

Suzana SVETLIČIČ
dipl.ing.geol., Družba za državne ceste - Sektor za tehnologijo in razvoj

UPORABA GEORADARSKEGA SNEMANJA PRI GEOLOŠKO GEOTEHNIČNIH RAZISKAVAH

POVZETEK: Pričujoči članek je informacija o uvedbi visokofrekvenčne elektromagnetne metode v geološko - geotehnične raziskave za potrebe projektiranja avtocest (AC).

Specifična problematika, predvsem prisotnost kraških pojavov, na katere smo naleteli med gradnjo AC na odsekih od Čebulovice do Divače in od Divače do Dan ter do Femetičev, je zahtevala, da se s pomočjo ustrezne metode natančno preišče in opiše razmere pod traso avtoceste.

Georadar je bil v Sloveniji prvič uporabljen leta 1991, vendar so se obsežnejše meritve izvedle šele proti koncu leta 1995 na že zgrajenem AC odseku Divača - Dane.

Danes so geofizikalne metode - predvsem geoelektrična tomografija in sondiranje ter georadarsko snemanje vključene v program geološko - geotehničnih raziskav že v fazi projektiranja.

GPR PROFILING IN THE DOMAIN OF THE GEOLOGICAL GEOTECHNICAL RESEARCH

SUMMARY: Following article is an information about introduction of high frequency electromagnetic method into geological - geotechnical research for highway designing.

Specific problematic, especially karstic phenomena that appeared during highway construction on section between Čebulovica - Divača, Divača - Dane and Dane - Femetiči, demanded a new relevant method to detect karstic features under the highway construction.

The first use of georadar profiling in Slovenia was executed in 1992, but measurements of greater extent were made at the end of 1995 on previously constructed highway section Divača - Dane.

Today, the geophysical methods, especially geoelectric tomography and GPR are inserted in the geological - geotechnical research programme at the early stage of planning.

UPORABA GEORADARSKEGA SNEMANJA PRI GEOLOŠKO GEOTEHNIČNIH RAZISKAVAH

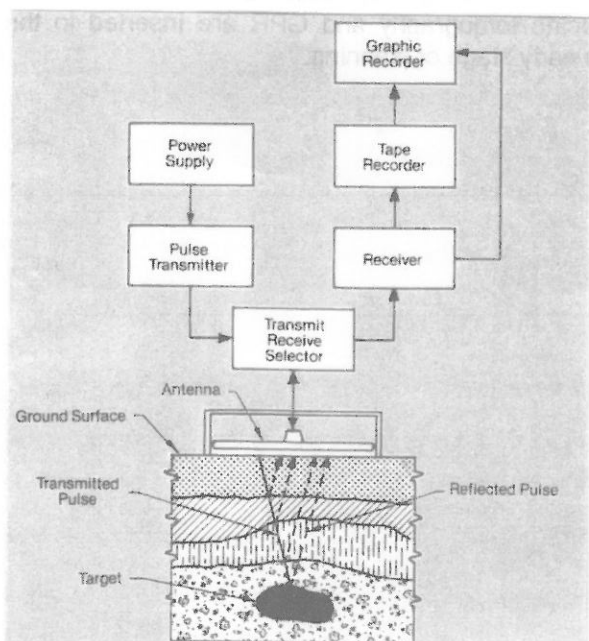
UVOD

Leta 1994, ko se je pričela gradnja prvih avtocestnih odsekov na kraškem terenu od Čebulovice do Divače, od Divače do Dan ter od Dan do Fernetičev, so se tako projektant in izvajalec kot investitor prvič poblíže srečali s problemom gradnje na krasu. Razgibana kraška površinska morfologija, predvsem pa podzemno razviti kras, sta povzročala precej neugodnih, predvsem pa nepredvidenih situacij. Nujni sanacijski ukrepi so ob pojavljanju kraških jam, brezen in vrtač pogosto povzročili precejšen časovni zastoj kot tudi finančno obremenitev za izvajalca in investitorja. Predvsem strah vzbujajoči so bili nekateri nenadni vdori jamskih stropov v sami trasi AC, nenazadnje pa tudi sum, da pod traso avtoceste morebiti še vedno obstajajo večje ali manjše kraške votline, kjer bi kasneje lahko prišlo do porušitev jamskih stropov in deformacij v cestišču. To je bil tehten razlog, da se je v okvir naknadnih preiskav uvedlo georadarsko snemanje.

