

# GEORADAR-NEDESTRUKTIVNA RAZISKOVALNA METODA

Milan Živanović\*

## POVZETEK

Georadar predstavlja preverjeno nedestruktivno mersko tehniko za preiskave naravnih in umetnih medijev debeline od nekaj centimetrov do nekaj desetih metrov. Z georadarjem se uspešno prodre v preiskani medij (hrbina ali zemljina) in prikažejo lege in debeline plasti, položaji razpok in praznin znotraj hribine. Georadarsko merjenje je učinkovit način, ki omogoča preiskavo plasti voziščne konstrukcije (asfalt, tampon), posteljice in intaktne podlage ter hitro, učinkovito in dovolj natančno določitev položaja podzemnih napeljav v prostoru. S ponavljanjem meritev v času (monitoring) je možno opazovati spremembe elektromagnetnih/geomehanskih lastnosti (kot na primer v plasteh cestnega telesa) in s tem delovati preventivno.

## SPLOŠNO

Georadar (Ground Penetrating Radar - GPR) je preverjena nedestruktivna geofizikalna metoda za raziskavo naravnih in umetnih struktur. Metoda temelji na oddajanju visokofrekvenčnih elektromagnetnih valov in zapisu odbojev le-teh iz bližnje prostorsko nadzorovane okolice. Georadarske meritve je možno izvajati na dva načina:

- S klasično refleksijsko mersko tehniko
- S preslikavo (georadarska tomografija).

Pri klasični refleksijski merski tehniki je med oddajno in sprejemno anteno kratka medsebojna razdalja. Meritve se izvajajo s premikanjem položaja anten oziroma v tem primeru oddajno-sprejemne antene. Zmogljivost antene je taka, da več kot  $200 \text{ x /sec}$  odda in sprejme nazaj odbite elektromagnetne valove. Mejo med dvema medijema, ki se razlikujeta po različni hitrosti širjenja elektromagnetnih valov ter po elektromagnetni permeabilnosti, je možno ugotoviti s pomočjo zakonov valovne fizike. Ko oddani elektromagnetni signal doseže elektromagnetno mejo, se del energije odbije in registrira s sprejemno anteno, del pa nadaljuje širjenje skozi medij do naslednje elektromagnetne meje, kjer se ponovno del energije odbije in registrira. S tehničnega vidika georadarski inštrument sešteje 4, 8 ali 16 zaporednih oddanih oziroma odbitih impulzov in jih zapiše kot en signal, kar povečuje zanesljivost merskih podatkov. S spreminjanjem položaja oddajno-sprejemne antene se zgradi zvezni profil s kontrolirano enako gostoto zapisanih signalov vzdolž profila.

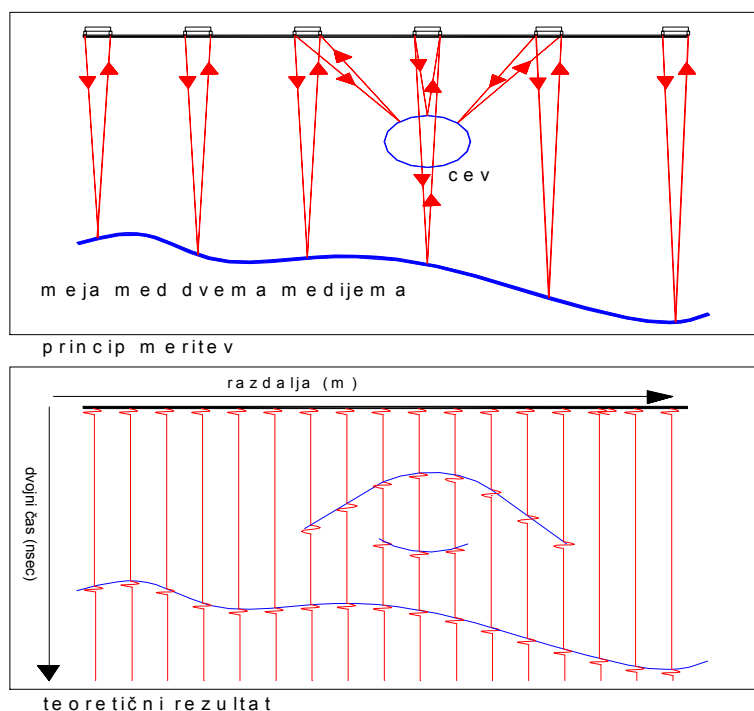
Delovno frekvenčno območje georadarja je od 25 MHz do 1,5 GHz ( $25 \cdot 10^6 \text{ Hz}$  -  $1,5 \cdot 10^9 \text{ Hz}$ ). S povečanjem oddajno-sprejemne frekvence signala se povečuje vertikalna ločljivost, s tem pa se zmanjšuje globina dosega elektromagnetnih valov v istem mediju.

