

Predmet: Nerazorna ispitivanja

10. Predavanje

Radar



1

1

POVIJEST RADARA

- 1900- počela istraživanja točno lociranje zrakoplova
- fenomen radarske tehnologije pokazao primjenjiv za prenošenje elektromagnetskih valova i kroz krutine
- 1950-ih su se počeli provoditi pokusi u kojima se radar koristio za ispitivanje krutina kao što su stijene i tla.
- Dovelio je do razvoja nekoliko tipova radar sistema koji su, 1960-ih, dobili ime georadar zbog svoje primjene u geologiji
- S građevinskog aspekta prva ispitivanja su se pojavila 1974 godine

2

2

Radar

- Radar je elektromagnetski analog zvučnim i ultrazvučnim refleksnim metodama.
- Osniva se na širenju elektromagnetske energije kroz materijale s različitim dielektričnim konstantama.
- Što je veća razlika među dielektričnim konstantama na interakciji između dva materijala to je veća količina elektromagnetske energije koja se reflektira na granici tih materijala.

3

3

Radar

- Radar koji se koristi za ispitivanje proizlazi iz tehnologije koja se koristi za ispitivanje tla, a zove se GEORADAR.
- Radar se sve više upotrebljava među nedestruktivnim metodama ispitivanja.

4

4

PRIMJENA RADARA

- određivanje debljine i strukture ledenjaka
- arheološka ispitivanja
- lociranje zakopanih elemenata
- lociranje leda u područjima vječnog snijega i leda
- pronalazak kanalizacijskih cijevi i zakopanih kablova
- mjerenje debljine leda na u morima
- morfološko profiliranje poprečnih presjeka jezera i rijeka
- detektiranje zakopanog opasnog otpada i kontejnera
- mjerenje erozije oko temelja mostova

5

5

PRIMJENA RADARA

- Primjena radara:
 - Pronalazak položaja cijevi u tlu
 - Stanje kolničkih konstrukcija
 - Pronalazak podzemnih šupljina, tunela, ...
 - Istraživanje ledenjaka, sedimentnih naslaga, močvara, ...

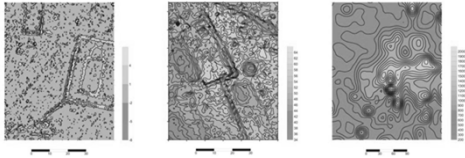


6

6

PRIMJENA RADARA

- Pronalazak naslaga minerala
- Forenzički poslovi (pronalazak ljudskih ostataka,...)
- Arheologija



7

7

PRIMJENA RADARA

- ODREĐIVANJE STUPNJA HIDRATACIJE CEMENTA
- ODREĐIVANJE UDJELA VODE U SVJEŽEM BETONU

8

8

Radar

- U materijalima i konstrukcijama se koristi za:
 - Procjenu debljine elemenata
 - Određivanje lokacije i promjera šipki armature i metalnih cijevi te određivanje debljine zaštitnog sloja
 - određivanje lokacije promjena u vlažnosti materijala
 - Određivanje lokacije i dimenzija šupljina
 - Određivanje lokacije pukotina



9

GPR uređaj

- Ground Penetrating Radar (Georadar)



10

10

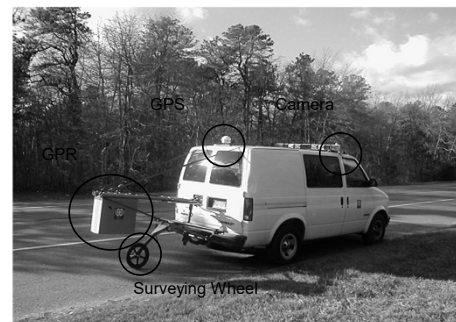
GROUND PENETRATING RADAR (GPR)



11

11

GPR SURVEY EQUIPMENT

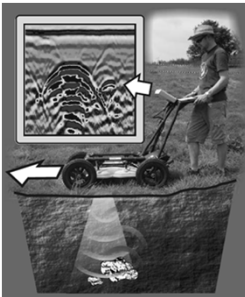


12

12

GPR

- GPR je tehnika koja na nedestruktivan način
 - može otkriti postojanje i položaj zakopanih objekata
 - korištenjem fenomena refleksije elektromagnetskih valova.