Faktorjev, ki so vplivali na izbiro metode, je bilo precej. V prvi vrsti predvsem ta, da se izbere postopek, s pomočjo katerega bi lahko natančno opisali lokacijo, globino ter velikosti kraških votlin, brezen in drugih kraških pojavov ter strukturne anomalije v kamnini pod površino trase avtoceste. Dodatno so na izbiro vplivali tudi litološki pogoji in potrebni globinski doseg, ki je v opisanem primeru znašal od 10 do 15 m.

PRINCIP DELOVANJA

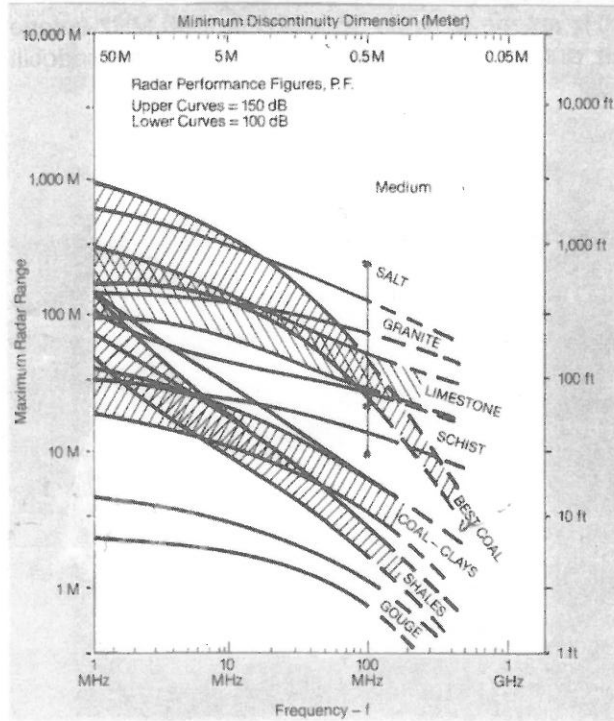
Georadar ali Ground Penetrating Radar s kratico GPR je relativno nova, visokoločljiva, elektromagnetna naprava, ki nam omogoči hitro in enostavno pridobivanje natančenega, predvsem pa zveznega profila litoloških, strukturnih, hidrogeoloških ter podpovršinskih morfoloških (kraških) sprememb oziroma anomalij. Sestavni deli georadarja so odajna in sprejemna antena, kontrolna enota za časovno krmiljenje anten in prikazovalna enota. Georadarski posnetek ali radargram, ki predstavlja veliko število podatkov v profilu in je v dvodimenzionalni obliki, lahko med meritvami opazujemo na monitorju ali radargrafu in sprotno ugotavljamo kvaliteto posnetkov. Posnetek sicer ne pove, za kakšen tip kamnine gre, pač pa jasno pokaže, da je v določeni globini nastala sprememba ali anomalija. V splošnem je naloga georadarja ta, da razloči anomalije oziroma območja z različnimi električnimi lastnostmi. Rezultati meritev so zato lahko, žal, večpomenski, interpretacija pa zahteva veliko izkušenosti geofizika in kvalitetno merilno tehniko.



Slika 1: Princip georadarskega snemanja

Georadarska antena oddaja visokofrekvenčne elektromagnetne (radarske) valove z znano frekvenco v tla. Anteno vlečemo po površini terena in je v neposrednem stiku s tlemi. S tem je prenos valovanja nemoten in usmerjen direktno v tla. Ko se valovanje širi skozi tla, se ob spremembi oziroma anomaliji del valov odbije in vrne do sprejemne antene, del pa nadaljuje pot do naslednje anomalije. Parameter, ki ga sprejemna antena beleži, je čas potovanja elektromagnetnih valov od oddajnika do anomalije in nazaj do sprejemne antene (slika 1). To je t.i. dvojni čas, ki določa globino georadarskega posnetka, izraženo v nanosekundah (ns). Šele z naknadnimi obdelavami in izračuni se časovni ekvivalent globine pretvori v dejansko globino.