Vertikalna ločljivost je najmanjša vertikalna oddaljenost, na kateri je možno dva georadarska odboja obravnavati kot dve ločeni georadarski meji. Izbor oddajno-sprejemne

---

\* univ.dipl.ing.geofizike, ZRMK-TIG d.o.o, Tehnološki inštitut za graditeljstvo, Dimičeva 12, 1000 Ljubljana

frekvence je običajno kompromis med željeno globino meritev in željeno vertikalno ločljivostjo elektromagnetnih anomalij.



Slika 1: Princip dela georadarja

Merjeni parameter pri georadarskih meritvah je dvojni čas potovanja vala, izražen v nanosekundah ( $10^{-9}$  sec). S poznavanjem in/ali s postopki obdelave podatkov pridobljenih hitrosti širjenja elektromagnetnega valovanja skozi medij ali medije, se časovni merski profili pretvorijo v globinske sekcije.

## ZNAČILNOSTI GEORADARSKIH RAZISKAV

Georadarske raziskave se uporabljajo za reševanje različnih nalog. Značilnosti georadarske metode, ki so pripomogle k njeni uveljavitvi, so:

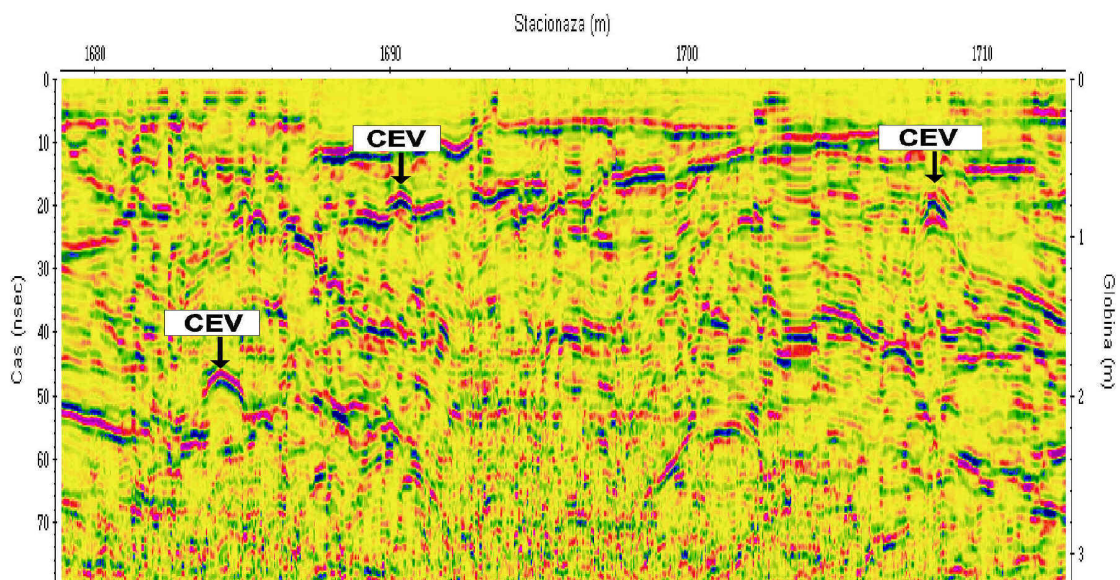
- Nedestruktivnost; vse georadarske meritve se izvajajo brez posega v medij, tako da ne povzročajo oslavljenja ali poškodovanja medija. To je zelo pomembno pri raziskavah betonskih pregrad, tunelskih betonskih oblog, mostov ali voziščnih konstrukcij na cestah.
- Meritve so »in situ«; izvajajo se na intaktnih medijih v njihovem naravnem stanju, tako da posredujejo dejanske geofizikalne merske parametre.
- Neomejen pristop in ponovljivost meritev; meritve je možno izvajati brez omejitev in jih neštetokrat ponoviti z isto mersko opremo, upoštevajoč enake vhodne merske parametre (enako časovno okno snemanja in frekvenčno območje, ojačitve signalov, itd.).

