prezentované výsledky takéhoto georadarového merania v tunelovej stavbe a dokumentované budú prejavy viacerých konštrukčných prvkov tunelovej stavby v georadarovom obraze.

#### **ABSTRACT**

In recent years, an inspection of traffic engineering to a greater extent started using geo-radar measurements. One of such transport facilities as well are tunnels and underground structures. Experience shows that the design features of such buildings is relatively well in most radarograms obtained. It is therefore the need to accept the conditions of measurement resulting from the nature of subjects, as well as the requirements for selection of the parameters of measurement methodology and measurement equipment. In the present post will be presented the results of such geo-radar measurements in tunnel construction and documented will exhibit a number of structural elements of tunnel construction in the GPR image.

## **1 Úvod**

Pri inšpekcii dopravných stavieb sa v ostatnej dobe príležitostne používajú georadarové merania. V literatúre je publikovaných viacero príkladov, ktoré prezentujú výsledky takýchto meraní. Z týchto výsledkov je zrejmé, že získaný radarový obraz poskytuje pomerne podrobné informácie o stave, štruktúre a priebehu rozhrania jednotlivých konštrukčných vrstiev a prvkov stavby. Pravdaže, na vytvorenie komplexnej informácie o konštrukčných prvkoch nepostačuje iba radarové meranie, je potrebné kombinovať jeho výsledky s ďalšími diagnostickými metódami. Výhodou georadarového merania je vysoká informačná hustota (prakticky spojitý obraz telesa vozovky na línii vedenej pozdĺž osi vozovky v celej jej hrúbke). V tomto príspevku chceme prezentovať niektoré výsledky

