

UNIVERSITATEA BUCUREȘTI
FACULTATEA DE GEOLOGIE ȘI GEOFIZICĂ

Utilizarea metodelor geofizice în rezolvarea unor probleme geotehnice

TEZĂ DE DOCTORAT

-rezumat-

Autor: Ing. Mihai Adrian DIACONU
Conducător Științific: Prof. Dr. Ing. Cristian MĂRUNȚEANU

București

Iulie 2019

Cuprins

1. Introducere	4
2. Metode geofizice pentru investigarea mediului geologic	6
2.1. Metode geofizice pentru determinarea structurii geologice a zonei amplasamentului.....	6
2.2. Metode geofizice pentru determinarea caracteristicilor dinamice ale terenului.....	7
2.2.1. Metoda refracției.....	8
2.2.2. Metoda undelor directe.....	9
2.2.2.1. Metoda cross-hole.....	9
2.2.2.2. Metoda microseismocarotajului (MSC).....	10
2.2.3. Metoda carotajului vertical de viteze P și S).....	11
2.2.4. Metoda tomografiei seismice.....	13
2.2.5. Metoda analizei undelor de suprafață Rayleigh.....	14
2.3. Metode geofizice moderne pentru detectarea fundațiilor, căilor de infiltrație și a zonelor de alunecare.....	15
2.3.1. Metoda Georadar.....	15
2.3.1.1. Propagarea undelor electromagnetice.....	15
2.3.1.2. Metoda Georadar. Aplicații.....	16
2.3.2. Metode geoelectrice.....	17
2.3.2.1. Metoda rezistivităților.....	18
2.3.2.2. Sondajul Electric Vertical.....	19
2.3.2.3. Profilarea Electrică de tip Dipol-Dipol.....	19
2.3.2.4. Investigația geoelectrică multielectrod – tomografia geoelectrică.....	20
3. Studii de caz	21
3.1. Investigații prin metoda Georadar.....	21
3.1.1. Metoda de determinare a grosimii fundației.....	21
3.1.1.1. Metoda semnăturii radar.....	21
3.1.1.2. Concluzii.....	23
3.1.2. Etalonarea măsurătorilor georadar și determinarea diametrului unei conducte îngropate.....	23
3.1.2.1. Principiul etalonării măsurătorilor.....	23
3.1.2.2. Datele primare folosite pentru etalonare.....	25
3.1.2.3. Rezultatele etalonării și concluzii.....	26
3.2. Investigații prin metode seismice.....	27
3.2.1. Corelații între proprietățile geomecanice ale terenului determinate prin metode seismice și prin teste de laborator geotehnic.....	27
3.2.1.1. Introducere.....	27
3.2.1.2. Cadrul geologic și seismic.....	27
3.2.1.3. Caracteristicile geotehnice ale amplasamentului.....	27
3.2.1.4. Investigații geofizice.....	28
3.2.1.5. Parametri derivați din investigații geofizice.....	28
3.2.1.6. Concluzii.....	33

3.2.2. Caracterizarea unui amplasament din punct de vedere geotehnic prin determinarea parametrilor dinamici și ai spectrului de răspuns elastic pe baza metodei seismice MASW.....	34
3.2.2.1. Introducere.....	34
3.2.2.2. Investigații executate în amplasament.....	35
3.2.2.3. Interpretarea și analiza datelor.....	39
3.2.2.4. Concluzii.....	40
3.2.3. Analiza comparativă a parametrilor dinamici ai terenului de fundare obținuți prin măsurători seismice de tip down-hole și cross-hole pe un amplasament situat în b-dul Maniu din București.....	41
3.2.3.1. Introducere.....	41
3.2.3.2. Calculul parametrilor și a constantelor elastice.....	41
3.2.3.3. Investigații geofizice executate pe amplasament.....	42
3.2.3.3.1. Rezultatele și interpretarea investigațiilor down-hole (DHT).....	42
3.2.3.3.2. Rezultatele și interpretarea investigațiilor cross-hole (CHT).....	45
3.2.3.4. Modelul de viteze al amplasamentului.....	48
3.2.3.5. Concluzii.....	49
3.2.4. Evaluarea riscurilor geologice ce pot apărea la construcția tunelurilor prin metode geotehnice și geofizice.....	50
3.2.4.1. Introducere.....	50
3.2.4.2. Zona de studiu.....	50
3.2.4.3. Investigații geotehnice.....	51
3.2.4.4. Concluzii.....	55
3.3. Investigații prin metode geoelectrice.....	56
3.3.1. Evaluarea vulnerabilității terasamentelor în proiectele de infrastructură rutieră prin studii de tomografie geoelectrică.....	56
3.3.1.1. Evaluarea gradului de compactare pe un terasament de autostrada.....	56
3.3.1.2. Concluzii referitoare la utilizarea tomografiei electrice în proiectele de infrastructura rutieră.....	58
4. Contributii personale.....	59
5. Concluzii.....	62
6. Bibliografie.....	63
6.1. Rapoarte de studii și cercetări, articole, cărți folosite în documentare.....	63
6.2. Articole, rapoarte de cercetare publicate de autor.....	65

1. Introducere

Metodele geofizice se aplică în prezent pe scară largă în cercetarea structurii construcțiilor și a fundațiilor acestora.

Cercetarea geofizică a terenului de fundare în faza de studii de amplasament precum și în faza de exploatare a construcțiilor oferă informații detaliate asupra proprietăților fizico-mecanice ale terenului de fundare, a structurii geologice a rocilor din amplasament, distribuției neomogenităților și a accidentelor tectonice, etc., oferind informații indispensabile proiectării fundațiilor și structurilor solicitate dinamic.

În activitatea de inginerie geologică se aplică pe plan mondial din ce în ce mai multe metode geofizice de mică adâncime, cu scopul completării datelor obținute prin investigații directe (foraje, lucrări miniere etc.) sau, în cazul în care nu se pot efectua / nu se dorește realizarea unor activități de prospecțiuni geologice, pentru obținerea unor informații cu caracter geologic și ingineresc.

Avantajul utilizării metodelor geofizice este dat de rapiditatea cu care pot fi executate, costul redus al acestora și faptul că mediul ambiant nu este afectat de acest gen de lucrări.

Spre deosebire de activitățile de prospecțiuni geofizice de mare adâncime, utilizarea metodelor geofizice de mică adâncime se realizează utilizând dispozitive de măsurare diferite care asigură o rezoluție mult mai bună, soft-urile utilizate, interpretarea și corelarea rezultatelor fiind specifice acestui gen de măsurători.

În procesul de cercetare geofizică prin metode nedistructive a stabilității terenurilor cu lucrări de artă (poduri, viaducte, lucrări de consolidare, galerii, construcții hidrotehnice etc.) și a fundațiilor acestor construcții, se utilizează cu precădere metode clasice de investigație (în ordinea importanței): seismometria și electrometria cu variantele lor de carotaj în sonde, și în subsidiar metoda georadar, radiometrie, termometrie sau magnetometrie.