13

13

GPR

- Tehnologija se temelji na istom principu kao i konvencionalni radarski sustavi.
- Razlika je samo u tome što su kod ispitivanja tla radari rezolucije u redu veličine decimetara, a kod konvencionalnih radara u kilometrima




14

14

GPR

- Sustav GPR uređaja bazira se na anteni koja šalje i prima elektromagnetske (EM) valove
- usmjerene prema konstrukciji koja je predmet snimanja.



15

15

GPR

- Antene, ovisno o tipu, mogu imati raspon frekvencija od
- **50 MHz do više od 2 GHz.**
- Antene manje frekvencije
 - imaju manju rezoluciju,
 - ali se mogu snimiti dublji slojevi tla.
- Antenama viših frekvencija
 - povećava se rezolucija snimljenog predmeta,
 - ali je dubina snimanja manja.

16

16

GPR

- Odnos frekvencije antene, dubine snimanja i rezolucije GPR-a

Antenna centre frequency (MHz)	Approximate imaging depth in soil (metres)	Approximate target size in soil (metres)
1500	0.3	0.03
1000	1	0.1
500	2	0.2
250	3	0.3
100	5	0.5
50	10	1
20	20	2

17

17

GPR

- Antene se mogu razlikovati i po položaju u odnosu na tlo.
- **Ground-coupled antene**
 - Koriste se za geološka istraživanja gdje brzina snimanja nije toliko bitna
 - snimanje se obavlja tako da operater vuče ili gura antenu



18

18

GPR

- Sustav za ispitivanja na prometnim površinama, zahtijeva veću brzinu snimanja,
- Antene su tada pričvršćene na ispitno vozilo,
 - donja površina antene se nalazi na visini od oko 50 cm od površine kolnika.
- Odmicanjem antena od tla spriječeno je oštećenje antene koje bi nastalo njezinim vučenjem po tlu.
- Takve antene nazivaju se *air-coupled* ili *air-horn antene*

19

19

GPR

- *air-coupled* ili *air-horn antena*.



20

20

GPR - osnove rada

- Sustav emitira impulse elektromagnetskih (EM) valova, koji se
 - dijelom odbijaju, a
 - dijelom prolaze
- kroz slojeve materijala različitih elektromagnetskih karakteristika na koje nailaze.

21

21

GPR - osnove rada

- Dio energije koji se odbija od pojedinih slojeva vraća se u antenu, pri čemu se bilježi:
 - njegova energija,
 - odnosno amplituda i vrijeme potrebno da se vrati do antene.

22

22

GPR - osnove rada

- Antena tada rekonstruira reflektirani puls u vremenu
- Dobiveni signal se pojačava i dodatno obrađuje prije dobivanja rezultata ispitivanja.

23

23

GPR - osnove rada

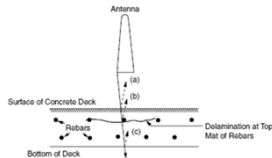
- Energija koja je prošla kroz 1. sloj kreće se dublje u konstrukciju dok ne dođe do sljedećeg defekta
 - Dio se opet odbija, a
 - Dio prolazi dublje u konstrukciju
- Dolazi do istog procesa kao i kod prvog defekta.

24

24

GPR - osnove rada

- Konačno, dio početno odaslane energije će doći do druge strane konstrukcije odakle će se opet dio reflektirati, a dio nastaviti dalje u zrak,...