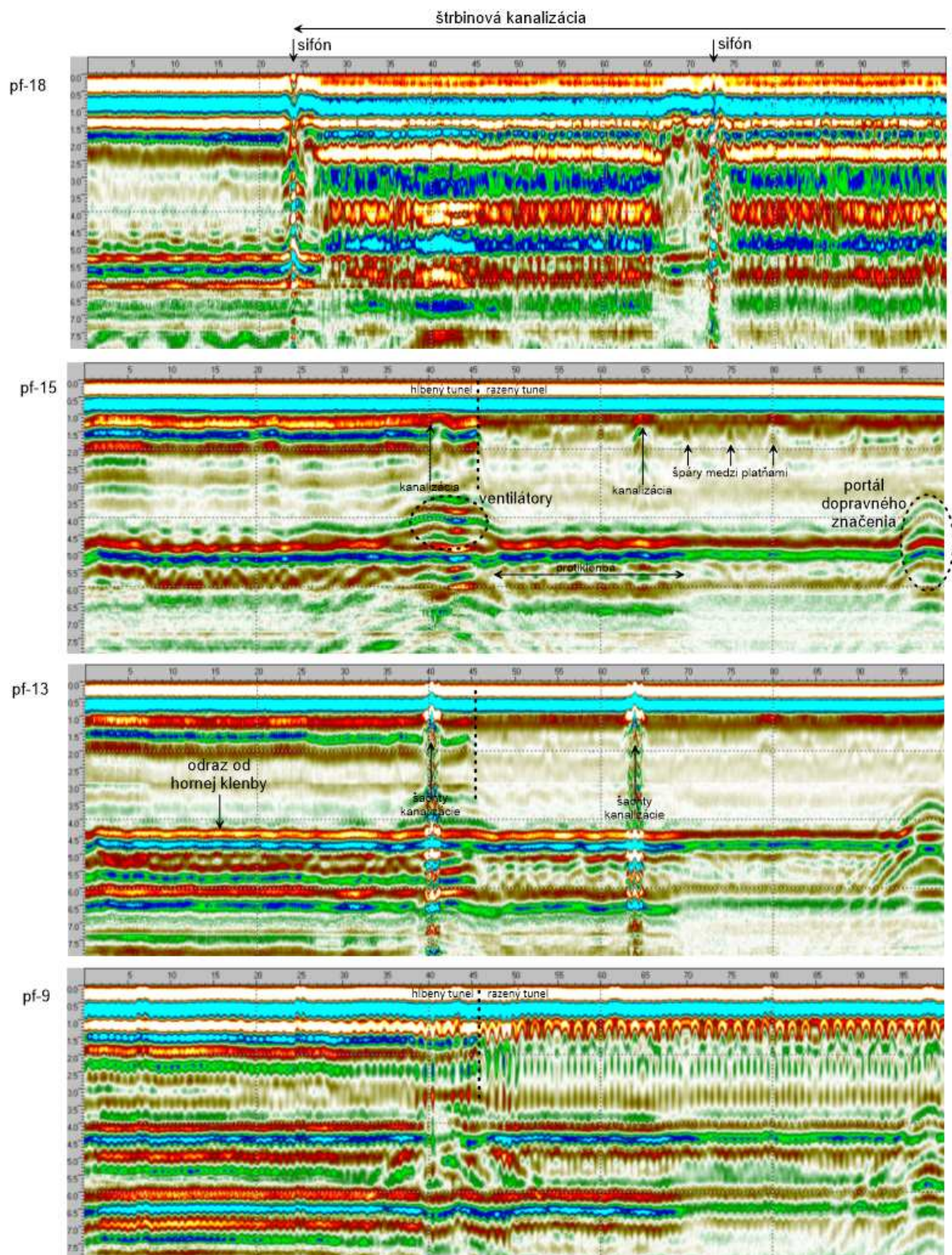
---

<sup>1</sup> Doc. RNDr. Vojtech Gajdoš, CSc., IngGeoCom s.r.o., Slatinská 16, 821 07 Bratislava, tel.: 0948038879, e-mail: [vojtechgajdos@gmail.com](mailto:vojtechgajdos@gmail.com)

<sup>2</sup> Ing. Sergej Viktorovič Izjumov, IngGeoCom s.r.o.,

<sup>3</sup> Mgr. Martin Gajdoš, IngGeoCom s.r.o., Slatinská 36, 821 07 Bratislava, tel.: 0903126147,

georadarového merania v tunelovej stavbe a poukázať na jeho informačný prínos k inšpekcii konštrukčných objektov takejto stavby.



Obr. 1 Príklady prejavov niektorých konštrukčných prvkov tunela vo vertikálnych radarových rezoch [2]

Fig. 1 Examples of some manifestations of design elements tunnel in vertical radar sections [2]

## 2 Georadar

Georadar je zariadenie, ktoré do horninového prostredia vysiela elektromagnetické impulzy a v prestávkach medzi impulzmi meria ich odrazovú odozvu od rozhraní, na ktorých sa mení permitivita  $\epsilon$  ( $D = \epsilon E$ ) materiálového prostredia.

Z technického hľadiska je potrebné konštrukciu radaru navrhnuť tak, aby sa vyladili dve protichodné vlastnosti – rozlišovacia schopnosť a hĺbkový dosah [1]. Na nastavenie týchto parametrov slúži výber použitej frekvencie a rozmer antén. Na zvýšenie rozlíšenia je potrebné zvýšiť frekvenciu a teda zmenšiť rozmery antén. To však znamená zmenšenie hĺbkového dosahu. Ak chceme zvýšiť hĺbkový dosah, musíme zmenšiť vysielanú frekvenciu a zväčšiť rozmery antén. Tým sa však zmenší rozlišovacia schopnosť v získanom radarovom obraze.

Táto dilema sa v praxi rieši konštruovaním viacerých typov radarov, líšiacich sa použitou frekvenciou (od 50 MHz do 2 GHz), pričom NF antény sú rozmernejšie a VF antény sú menšie. To umožňuje pre konkrétnu úlohu zvoliť optimálny typ radaru a v prípade potreby použiť súčasne viac typov radarov. Prakticky každý výrobca georadarov ponúka výber širšej rady georadarov.