În privința descrierii metodelor geofizice de achiziție, prelucrare și interpretare a datelor de cercetare în domeniul ingineriei geologice și geotehnice, a ingineriei mediului și stabilității terenurilor de fundare, ne vom opri la metodele cel mai des utilizate, seismometria, electrometria în curent continuu și metoda georadar.

Plecând de la metodologia clasică, se pot separa patru mari etape în procesul de cercetare:

- Achiziția datelor de teren;
- Prelucrarea complexă a informațiilor geofizice, geologice și geotehnice;
- Interpretarea integrată a tuturor informațiilor de bază și conexe;
- Monitorizarea în timp „real” sau periodică a fenomenelor geotehnice.

Achiziția datelor de teren presupune o deplasare cu aparatură și personal specializat în perimetrul de cercetat, stabilirea unor rețele optime de măsură, a adâncimilor de investigație și a punctelor de control și de legătură cu bazele de date (topografice și geofizice). În **etapa de achiziție** are o importanță primordială validarea datelor culese pe teren, proces care include o fază inițială de documentare asupra zonei și de calibrare a aparaturii în parametri geofizici specifici regionali și locali. Măsurători experimentale, nomograme și abace de lucru, măsurători de control prin repetarea punctelor sensibile de măsură (anomalii geofizice) sunt tot atâtea instrumente de lucru pentru o acuratețe suficientă a datelor geofizice de teren (în general sub 10% procent de eroare a datelor de control față de cele de bază).

Etapa de **prelucrare a informațiilor geofizice** în termeni geotehnici presupune o serie de corelații cu informații colaterale, geologice, geofizice sau hidrogeologice în vederea separării valorilor anormale geofizic față de un fond parametric geologic și geofizic. Se utilizează o serie de procese automate matematice sau fizice de selectare a datelor prin filtrări și transformări, de corecții topografice și geofizice. Această etapă se finalizează prin construirea de material grafic specific, secțiuni și hărți geofizice parametrice și complexe, hidrogeofizice și geotehnice.

În final se adună toate datele cunoscute atât geofizice, cât și hidrogeologice, istorice și edilitare, construindu-se secțiuni și hărți geofizice în termeni geotehnici printr-un proces de **interpretare**

integrată. Acest proces presupune o experiență adecvată a specialiștilor implicați, având în vedere răspunderea mare pe care o au aceștia când dau verdicte asupra fenomenelor de instabilitate a terenurilor de fundare și a gradului lor de evoluție în timp.

Monitorizarea fenomenelor de instabilitate detectate în zona cercetată reprezintă etapa de validare a tuturor informațiilor interpretate integral și verificarea corectitudinii soluțiilor propuse pentru remedierea sau consolidarea terenurilor de fundare sau a versanților.

În privința modelelor matematice care stau la baza interpretării intrinsece a informațiilor geofizice trebuie să menționăm teoria corpului finit (seismometrie), teoria câmpurilor alfa (electrometrie), teoria difuziei (radiometrie), etc.

O contribuție importantă la investigarea mediului geologic și la evaluarea din punct de vedere geotehnic a unui amplasament, o are utilizarea metodelor geofizice adaptate la specificul geologiei ingineresti, respectiv la problemele ingineriei construcțiilor.

Astfel, din punct de vedere teoretic teza de doctorat tratează următoarele două aspecte:

prezentarea din punct de vedere teoretic a principiilor metodelor geofizice care pot fi utilizate pentru investigarea mediului geologic și pentru evaluarea geotehnică a unor amplasamente de construcții (Cap. 2). Pentru metoda georadar, fundamentarea teoretică a principiilor acesteia a fost prezentată în detaliu.

Această detaliere se datorează faptului că această metodă geofizică a început să se utilizeze din ce în ce mai mult în ultimii ani, fiind considerată metodă modernă, de înaltă eficiență, care are multe aplicații în domeniile geologiei ingineresti și ingineriei construcțiilor.

De asemenea o atenție deosebită a fost acordată și metodei seismice MASW, o tehnică nouă, utilizată începând din 1999, care oferă informații foarte bune legate de profilarea pe verticală a vitezei undelor de forfecare, având avantajul unui cost scăzut în raport cu metodele down-hole sau cross-hole.

Deși este redată în prima parte a lucrării, prezentarea teoretică a modului de realizare a unui program de prelucrare tomografică a înregistrărilor seismice reprezintă o contribuție teoretică a autorului la acest gen de interpretare a informațiilor geofizice.

investigarea geofizică prin metodele rezistivității, georadar și metode seismice a amplasamentelor unor viitoare construcții și soluțiile ce pot fi aplicate în rezolvarea unor probleme geotehnice. În teză mai sunt prezentate contribuțiile metodelor geofizice în rezolvarea unor probleme ingineresti de interes, precum și contribuțiile autorului în geofizica inginerescă (Cap.3, 4 și 5);

Bibliografia conține lucrări și studii de referință pe plan internațional, pentru fiecare din aspectele elaborate. Sunt incluse, lucrări științifice elaborate de autorul tezei sau de echipe prestigioase de cercetare științifică la care acesta a participat. Lucrările au fost prezentate și publicate la conferințe și congrese internaționale și naționale de specialitate. O parte din aceste lucrări au apărut în reviste internaționale de referință (Cap.6).

Mulțumiri

Autorul exprimă mulțumiri și recunoștința sa domnului Prof. dr. ing. Cristian Mărunțeanu, conducătorul științific, pentru sprijinul acordat de-a lungul timpului în formarea sa și în elaborarea tezei.

În același timp autorul își manifestă gratitudinea față de profesorii și întregul personal didactic al Facultății de Geologie și Geofizică din cadrul Universității din București care l-au inițiat în diferite domenii ale geosciințelor, i-au insuflat dorința de cunoaștere aprofundată a tainelor interiorului Pământului și i-au canalizat interesul spre cercetare științifică.

De asemenea, autorul aduce un omagiu memoriei Prof. dr. ing. Paul Georgescu.

Autorul aduce mulțumiri deosebite, Conf. dr. ing. Mihaela Stanciucu, Director de Departament Geotehnică din cadrul Facultății de Geologie și Geofizică, pentru încurajările susținute în ultimii ani.

Membrilor comisiei de doctorat, referenți științifici oficiali, Prof. dr. ing. Sanda Manea, Prof. dr. ing. Romeo Ciortan, Prof. dr. ing. Daniel Scărădeanu, dr. ing. Traian Moldoveanu și Lect. Dr. Ing. Florina Chitea le mulțumesc pentru interesul acordat lucrării și pentru observațiile științifice foarte utile pe care le-au dat. Autorul aduce mulțumiri și recunoștință foștilor și actualilor colegi din cadrul Institutului de Studii Geotehnice și Geofizice (GEOTEC S.A.), Institutul National de Cercetare Dezvoltare INCDIF "ISPIF" și GEOTESTING C.I. S.R.L., care au permis și facilitat realizarea tezei, prin condițiile oferite și prin cooperarea la realizarea unora dintre subiectele dezbătute în teză.