- Primerjava merskih podatkov, izmerjenih na istih merskih mestih, in njihova objektivnost; časovno ponavljanje meritev dopušča opazovanje sprememb lastnosti v opazovanem mediju ter njihovo spreminjanje (slabljenje) v času. To je zelo pomembno pri betonskih objektih (pregrade, avtocestni objekti, itd.) ali pri opazovanju materialov, vgrajenih v voziščne konstrukcije na cestah.
- Zveznost in prostornost zajema podatkov; merski podatki so 2D časovne sekcije (profili) poljubne oz. zahtevane dolžine, ki se z obdelavo pretvori v 2D globinske sekcije, z izvajanjem več paralelnih profilov pa je možno podatke obravnavati in prikazovati kot 3D.
- Spreminjanje elektromagnetnih parametrov v istem mediju; v hribinah ali umetnih zmesih (beton, asfalt, idr.) je možno ugotoviti položaje razpok, sistem razpok ali večjih praznin. V nevezanih plasteh ali zmesih (prod, pesek) je možno ugotoviti prisotnost podtalne vode.

## PODROČJE UPORABE GEORADARJA

- Podzemne napeljave

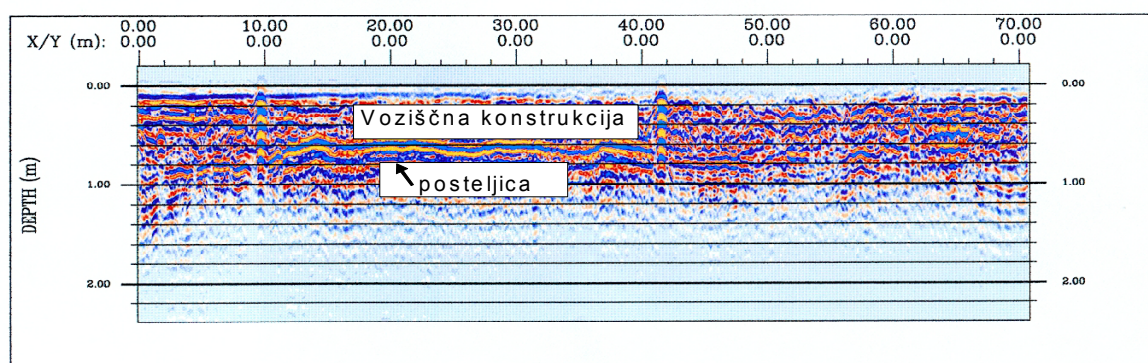
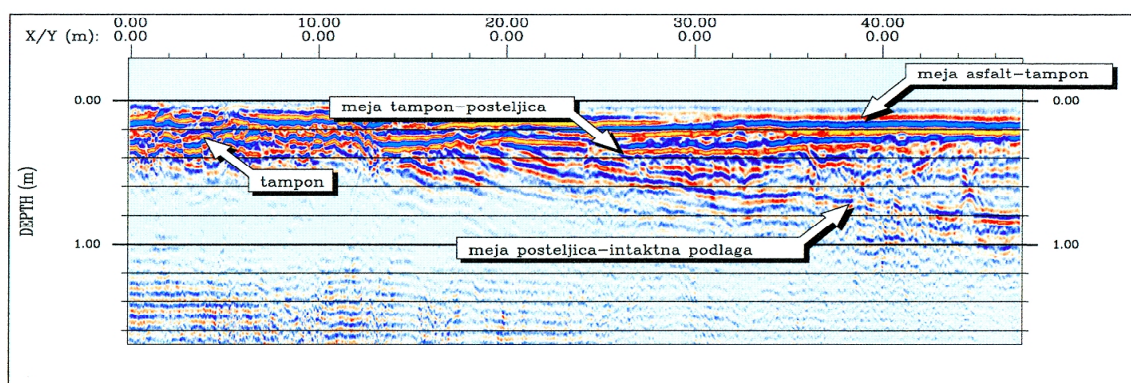
Z georadarskimi meritvami se lahko hitro, učinkovito in dovolj natančno določijo položaji podzemnih napeljav v prostoru. Na osnovi oblike in velikosti anomalije je možno predvideti vrsto napeljave. Primer na sliki 2 prikazuje vgrajene infrastrukturne napeljave pod plastmi voziščne konstrukcije. Zaradi izraženih sprememb elektromagnetnih lastnosti suhih in vlažnih nevezanih sedimentov v bližini vodovodnih napeljav, je možno z georadarskimi meritvami posredno ugotoviti mesta iztekanja vode. Prav tako je možno zaznati in opazovati iztekanje in širjenje tekočin iz podzemnih rezervoarjev v prostoru (nafta, bencina, vode idr.).