Na globinski doseg valovanja vplivajo v prvi vrsti električne lastnosti kamnin - predvsem dielektrična konstanta in prevodnost materiala. Le te se spreminjajo z litološkimi spremembami, vsebnostjo vlage, nehomogenostjo in anizotropijo posameznih kamninskih slojev, skozi katere se valovanje širi. Po drugi strani pa je globina valovanja odvisna od kakovosti merilnega sistema - npr. jakosti oddajne in sprejemne antene, frekvence valovanja ipd. Maksimalna globina, do katere valovanje seže, je pri 100 MHz anteni v apnencih do 50 m, v flišu do 30 m, v težkognetni glini do 10 m, v lahkognetni glini pa do 2 m (Slika 2 in 3).



Slika 2: Globina valovanja za tipične kamnine

Ti faktorji tudi opredeljujejo obseg uporabnosti postopka, saj valovanje nemoteno potuje skozi prazen prostor npr. kraško jamo, in so hitrosti valovanja ter globinski doseg velike, nasprotno pa predstavlja voda oviro valovanju. Opisano dokazujeta tudi naslednji dve enačbi za:

- hitrost georadarskih valov:

$$v_r = v_c / \epsilon^{1/2} \quad (1)$$

Kjer pomeni:

v_r - hitrost radarskega valovanja (cm / ns)

v_c - hitrost elektromagnetnega valovanja v vakuumu (29,98 cm / ns)

ϵ - dielektrična konstante materiala, skozi katerega potujejo valovi

- globinski doseg elektromagnetnih:

$$d = v_r T / 2 \quad (2)$$

Kjer pomeni:

d = razdalja od površja do diskontinuitete

T = dvosmerni potovalna čas elektromagnetnih valov.

Snov	dielektrična konstanta	električna prevodnost	hitrost valovanja	dušenje
	ϵ	σ	v	α
		(mS/m)	(m/ns)	(dB/m)
zrak	1	0	0,3	0
destilirana voda	80	0,01	0,033	0,002
sladka voda	80	0,5	0,033	0,1
morska voda	80	30000	0,01	1000
suh pesek	3-5	0,01	0,15	0,01
z vodo zasičen pesek	20-30	0,1-1	0,06	0,03-0,3
apnenec	4-8	0,5-2	0,12	0,4-1
glinovec	5-15	1-100	0,09	1-100
melj	5-30	1-100	0,07	1-100
glina	5-40	2-1000	0,06	1-300
granit	4-6	0,01-1	0,13	0,01-1
suha sol	5-6	0,01-1	0,13	0,01-1
led	3-4	0,01	0,16	0,01

Slika 3: Značilne vrednosti za tipične snovi pri 100 MHz oddajni anteni

REZULTATI MERITEV NA ODSEKU AC DIVAČA - DANE

Georadarsko snemanje smo v okviru avtocestnega programa prvič izvajali na AC odseku Divača - Dane proti koncu leta 1995. Izmerjenih je bilo 57,6 km podolžnih in prečnih georadarskih profilov na že končani trasi AC. Namen raziskav je bil ugotoviti geološko strukturo, predvsem pa kraške značilnosti, ki se pojavljajo pod traso AC do globine 10 do 15 m.