Mulțumiri fiului meu și soției pentru înțelegere și de asemenea aduc un omagiu memoriei părinților mei.

2. Metode geofizice pentru investigarea mediului geologic

2.1. Metode geofizice pentru determinarea structurii geologice a zonei amplasamentului

Metodele geofizice care pot fi utilizate în determinarea structurilor geologice, evaluarea geotehnică a amplasamentelor, localizarea accidentelor tectonice (falii, fracturi etc.) sau monitorizarea unor construcții, precum și parametri fizici studiați și originea câmpurilor măsurate, sunt prezentate în Tabelul 2.1.

Tabel 2.1. Metode geofizice utilizate pentru determinarea structurilor geologice locale și regionale necesare studiilor geotehnice (după T. Moldoveanu cu adăugiri)

Metode geofizice	Parametrul fizic determinat	Câmp măsurat	Origine naturală (N) /artificială (A)	Probleme rezolvate/ Contribuții(*)
Electrice în curent continuu	Rezistivitatea aparentă (ρ_a)	Diferența de potențial (ΔV)	A	<ul style="list-style-type: none"> - Stratificația - Falii, fracturi etc. - Structura locală - Studiul alunecărilor de teren - Probleme hidrogeologice (direcția de curgere a apelor subterane, evaluarea porozității totale etc.) - Amplasarea și calculul prizelor de pământ - Rezolvarea unor probleme de morfologie carstică - Studiul poluării cu soluții saline sau hidrocarburi - Detectarea și conturarea golurilor subterane, zidurilor/fundațiilor îngropate (arheologie)
Electromagnetice	Rezistivitate și/sau constante dielectrice	Câmp magnetic Câmp electric	N sau A	<ul style="list-style-type: none"> - Structura locală și regională - Detectarea și conturarea corpurilor metalice și nemetalice îngropate - Depistarea lucrărilor inginerești vechi și a golurilor subterane - Identificarea și localizarea obiectivelor arheologice ascunse de formațiuni superficiale - Testarea și verificarea structurilor de rezistență, localizarea armăturilor;

				<ul style="list-style-type: none"> - Determinarea grosimii și continuității stratelor de asfalt ale șoselelor; - Determinarea grosimii fundațiilor* - Determinarea grosimii stratelor de balast și a stratelor geologice de sub calea ferată. - Cartarea pânzei de apă freatică; - Detectarea reliefului pe fundul râurilor și lacurilor; - Detectarea scurgerilor din conducte.
Seismice	Viteza și/sau impedanța acustică a undelor mecanice (viteza * densitate)	Timpii de propagare și amplitudinea semnalelor transmise	A	<ul style="list-style-type: none"> - Stratificația - Falii, fracturi etc. - Structura locală - Zonarea microseismică - Parametri dinamici a terenului de fundare
Gravimetrice	Densitate	Câmpul gravific (g)	N	<ul style="list-style-type: none"> - Goluri - Falii, fracturi etc. - Structura geologică locală și regională
Magnetice	Susceptibilitatea magnetică	Câmpul magnetic terestru	N	<ul style="list-style-type: none"> - Falii, fracturi etc. - Structura geologică regională - Detectarea obiectelor metalice cu proprietăți magnetice
Radiometrice	Radioactivitatea rocilor	Numărul de impulsuri	N sau A	<ul style="list-style-type: none"> - Detectarea faliilor active prin emisiuni de Radon - Detectarea poluanților radioactivi

2.2. Metode geofizice pentru determinarea caracteristicilor dinamice ale terenului

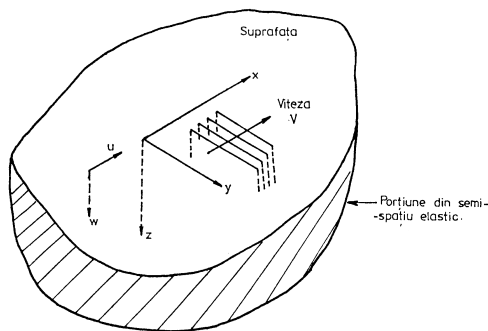
Metodele aplicate pentru determinarea vitezelor de propagare a undelor elastice (seismice) aparțin Seismometriei și Geofizicii de sondă.

Seismometria cuprinde totalitatea metodelor de cercetare a subsolului, bazate pe studiul propagării prin roci a undelor elastice (seismice) provocate artificial (prin explozii sau alte mijloace: șocuri mecanice, vibrații etc.). În principiu, se studiază undele elastice generate la suprafața Pământului care pătrund în subsol, unde întâlnind interfețe între strate cu impedanță acustică (δV) diferită, se reflectă sau se refractă, după care se întorc la suprafață, unde sunt captate de traductori speciali (geofoni), conectați la o stație de înregistrare. Pe baza timpilor de propagare și a distanțelor la care au fost recepționate undele, se pot determina vitezele de propagare și poziția limitelor reflectatoare și refractoare.

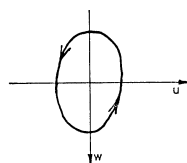
Undele elastice (seismice) sunt de două tipuri (fig. 2.1.;fig. 2.2.):

- unde de volum (propagările au loc în întregul mediu):
 - unde longitudinale sau de compresiune (P) (mișcarea particulelor este paralelă cu direcția de propagare);
 - unde transversale sau de forfecare (S) (mișcarea particulelor este perpendiculară pe direcția de propagare);
- unde de suprafață (propagarea are loc în vecinătatea suprafeței libere a mediului):
 - de tip longitudinal - unde Rayleigh (R);
 - de tip transversal - unde Love (L).

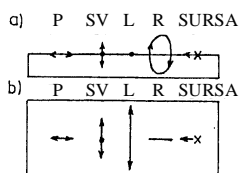
Mișcarea particulelor la aceste unde de suprafață au traiectorii complexe.