25

25

GPR

- Na brzinu prolaska EM vala kroz pojedini medij (sloj zraka ili sloj kolničke konstrukcije) utječe:
 - tzv. relativna dielektrična konstanta (ϵ_r) *pojedinih* medija
- Poznato je da sve tvari apsorbiraju elektromagnetske valove proporcionalno svojim električnim karakteristikama.
 - Relativna dielektrična konstanta ϵ_r
 - Električna vodljivost σ

26

26

Relativna dielektrična konstanta

- Najvažnije svojstvo materijala koje određuje širenje i refleksiju signala
- Utječe na
 - brzinu,
 - refleksiju i
 - atenuaciju signala
- To je zapravo odnos između dielektrične konstante materijala i dielektrične konstante vakuuma.

27

27

Dielektrična konstanta (ϵ)

- Kontrolira brzini v širenja valova

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}}$$

- Gdje je:
 - c – brzina svjetlosti 300 000 km /s).
 - ϵ – dielektrična konstanta
- Što je veći ϵ , to je manja brzina širenja valova.

28

28

Dielektrična konstanta

- Dielektrična konstante nekih materijala

MATERIJAL	DIELEKTRIČNA KONSTATATA	MATERIJAL	DIELEKTRIČNA KONSTATATA
Zrak	1	Pijesak	4-6
Voda	81	Šjunak	4-7
Led	4	Glina	25-40
Asfalt	4-8	Mulj	16-30
Beton	8-10	Muljeviti pijesak	7-10
Posteljica	6-8	Izolacijska daska	2-2,5

29

29

Atenuacija

- Atenuacija je prigušenje signala elektromagnetskog vala
 - proporcionalna vodljivosti materijala i
 - obrnuto proporcionalna dielektričnoj konstanti

30

30

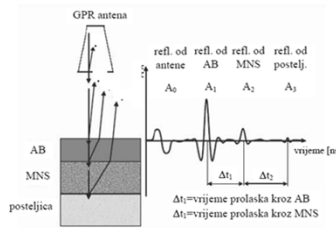
Princip rada GPR-a

- Odašiljač proizvodi impulsni signal određene frekvencije čija vrijednost određuje rezoluciju i maksimalnu dubinu prodora signala
- Elektromagnetski signal karakteriziran je serijom vrhova čija veličina (amplituda) ovisi o tri faktora:
 - Prirodi reflektora (defekta od kojeg se reflektira)
 - Prirodi materijala između reflektora i primača signala
 - Krivulji primijenjenoj za pojačavanje signala

31

31

Shematski prikaz elektromagnetskog vala emitiranog u kolničku konstrukciju



- A1 - amplituda refleksije od površine kolnika,
- A2 - amplituda refleksije od površine podloge drobljenog kamenog materijala (MNS-VRSTA TLA)
- A3 - amplituda refleksije od površine posteljice.

- Na granicama slojeva elektromagnetski val ima veću amplitudu.

32

32

Amplituda refleksije

- Veličina amplitude između dvaju medija ovisi o relativnim dielektričnim konstantama susjednih slojeva.

$$\rho = \frac{\sqrt{\epsilon_{r2}} - \sqrt{\epsilon_{r1}}}{\sqrt{\epsilon_{r2}} + \sqrt{\epsilon_{r1}}}$$

ϵ_{r1} – relativna dielektrična konstanta donjeg sloja
 ϵ_{r2} – relativna dielektrična konstanta gornjeg sloja

33

33

Interpretacija mjerenja

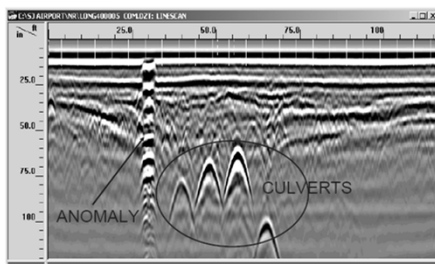
- Interpretacija rezultata ispitivanja radarom nije uvijek jednostavna.
- Slika dobivena radarom često ne sliči obliku defekata u betonu.
- Okrugli defekti kao što su metalne cijevi ili armatura će tako izgledati kao hiperbole