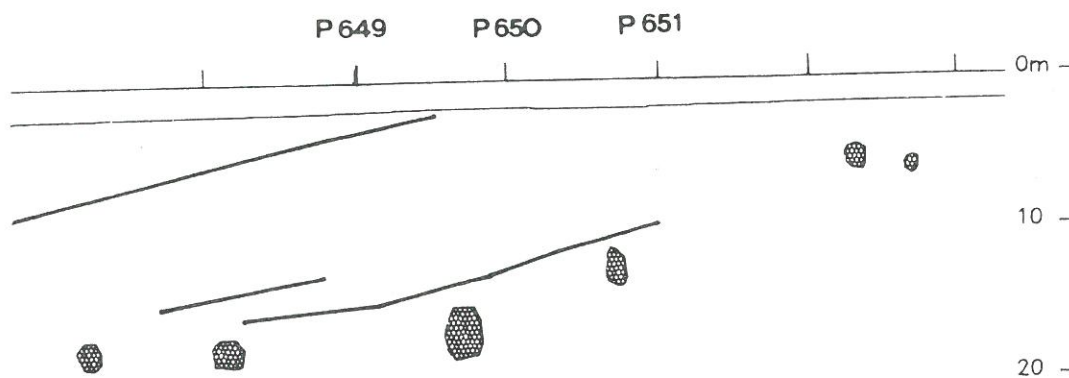
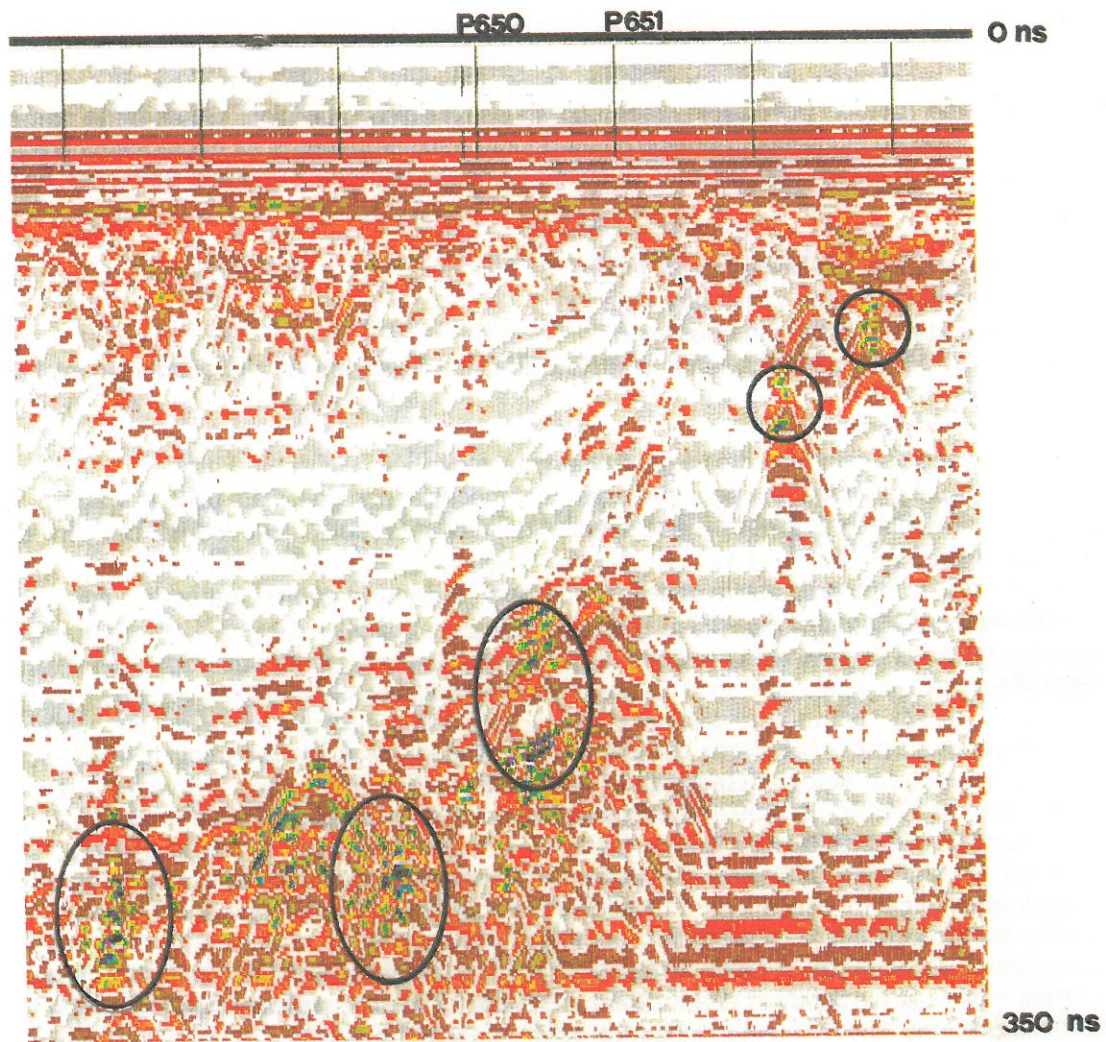
Meritve so potekale s pomočjo terenskega vozila, na katerega sta bili pritrjeni dve oddajni anteni s frekvencama 100 in 500 MHz. To je dvokanalni GPR sistem, ki je omogočil istočasno snemanje z obema antenama (Slika 4). Globinski doseg 100 MHz antene je bil od 15 do 20 m, 500 MHz antene pa precej manjši, le do 3 m. S pomočjo 500 MHz antene, ki ima večjo resolucijo, so se pridobili dopolnilni podatki o pripovršinskem delu terena.