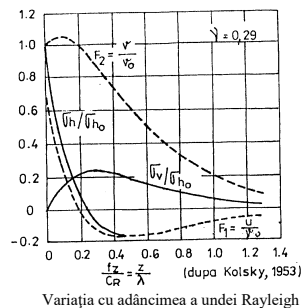
Definirea axelor și deplasărilor; unde de suprafață



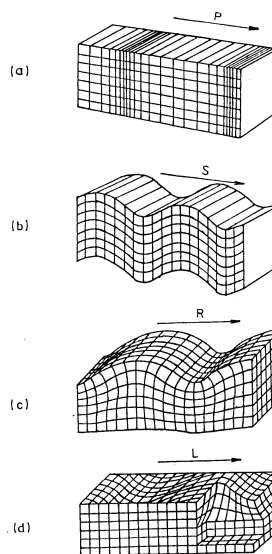
Mișcarea punctului la suprafață în cazul unei sinusoidale Rayleigh



Schița cu propagarea undelor directe:
a) vedere dintr-o parte;
b) vedere de deasupra.
Săgețile indică mișcările particulelor și undelor și sunt aranjate în ordinea mărimii vitezelor de propagare



Variația cu adâncimea a unei Rayleigh (după Kolsky, 1953)



Tipuri de unde elastice:

- Unde de volum:
a) unde compresionale (I)
b) unde de forfecare (S)
- Unde de suprafață:
c) unde Rayleigh (R)
d) unde Love (L)

Fig.2.1 Tipuri de unde seismice, direcția de propagare și de vibrație

Fig. 2.2 Tipuri de unde seismice, direcția de propagare și vibrație. Reprezentarea în bloc diagramă.

Vitezele de propagare a acestor tipuri de unde se află în următorul raport:

$$V_P > V_S > V_L > V_R. \quad (2.1)$$

Determinarea vitezei unei unde de forfecare V_S prin măsurătorile de undă de suprafață Rayleigh este indicată în special pentru terenurile foarte atenuante și mediile zgomotoase, deoarece procentul energiei convertite în unde Rayleigh este predominant (67%) față de cel implicat în generarea și propagarea undelor P (7%) și S (26%).

2.2.1. Metoda refracției

O primă metodă seismometrică, utilizată pentru determinarea vitezelor undelor elastice, este metoda de refracție.

Această metodă are o largă aplicare în rezolvarea problemelor de geologie inginerească atât la investigarea fundațiilor construcțiilor, cât și la urmărirea comportării acestora în timp.

Tehnica de refracție seismică este larg aplicată în inginerie și este utilizată pentru determinarea caracteristicilor mecanice ale terenurilor, precum și pentru identificarea variațiilor stratigrafic-litologice și a vitezei de propagare a undelor seismice.

Metoda refracției urmărește înregistrarea și valorificarea undelor frontale care corespund limitei între două medii geologice, cel inferior trebuind să fie caracterizat printr-o viteză mai mare de propagare a undelor seismice.

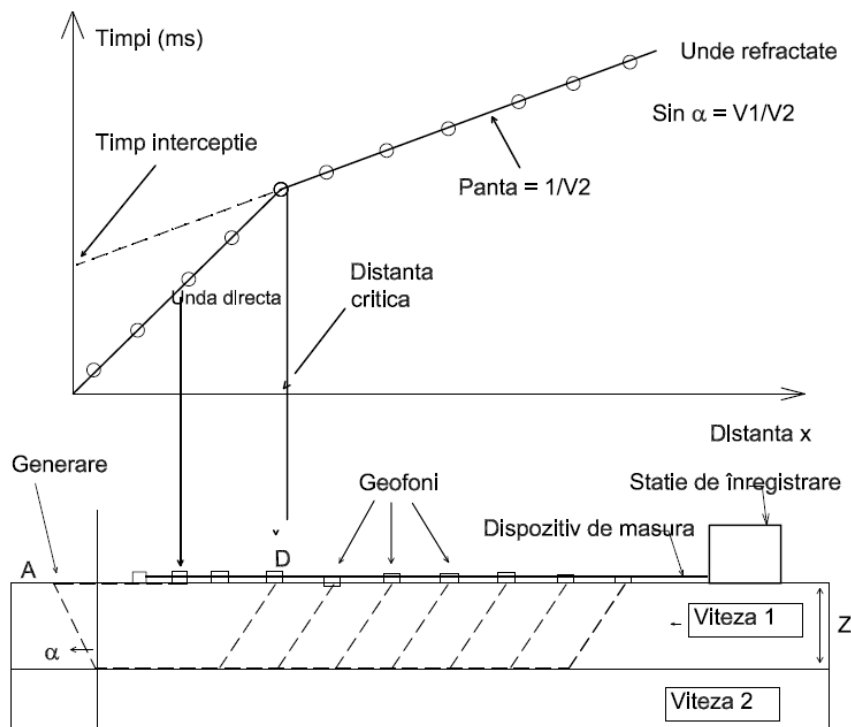


Fig. 2.3 Schema de principiu corespunzătoare unui dispozitiv de înregistrare seismică prin metoda refracției și diagrama spațiu - timp (hodograf)

2.2.2. Metoda undelor directe

Seismica undelor directe sau metoda vitezelor medii include totalitatea procedeelelor care au la bază studiul undelor care se propagă pe parcursuri directe între punctul de generare și cel de recepție. Punctele de generare și cele de recepție sunt situate, fie ambele în subteran (în găuri de sondă, galerii), fie unul în subteran iar celălalt la suprafață. Aplicarea acestei metode permite determinarea unor neomogenități din subsol (goluri, zone de alterare - fisurare, falii, etc.) și cea a morfologiei eventualelor limite de discontinuitate traversate de unde. Această metodă are o largă aplicare în studiul amplasamentelor construcțiilor industriale importante (baraje, centrale nucleare, diguri etc.).

2.2.2.1. Metoda crosshole

Această metodă este folosită pentru determinarea variației vitezei undelor elastice cu adâncimea pe baza efectuării unor măsuratori între foraje, permițând totodată detalierea informațiilor asupra unui amplasament.

Măsurătorile se execută prin retragerea succesivă, din metru în metru sau din doi în doi metri, de la talpă către suprafață. Pentru a asigura o certitudine a valorii înregistrate este necesară repetarea măsurătorilor, de cel puțin trei ori, calculându-se apoi înmășurarea.

Se va urmări ca polaritatea semnalului să rămână nemodificată pe toată perioada înregistrării. Schimbările de polaritate presupun refracții interne datorate fie unei stratificații cvasiorizontale, fie că în patul stratului superior există situația:

$$(\delta_1 V_1 > \delta_2 V_2 > \delta_3 V_3) \quad (2.2)$$

O altă variantă a metodei crosshole o reprezintă măsurătorile între foraje și galerii. Această metodă este aplicabilă în special în amplasamentele barajelor, la centralele subterane etc.

2.2.2.2. Metoda microseismocarotajului (MSC)

Metoda MSC (micro-seismo-carotaj) este o operație ce se execută în lungul unui foraj cu scopul de a determina regimul de variație al vitezelor pe verticală. Această metodă are avantajul de a nu fi afectată de fenomenele de refracție internă, cu excepția cazului în care stratele sunt dispuse vertical (caz rar întâlnit). Se folosesc două variante: metoda MSC de unde P (carotaj de viteză) și metoda MSC de unde P și S (carotajul de unde PS).