Slika 2: Določitev položaja podzemnih napeljav

- Raziskave voziščnih konstrukcij na cestah

Georadarska merjenja so učinkovit način, s katerim se lahko prodre v cestno telo in preišče beton, asfalt, posteljice - vrhnje (zaključne) plasti nasipa ali temeljnih tal in sam nasip vse do intaktne podlage. Georadarski posnetki z visokim vertikalnim in horizontalnim vzorčevanjem in z visoko ločljivostjo dopuščajo ugotavljanje položaja in sledenje meja znotraj umetno proizvedenih zmesi (asfalt, tampon, beton), posteljice, nasipa in intaktne podlage. Spremembe georadarskih parametrov znotraj iste plasti posredno kažejo tudi na geomehanske lastnosti (kompaktnost, razpokanost, večje praznine) v plasti. Izrazita občutljivost georadarskih parametrov na prisotnost vlage (podtalne vode) omogoča jasno razlikovanje suhega in vlažnega dela plasti. Primer na sliki 3 prikazuje vdor podtalne vode v posteljico na delu georadarskega posnetka, kjer ni vidna meja posteljica - intaktna podlaga. Na sliki 4 je prikazana sprememba v plasti (posteljica) pod plastmi voziščne konstrukcije. Prekinitve zveznosti elektromagnetnega odboja te plasti kažejo na elektromagnetne (geomehanske) spremembe.