34

34

Interpretacija mjerenja

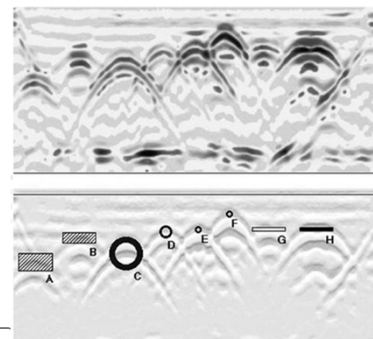
- <http://www.youtube.com/watch?v=IGf4fnxHK6Y&feature=related>



35

35

Interpretacija mjerenja

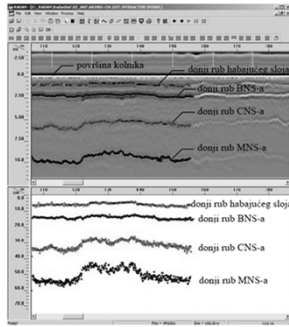


36

36

Interpretacija mjerenja - kolnička konstrukcija

- Na gornjem su dijelu slike prikazani podaci GPR-a s vremenom refleksije od određenog sloja i stacionažom.
- Obradom snimljenih podataka na donjem dijelu slike prikazane su debljine slojeva



37

37

Prednosti GPR-a

- Snimanjem sustavom GPR-a dobiva se kontinuirani prikaz slojeva konstrukcije.
- Na taj je način moguće:
 - pratiti promjenu debljine pojedinih slojeva,
 - vidljivi su radni spojevi,
 - odnosno plohe koje imaju različitu zbijenost te
 - razne druge anomalije i različitosti unutar konstrukcije

38

38

Prednosti GPR-a

- Kontinuirano radarsko snimanje kolničke konstrukcije
 - izvrsna je nadopuna, a u većini slučajeva i uspješna alternativa sustavu vađenja jezgri.
- Radarskim snimanjem može se:
 - optimizirati broj i lokacije mjesta na kojima treba izvaditi jezgre nakon što se pregleda i obradi snimka

39

39

Nedostaci GPR-a

- U određenim situacijama, na dobivenoj se snimci slojevi konstrukcije ne mogu jasno odrediti zbog:
 - Raznih smetnji koje utječu na kvalitetu i dubinu prodora EM vala u konstrukciju.

40

40

Nedostaci GPR-a

- Ponekad EM radarski sustav GPR-a može doći u interferenciju s nekim drugim EM valovima koji se nalaze u okolini
 - mogu biti iz raznih izvora, kao na primjer snažniji radarski ili radiovalovi.
 - javlja elektromagnetski "šum"
 - teško je razabrati što su granice slojeva konstrukcije.

41

41

Nedostaci GPR-a

- Također, veći metalni predmet, koji se nalazi u neposrednoj blizini mjesta snimanja, može se vidjeti kao kratkotrajna smetnja.
- Neki slojevi kolničke konstrukcije ili tla zbog svojih elektromagnetskih svojstava više prigušuju EM valove sustava GPR pa je dubina prodora signala manja, odnosno "ne vide" se dublji slojevi kolničke konstrukcije.

42

42

Nedostaci GPR-a

- Komplicirana interpretacija signala



43

43

GPR CAVITY DETECTION (SOUTH JERSEY REGIONAL AIRPORT)



44

44

RUNWAY AND DATA COLLECTION

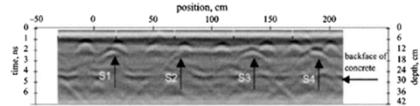


45

45

Primjena kod betonskih konstrukcija

- Lokacija armature i natega za prednapinjanje
 - S1-S4 natega
 - Dubina 12 cm
 - Zaštitni sloj debljine 6-8 cm

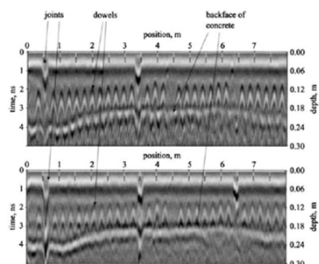


46

46

Primjena kod betonskih konstrukcija

- Lokacija moždanika i sidara na spregnutom mostu
 - Dubina moždanika 1 cm
 - Debljina betonske ploče 18-23 cm



47

47

Primjena kod betonskih konstrukcija

- Razvoj u kompaktne uređaje



48

48

PRIMJENE GPR

- Mjerenje debljine slojeva kolnika (za potrebe PMS and FWD mjerenja).
- Pronalazjenje anomalija u kolnicima.
- Ispitivanje ploča i nosaca mostova.
- Pronalazjenje supljina, temelja i drugih konstrukcija ispod kolnika.