Metoda MSC de unde P (carotaj de viteză): are drept scop determinarea vitezei undei P din măsurători și a timpului de propagare al undelor seismice. Metoda MSC de unde de tip P poate fi:

- inversă (up-hole) - cu sursă de generare în foraj
- normală (down-hole) - cu sursă de generare la suprafață (fig. 2.4).

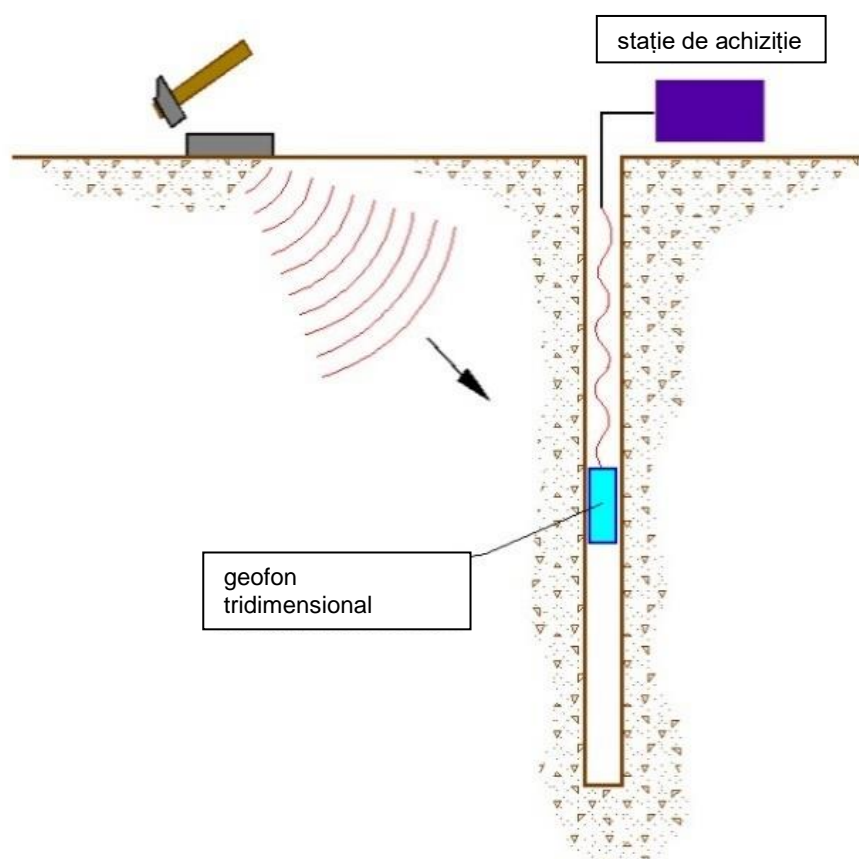


Fig. 2.4 Schema de principiu corespunzătoare unui dispozitiv de înregistrare seismică prin metoda microseismo-carotajului (MSC): procedeul down-hole cu un singur receptor

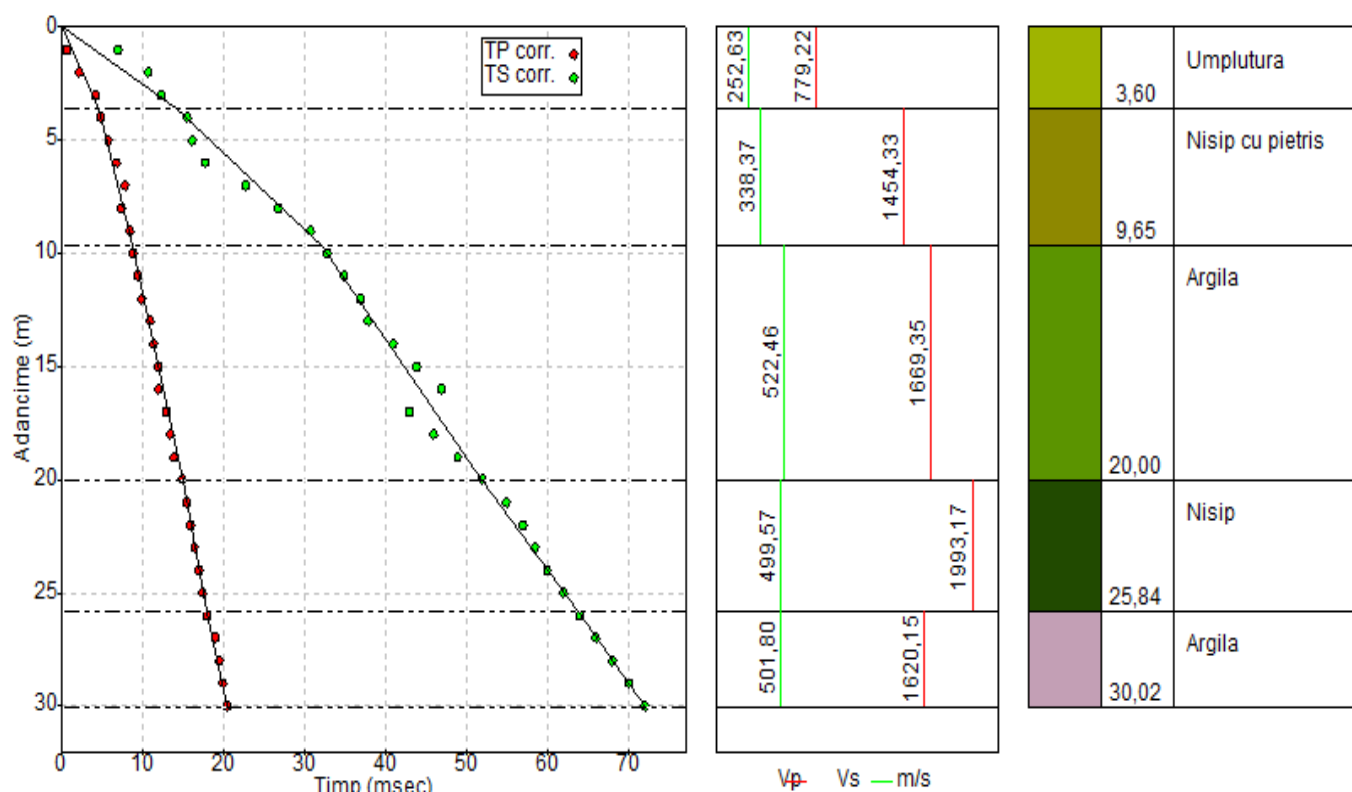


Fig.2.5 Rezultatele investigației seismice prin metoda downhole într-un foraj situat pe un amplasament din strada Gabroveni din București (Diaconu A., 2016)

2.2.3. Metoda carotajului vertical de viteze P și S

Metoda carotajului de viteze P-S este o metoda relativ nouă de măsurare a profilului vitezelor undelor seismice, dezvoltată la mijlocul anilor '70 pentru a răspunde nevoii unei tehnici de măsurare a vitezei undelor de forfecare în adâncime în foraje netubate.