Pri aplikácii georadaru na cestách (i v tuneloch) sa jeho anténa zvyčajne montuje na automobil (toto riešenie dovoľuje robiť meranie pri rýchlostiach okolo 60 km/hod), prípadne na vozík ťahaný za vozidlom (tu sú však z bezpečnostných dôvodov rýchlosti menšie – okolo 23 km/hod), alebo, pri detailnejšom meraní, sa antény radaru ťahajú po vozovke na pešo. Výsledkom georadarového merania je vertikálny rez na línii, po ktorej sa georadar pohyboval. Bočný dosah takéhoto merania závisí na použitej frekvencii merania (so znižovaním frekvencia sa dosah zväčšuje), na permitivite prostredia (so zvyšovaním hodnoty permitivity sa zužuje) a na dĺžke meracieho systému (so zväčšovaním systému sa zväčšuje). Bočný dosah sa pohybuje od niekoľko cm do niekoľko metrov. Keďže vozovka je zvyčajne širšia ako bočný dosah merania, ak chceme vyšetriť celú jej šírku, je potrebné buď premerať viacero profilov (3 – 5), alebo zostaviť aparatúru s viacerými anténami vedľa seba.

Výsledkom spracovania nameraných dát v špecializovanom softvéri je vlnový, alebo hustotný (vo farbe, alebo černo-biely) obraz vo vertikálnom reze, v ktorom sa zobrazujú jednotlivé štruktúrne prvky vyšetřovaného prostredia. Úlohou interpretátora je potom identifikovať jednotlivé prejavy objektov v podzemí a vyznačiť ich v získanom radarograme.

## 3 Georadarové prejavy niektorých prvkov tunelových konštrukcií

Georadarový obraz (vlnový či hustotný), získaný ako výsledok merania hovorí, či vo vyšetřovanom prostredí sú prítomné objekty, odrážajúce radarové vlny späť k meracej aparatúre. Pri tom to musia byť objekty, ktorých elektrická permitivita sa líši od ich okolia. Na meraný radarový signál vplýva aj elektrická vodivosť prostredia – čím je vyššia, tým viac je tlmená amplitúda radarových vln a teda je tlmená dynamika radarového obrazu, čo ovplyvňuje čitateľnosť rozlíšenia registrovaných odrazov radarových vln.

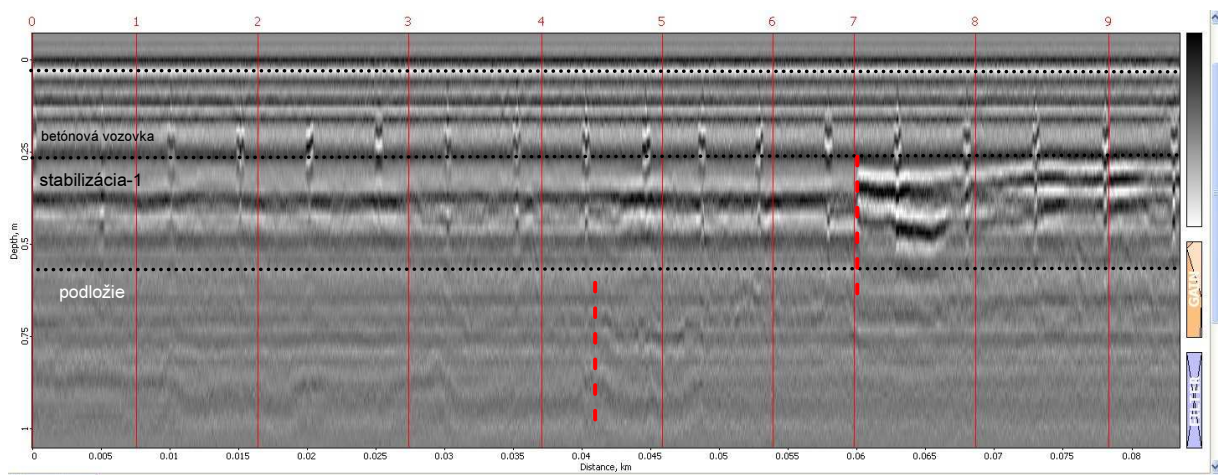
Meranie georadarom sa spravidla vykonáva na povrchu zeme, takže väčšina signálu vysiellaného z antény je smerovaná do a prijímaná z dolného polpriestoru. Malá časť signálu je však vyžarovaná aj do horného polpriestoru (do vzduchu), čo sa prejavuje zaznamenaním odrazu od objektov ako sú stromy, lampy pouličného osvetlenia, mosty a pod. Prítomnosť týchto odrazov „zhora“ je však zvlášť aktuálna pri meraní v tunelových stavbách, kde je horný polpriestor vymedzený klenbou tunela. Preto pri hodnotení výsledkov georadarového merania v tuneli je potrebné tieto okolnosti vziať do úvahy.