Slika 4: Dvokanalni GPR sistem - Geophysical Survey System, Inc. (GSSI) Subsurface Interface Radar (SIR) System - 10.

Izračuni in analize hitrosti ter dielektričnih konstant so podali dva različna elektromagnetna medija, ki ju določa povprečna hitrost širjenja valovanja, in sicer v prvem sloju 6,4 cm/ns - ta je značilna za precej vlažne zemljine, - v drugem pa 10,5 cm/ns, ki ustreza kompaktnemu apnencu ali dolomitu. V analizi so kamnine opisane tudi v smislu strukturnih značilnosti, kot so tektonsko - razpoklinske cone in posamezne deformacije v kamnini ter kraške oblike, kot so vrtače z značilno V obliko, kraške jame in brezna. Primer georadarskega posnetka - radargrama in profila obdelanih podatkov je prikazan na sliki št. 5. Označbe na radargramu prikazujejo območja, kjer so prisotne kraške jame.

Rezultati georadarskega snemanja na odseku AC Divača - Dane so podali jasno sliko o stanju zakrasedlosti in drugih nehomogenosti v kamninah. S stališča stabilnosti omenjeni del trase ne poteka po kritičnih tleh.



Slika 5: Posnetek georadarskega profila - radargram in profil interpretiranih podatkov. Označena območja na radargramu predstavljajo kraške jame. Barvna lestvica je odraz amplitude valovanja. Modri toni na radargramu pomenijo pretirno in razpokano cono. Signali v obliki hiperbule pa so odraz praznega prostora oziroma kraške jame.

ZAKLJUČEK

Elektromagnetno visokofrekvenčno profiliranje je v Sloveniji aktualno šele nekaj let, vendar prednosti, ki jih ima metoda povečujejo njeno uporabnost in potrebo po njej. Georadar je namenjen za geološko prospekcijsko z uporabo frekvenc od 20 do 120 Mhz, primeren je za geotehnične preiskave z uporabo frekvenc do 500 in 900 Mhz ter za srto go določene namene z uporabo frekvence nad 900 MHz.

Prednosti georadarskega profiliranja so naslednje:

- postopek nima negativnega vpliva na okolje
- pridobivanje podatkov je hitro in enostavno
- pridobljeni zvezni profil podatkov lahko predstavimo v dvodimenzionalni ali trodimenzionalni sliki.

- Pomanjkljivosti metode:
 - postopek še vedno spada med dražje geofizikalne metode
 - globinski doseg je relativno majhen, predvsem v območju kjer se pojavljata glina in vlaga
 - meritve niso mogoče v predelih podzemnih električnih vodov, vodovodnih cevi in drugih podzemnih inštalacij
 - velik problem še vedno predstavlja obdelava podatkov, ki zahteva dobro programsko opremljenost ter veliko izkušnost geofizika.

LITERATURA

- (1) Brezigar, A., Tomšič, B. & Štem, J. (1994/95). Georadar - visokoločljiva geofizikalna elektromagnetna naprava. Geologija 37,38, Ljubljana.
- (2) Brezigar, A., Tomšič, B. (1992). Georadarske meritve na delu cestne trase Razdrto - Čebulovica, GZL IGGS, Ljubljana.
- (3) William L. Wilson (1993). Basic Principles of Ground Penetrating Radar and Applications for Hydrogeological Investigations. 7th National Outdoor Action Conference and Exposition National Ground Water Association, Las Vegas, Nevada.
- (4) Antony E. Gilboy (1987). GPR: Its Application in the Identification of Subsurface Solution Features - A Case Study in West - Central Florida. 2nd Multidisciplinary Conference on Sinkholes and Environmental Impacts of Karst. Orlando.
- (5) GPR Geophysical Survey - Motorway Razdrto - Fernetiči, Section Divača - Dane. Idrogeo srl - Trieste, GZL IGGS. (1995).