Inițial a fost folosită de către cercetătorii de la OYO Corp. of Japan. Metoda a fost acceptată în Japonia la mijlocul anilor '80 și a fost folosită împreună cu alte metode de măsurare a vitezei pentru a caracteriza răspunsul la acțiuni seismice al terenului de fundare. Încă de la începutul anilor '90 a fost acceptată și în SUA, în special pentru cercetarea în ingineria seismică

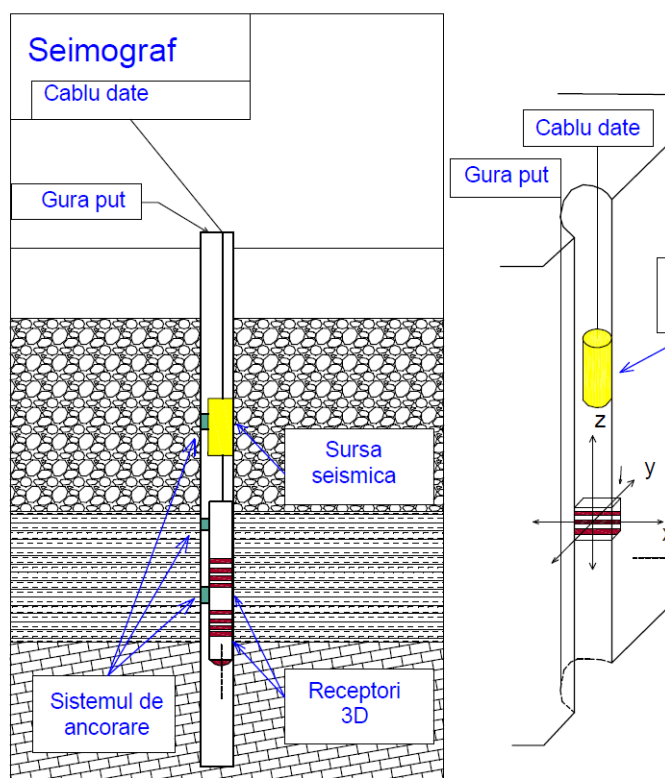


Fig.2.6 Model schematic al investigației prin metoda carotajului de viteze P și S (după www.geovision.com)

În fig. 2.7 se prezintă o înregistrare a unui carotaj de viteze P și S într-un foraj seismic de 100 m. adâncime amplasat la baza digului Dunării la nord de Brăila, în amplasamentul viitorului Pod Suspendat peste Dunăre.

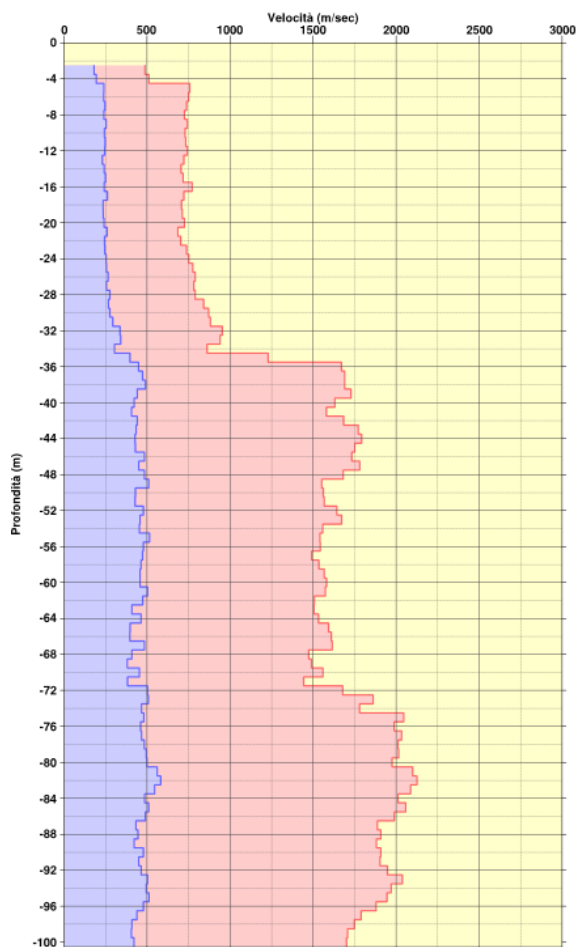


Fig.2.7 Înregistrarea unui carotaj de viteze P și S într-un foraj seismic de 100 m adâncime situat în Brăila
[Geoinvest, 2018]

2.2.4. Metoda tomografiei seismice în cercetarea geofizică

Cercetarea geofizică cu ajutorul metodelor seismice a construcțiilor, pe parcursul exploatării, și a terenului de fundare aferent, în faza de studii de amplasament, oferă informații detaliate asupra calităților fizico-mecanice ale materialului din componența acestora, structurii geologice a rocilor din amplasament, distribuției neomogenităților și a accidentelor tectonice, etc.

O metodă caracterizată printr-o rezoluție ridicată în determinarea repartiției proprietăților fizice în cadrul materiei, prin analize matematice speciale ale propagării undelor elastice longitudinale, este **tomografia seismică**.

Interpretarea datelor măsurătorilor seismice cu metoda tomografică presupune utilizarea unui program de calcul adecvat, cu ajutorul căruia se prelucrează pe calculator un volum foarte mare de date într-un timp relativ scurt.

Tomografia seismică este o metodă modernă utilizată pentru reconstituirea imaginii structurale a pământului pe baza timpilor de propagare sau a amplitudinilor undelor seismice într-o secțiune cercetată, definită în general de către foraje, galerii și suprafața pământului.

După numele generic al acestui gen de măsurători seismice se utilizează în mod curent și termenul de **tomografiere seismică de tip cross-hole**.

Cu ajutorul măsurătorilor tomografice se obține o distribuție detaliată a proprietăților fizice, cum sunt viteza de propagare a undelor seismice sau atenuarea în masa de rocă. În acest fel, tomografia seismică identifică discontinuitățile existente în domeniul câmpului de viteze.

Trebuie precizat faptul că metoda cross-hole furnizează date despre repartiția câmpurilor de viteze medii, spre deosebire de câmpurile de viteze reale obținute prin prelucrarea tomografică a datelor seismice, în secțiunea cercetată.