49

49

PAVEMENT PROFILING



50

50

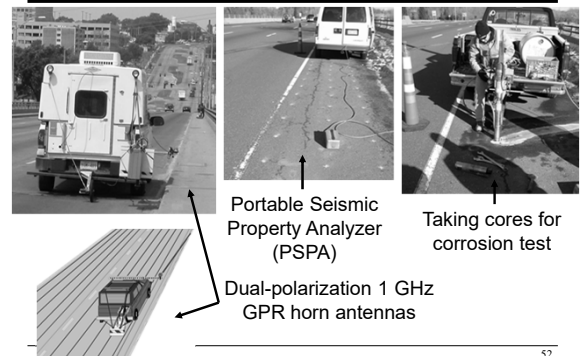
PRIMJENA KOMPLEMENTARNOG PRISTUPA

- Kombiniranje nekoliko metoda omogućuje potpunije ispitivanje infrastrukture:
 - Primjer: Kombiniranje testa korozije (kemijska), GPR (elektromagnetska) i impact echo (ultrasonična/seizmička) u ispitivanju ploča mostova.

51

51

BRIDGE DECK EVALUATION

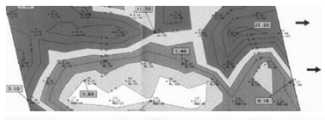


52

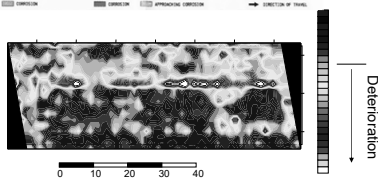
52

NB Bridge over Merrill Road

Half-Cell CP and Chloride Testing



GPR



53

53

Komplementarno Ispitivanje Ploča Mostova Pomoću GPR i IE

- GPR omogućava brzo ispitivanje oštećenih dijelova ploče. Međutim, to ne znači i utvrđivanje zona raslojavanja .
 - IE omogućava točno utvrđivanje mjesta i stupnja raslojavanja ploče. Međutim, postupak je relativno spor.
- => Iskoristiti brzinu ispitivanja s GPR čije rezultate treba kalibrirati pomoću IE rezultata.