Sliki 3 in 4: GPR - raziskave vozni površin

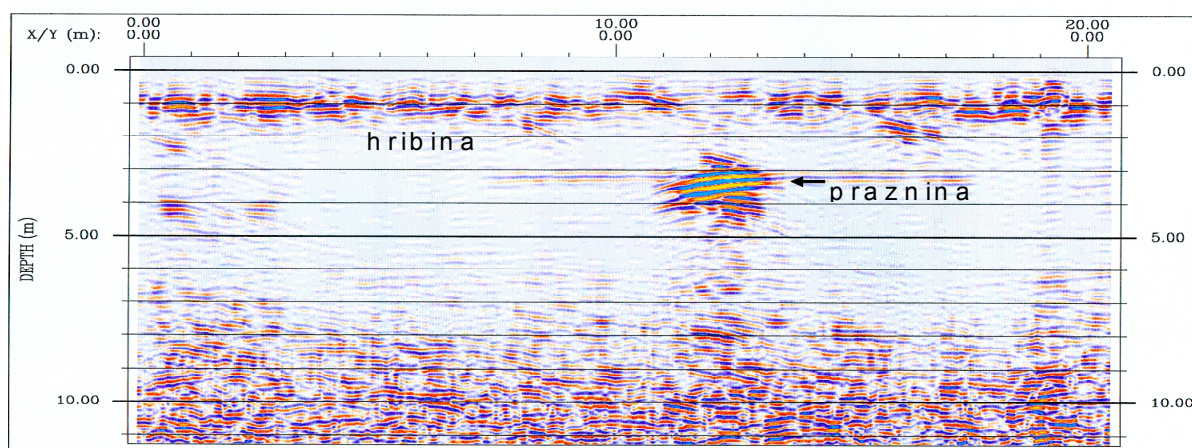
- Raziskave v tunelih

Georadar je mogoče uporabiti za preverjanje stanja betonske obloge tunela in ugotavljanje stanja hribine okoli tunela. Pri ugotavljanju stanja betonske obloge se poleg ocene integritete betona lahko ugotovi tudi položaj armaturne mreže v betonu, kakor tudi mesta odstopanja obloge od hribine. V sami hribini je možno ugotoviti položaj in sistem lokalnih razpok ali praznin znotraj hribine ter morebitna mesta pronicanja vode.



- Raziskave hribin

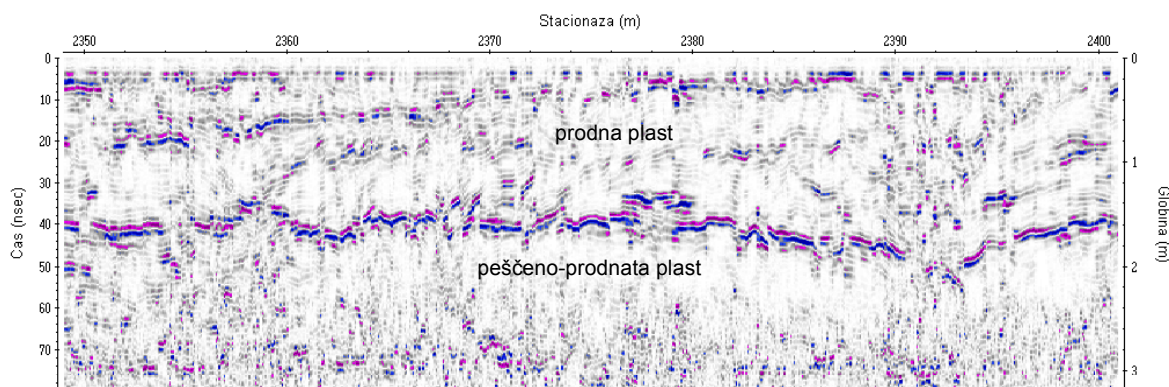
Skoraj vse hribine so ugoden medij za georadarske meritve. Glede na natančnost metode in stroške je georadar najboljša rešitev za hitro presvetlitev hribinske mase. Z georadarjem je možno ugotoviti položaj in sisteme razpok, večje praznine znotraj hribine (slika 5) in podati oceno njenega stanja. Nadalje je možno z georadarjem ugotoviti položaje mej med različnimi hribinami.



Slika 5: Georadarske raziskave hribin

- Raziskava tal

V nevezanih plasteh je možno z georadarskimi raziskavami ugotoviti debelino posameznih plasti in oceniti vlažnost ter globino nivoja podtalne vode. Georadar daje dobre rezultate v prodnih, prodno-peščenih in peščenih plasteh (slika 6). Za gline in laporje georadarska metoda zaradi velikega dušenja elektromagnetnih valov ni primerna.



Slika 6: Georadarske raziskave v nevezanih kamninah