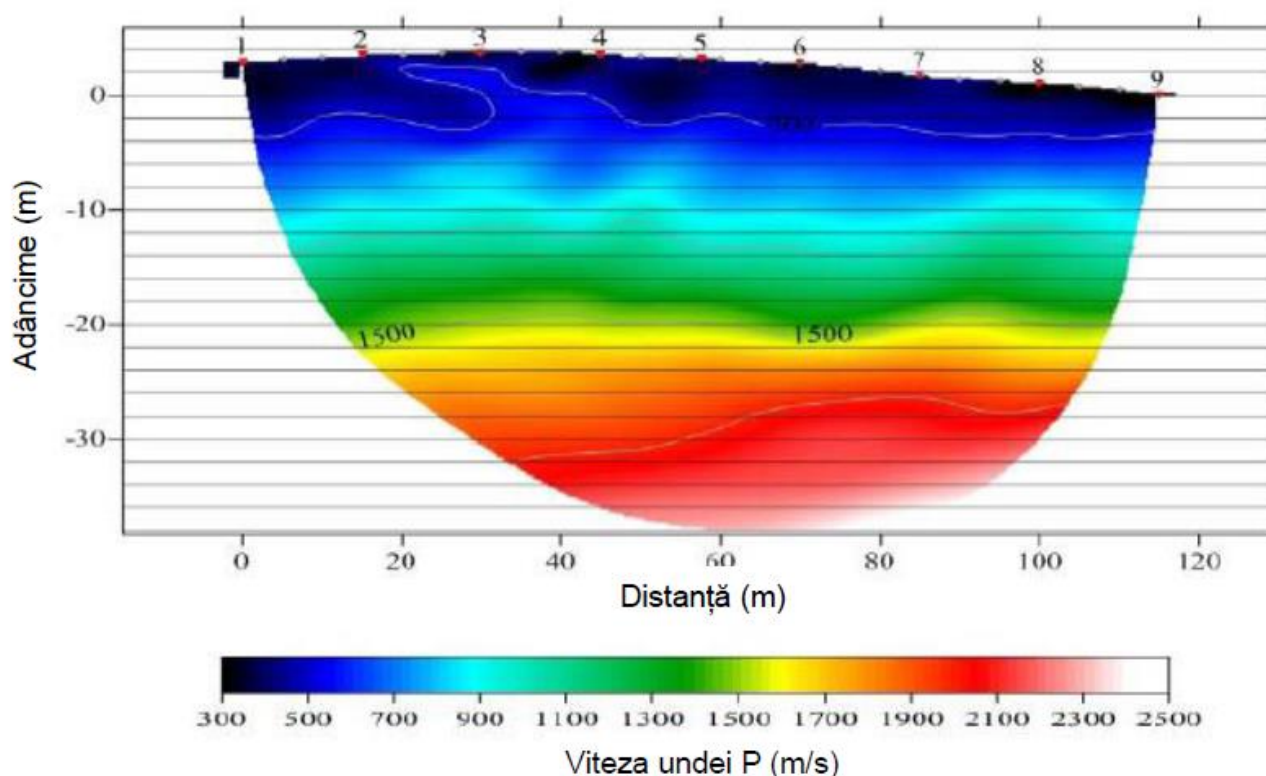


Fig. 2.8 Tomografie seismică pe un amplasament situat în apropierea căii ferate Sighișoara-Mediaș, în vecinătatea localității Daneș (jud. Mureș).

Examinând tabloul distribuției de viteze obținut, se constată existența unui gradient uniform de creștere a vitezelor cu adâncime și un grad relativ mare de uniformitate a rocilor existente în panoul seismic prezentat.

2.2.5. Metoda analizei undelor de suprafață Rayleigh (MASW)

Analiza multicanal a undelor de suprafață al cărei acronim este MASW, reprezintă o tehnică de explorare seismică recentă, introdusă în geofizică de către Park și colab. în 1999.

Metoda undelor de suprafață (folosind undele Rayleigh) este o metodă de caracterizare seismic-stratigrafică, prin care este posibilă obținerea, de-a lungul profilului vertical, a distribuției monodimensionale a vitezei de propagare a undelor de forfecare V_s , ce permit examinarea stratificației mediului geologic investigat, cu referire la răspunsul seismic al fiecărui strat traversat și, prin urmare, obținerea modulului dinamic de forfecare al acestuia.

MASW măsoară în primul rând undele seismice de suprafață generate de diferite tipuri de surse seismice (cum ar fi ciocanul), analizează vitezele de propagare ale acestor unde de suprafață, și în cele din urmă se deduc variațiile vitezei undei de forfecare (V_s) sub zona studiată.

Undele de suprafață nu au o singură viteză, ci o viteză de fază în funcție de frecvență. Relația dintre frecvență și viteza de fază este cuprinsă în curbele de dispersie și de atenuare care printr-un proces matematic de inversiune, permit determinarea profilurilor verticale de viteză ale undelor de forfecare S , proporționale cu viteza de fază a undelor de suprafață.

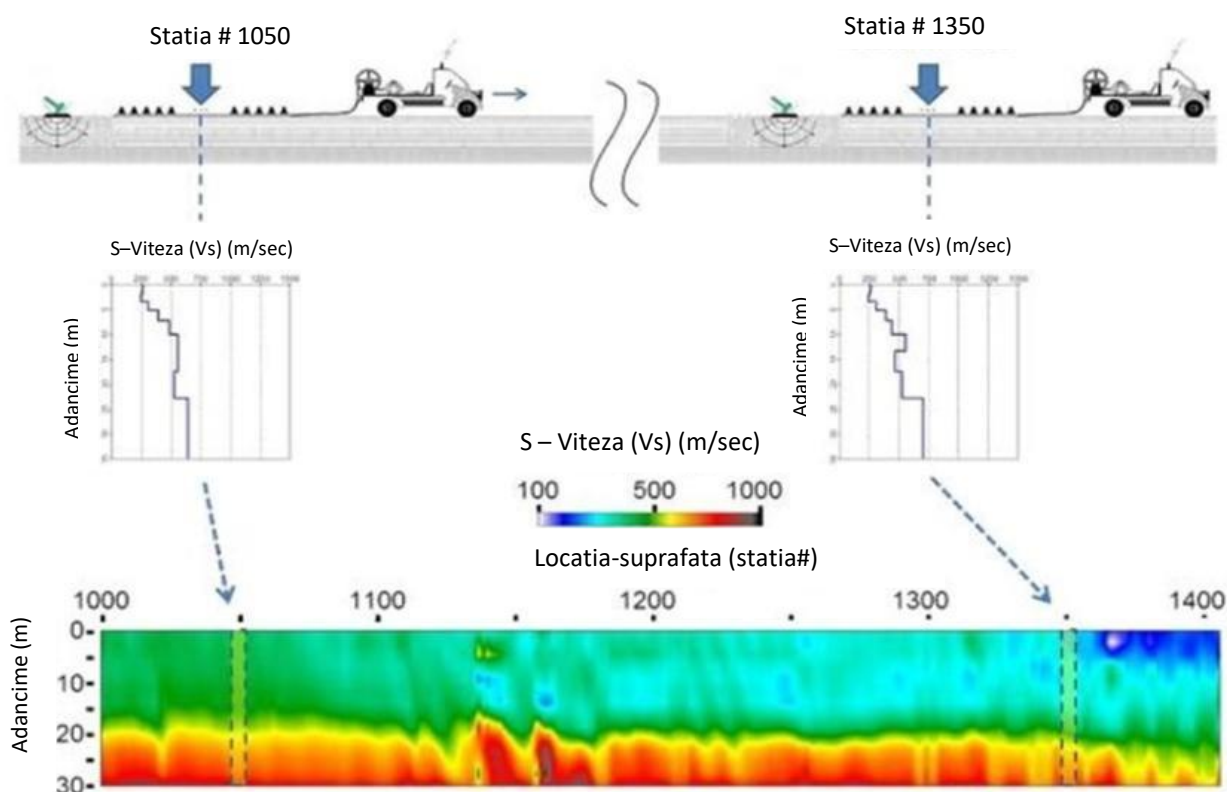


Fig. 2.9 Secțiune MASW 2D (după Park și colab. 1999)

Metoda MASW activă a fost introdusă pentru prima oară în geofizică de către Park și colaboratorii în anul 1999.