54

54

AUTOMATED GPR SYSTEM FOR BRIDGE GIRDER SCANNING

Scanning system

Stepper

55

55

AUTOMATED IE SYSTEM FOR BRIDGE GIRDER SCANNING

Bridge

Scanning system

56

56

AUTOMATED GPR SYSTEM FOR BRIDGE GIRDER SCANNING

Prestressed concrete girder

Cross section

Testing device

Longitudinal section

57

57

DATA INTEGRATION BY ROAD DOCTOR™

58

58

SURVEY DATA DATA COLLECTION AND ANALYSIS IN TRAFFIC INFRASTRUCTURE ASSET MANAGEMENT

59

59

DATA INTEGRATION

DATABASES

- Database 1
- Database 2
- Database 3
- Database 4
- Database n

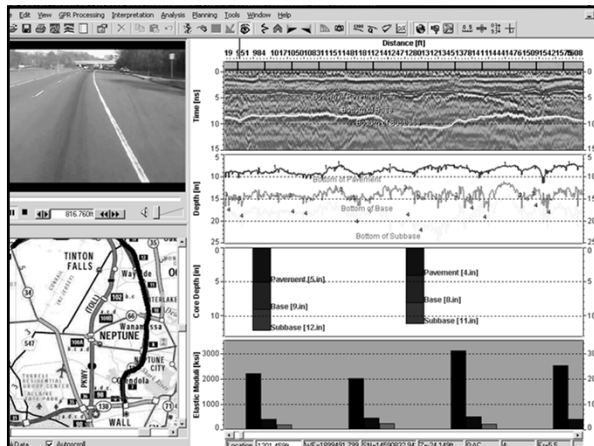
ROAD DOCTOR ENVIRONMENT

DECISION MAKING

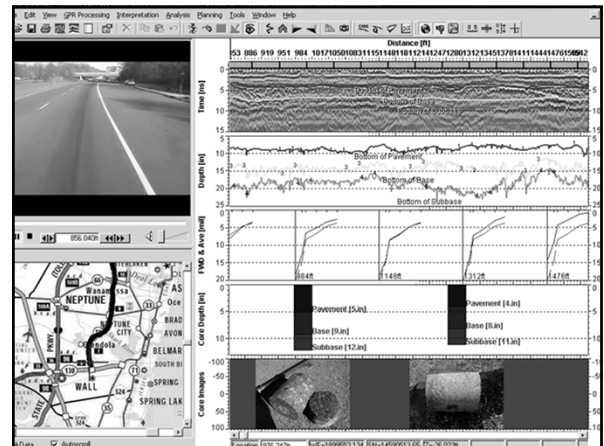
- PMS
- BMS
- ...
- ...

60

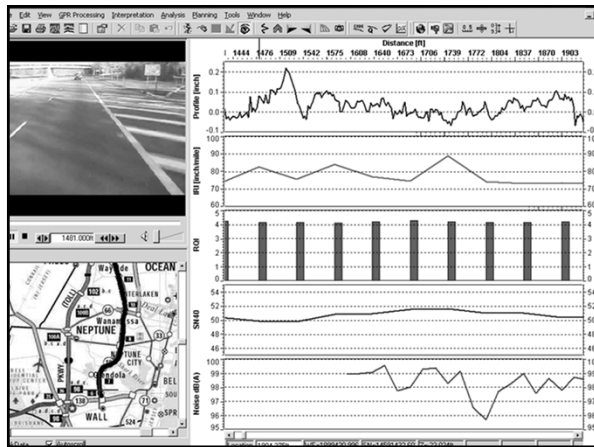
60



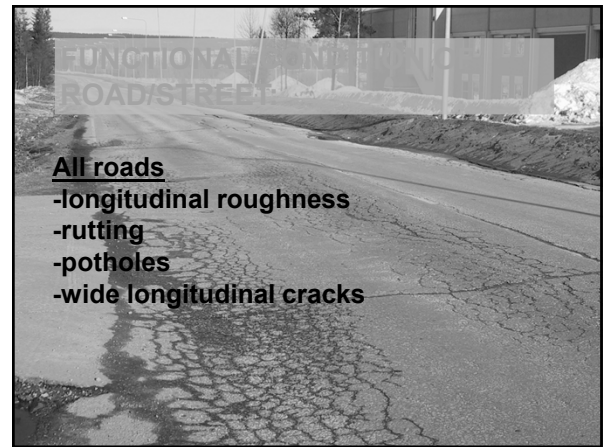
61



62



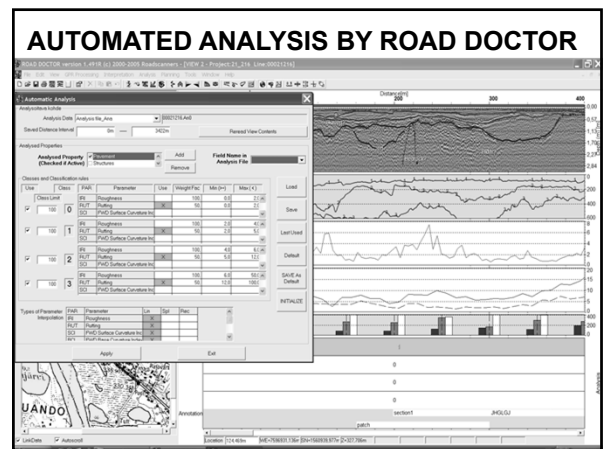
63



64



65



66