Na obr. 1 sú uvedené niektoré dokumentačné výsledky georadarového merania v cestnom tuneli postavenom začiatkom 21. storočia. Meranie sa robilo NF georadarom TR-GEO-01 (výrobca Geologorazvedka, Moskva) (stredná pracovná frekvencia 150 MHz) na pešo,

ťahanom po povrchu betónovej vozovky po paralelných profiloch dlhých 100 m a vzdialených od seba 40 cm tak, aby bola meraním pokrytá celá plocha vozovky. Na obr. 1 sú vo forme vertikálnych hustotných rezov uvedené príklady výsledkov merania na niektorých meracích profiloch.

Ako ukazujú popisy v obrázku, na uvedených profiloch je v rezoch možné identifikovať rozhranie razenej a kopanej časti tunela, štrbinovú kanalizáciu a jej sifóny, polohu kanalizácie, šachty a ich poklopy, škáry medzi doskami vozovky, kotvy v strednom páse vozovky. Ako sme uviedli vyššie, malá časť vysielanej energie smeruje aj dohora, takže sa v radarových obrazoch prejavujú aj objekty v hornej časti tunela: samotný strop tunela, protiklenba, ventilátory, portál dopravného značenia. Z uvedeného je zrejmé, že pri interpretácii radarových obrazov je potrebné mať k dispozícii dokumentáciu tunela a možnosť konzultovať získané poznatky s projektantom a zhotoviteľom.

Na obr. 2 je ako príklad uvedený krátky úsek z hustotného radarogramu získaného z aplikácie VF georadaru Zond-12e (Radar System, Riga, Litva) (stredná pracovná frekvencia 1 GHz) ťahaného na vozíku za autom pri strednej rýchlosti cca 25 km/hod. Získaný radarový obraz umožňuje vyčleniť jednotlivé konštrukčné vrstvy vozovky. Ďalej je možné dobre identifikovať prejav a polohy škár v betónovej vozovke a lokálnu nehomogenitu vo vrstve stabilizácie 1 (napravo od značky 7). Značky na zázname boli robené v miestach rozhraní blokov tunelovej rúry, takže uvedená nehomogenita je spojená so zmenou materiálu vo vrstve stabilizácie 1. Podobne v podložnej vrstve je možné medzi značkami č. 4 a 5 identifikovať miesto so zmenou charakteru materiálu.



Obr. 2 Vertikálny radarový obraz na úseku betónovej vozovky s prejavom jej konštrukčných prvkov (s výrazným prejavom škár medzi platňami) [2]

Fig. 2 Vertical radar image of the area of concrete pavement with an expression of its elements (a strong expression of the joints between the plates) [2]

#### 4 Záver

Súčasná meracia technika prináša stále nové prostriedky na podrobné vyšetovanie dopravných konštrukcií a to ako v priestore tak v čase. K nim je možné zaradiť aj georadar a jeho aplikácia v ostatných rokoch ukazuje, že informácie ktoré poskytuje dovoľujú robiť inšpekciu dopravnej stavby v jednotlivých etapách jej života a zisťovať jej stav bez deštruktívneho zásahu. Pri aplikácii georadaru je však potrebné zvážiť cieľ merania a podľa toho vybrať buď jeden, alebo viac rôznych radarov tak, aby boli s požadovaným rozlíšením a hĺbkou merania získané cieľové informácie.

## **5 Zoznam použitej literatúry**

- [1] IZJUMOV, S.V., DRUČININ, S.V., VOZNESENSKIJ, A.S.: Teorija i metody georadiolokacii. Gornaja kniga, Moskva, 2008, 196 s.
- [2] GAJDOŠ, V., IZJUMOV, S.V., GAJDOŠ, M.: Podkladové vrstvy vozoviek v georadarovom obraze. Zb. VI. konf. Nestmelené a hydraulicky stmelené vrstvy vozoviek, Podbanské, 2015, S.76-79.