2.3. Metode geofizice moderne pentru detectarea fundațiilor, căilor de infiltrație și a zonelor de alunecare

2.3.1. Metoda Georadar

2.3.1.1. Propagarea undelor electromagnetice

Cele patru ecuații ale lui Maxwell care guvernează propagarea undelor radar în cazul unui mediu eterogen, anizotrop și neliniar sunt:

$$\begin{aligned} \operatorname{div} \vec{D} &= \rho \\ \operatorname{div} \vec{B} &= 0 \\ \operatorname{rot} \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \operatorname{rot} \vec{H} &= \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \end{aligned} \quad (2.3)$$

unde: \vec{D} - vectorul deplasării de curent [C/m²]
 \vec{B} - vectorul inducției magnetice [T]
 \vec{E} - vectorul intensității câmpului electric [V/m]
 \vec{H} - vectorul intensității câmpului magnetic [A/m]
 \vec{J} - vectorul densității curentului de inducție [A/m³]

Se admit, cu o bună aproximație, pentru un mediu liniar și izotrop, următoarele ecuații:

$$\begin{aligned} \vec{D} &= \varepsilon \cdot \vec{E} \\ \vec{B} &= \mu \cdot \vec{H} \\ \vec{J} &= \sigma \cdot \vec{E} \end{aligned} \quad (2.4)$$

ε - permitivitatea electrică a mediului [F/m]
 ε_0 - permitivitatea în vid, $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m
 ε_r - permitivitatea relativă, $\varepsilon_r = \varepsilon/\varepsilon_0$
 $\varepsilon_r = 1 \div 81$ pentru majoritatea mediilor geologice
 μ - permeabilitatea magnetică a mediului [H/m]
 μ_0 - permeabilitatea magnetică în vid, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m
 μ_r - permeabilitatea magnetică relativă, $\mu_r = \mu/\mu_0$
 $\mu_r = 1$ pentru majoritatea mediilor investigate prin metoda georadar
 σ - conductibilitatea electrică a mediului [mho/m].

Pentru un mediu dielectric $\sigma = 0$ (aer, vid, gheață). În acest caz se poate neglija vectorul densității curentului de conducție ($\vec{J} = 0$) și ecuațiile de undă pentru un mediu omogen devin :

În concluzie, propagarea undelor electromagnetice ce traversează un mediu real este controlată în principal de următorii doi factori:

ε – permitivitatea electrică a mediului (constanta dielectrică a mediului)
 σ - conductivitatea electrică

În Tabelul 2.2 sunt prezentate valorile efective ale conductivităților (σ), permitivităților (ϵ_r) și vitezelor de propagare ale undelor electromagnetice (v) pentru un număr de materiale, aflate în stare umedă și uscată, care sunt cel mai des întâlnite în măsurătorile georadar, după diferiți autori.

Tabelul 2.2. Valorile aproximative ale conductivității (σ), permitivității (ϵ_r) și vitezele de propagare ale undelor electromagnetice (v) pentru diferite materiale (după GSSI, 1994).

Material	σ (mho/m)	ϵ_r	v (m/ns)
Aer	0	1	0,3
Apă dulce	$10^{-4} - 3 \cdot 10^{-2}$	81	0,034
Apă de mare	4	81	0,034
Nisip (uscat)	$10^{-7} - 10^{-3}$	4 - 6	0,13
Nisip (saturat)	$10^{-4} - 10^{-2}$	30	0,06
Material	σ (mho/m)	ϵ_r	v (m/ns)
Praf (saturat)	$10^{-3} - 10^{-2}$	10	0,10
Argilă (saturată)	$10^{-1} - 1$	8 - 12	0,10
Nisipuri uscate de coastă	0,002	10	0,10
Sol mlăștinos	0,008	12	0,09
Teren agricol	0,01	15	0,08
Pășune	0,005	13	0,09
Gheață (din apă dulce)	10^{-3}	4	0,15
Sol înghețat	$10^{-5} - 10^{-2}$	4 - 8	0,13
Granit (uscat)	10^{-8}	5	0,13
Calcar (uscat)	10^{-9}	7 - 9	0,12
Dolomit	-	7 - 8	0,25
Cuarț	-	4	0,15
Cărbune	-	4,5	0,15
Beton	-	6	0,12
Asfalt	-	3 - 5	0,15 - 0,13
PVC	-	3	0,15

2.3.1.2 Metoda Georadar. Aplicații.

Metoda Georadar (Ground Penetrating Radar - GPR) este o tehnică nedistructivă, bazată pe principiul propagării undelor radar (electromagnetice) în soluri, roci sau în orice alte medii de investigație (masive muntoase, betoane etc.). Aceasta se aplică pentru definirea structurilor care prezintă caracteristici electrice (conductivitate și permitivitate) contrastante în raport cu mediul înconjurător.

Metoda este considerată rapidă deoarece pot fi acoperiți zilnic de la 1,5 km de profil în cazul unor aplicații cu caracter geologic sau din construcții, până la 70-80 km în cazul investigațiilor pe șosele sau căi ferate.

Tehnica este non-distructivă, cuplajul emițătorului și receptorului neafectând în nici un fel mediul investigat.

Achiziția analog digitală a sistemului GPR permite măsurători cvasicontinue, evidențierea rapidă "in situ" a structurilor îngropate și prelucrarea rapidă a înregistrărilor obținute.

Undele radar de foarte scurtă durată (cuprinse între 1 - 15 ns) sunt emise în banda de frecvență 10 - 2.500 MHz, cu ajutorul unei antene plasate la suprafața mediului studiat (suprafața solului, a rocii, a peretelui unui zid etc.). Propagându-se în mediu, undele sunt reflectate sau difractate de către interfețele care limitează structurile cu caracteristici electromagnetice contrastante și sunt remise spre suprafață, unde sunt captate de o altă antenă, apoi înregistrate, în funcție de timp (fig. 2.10).

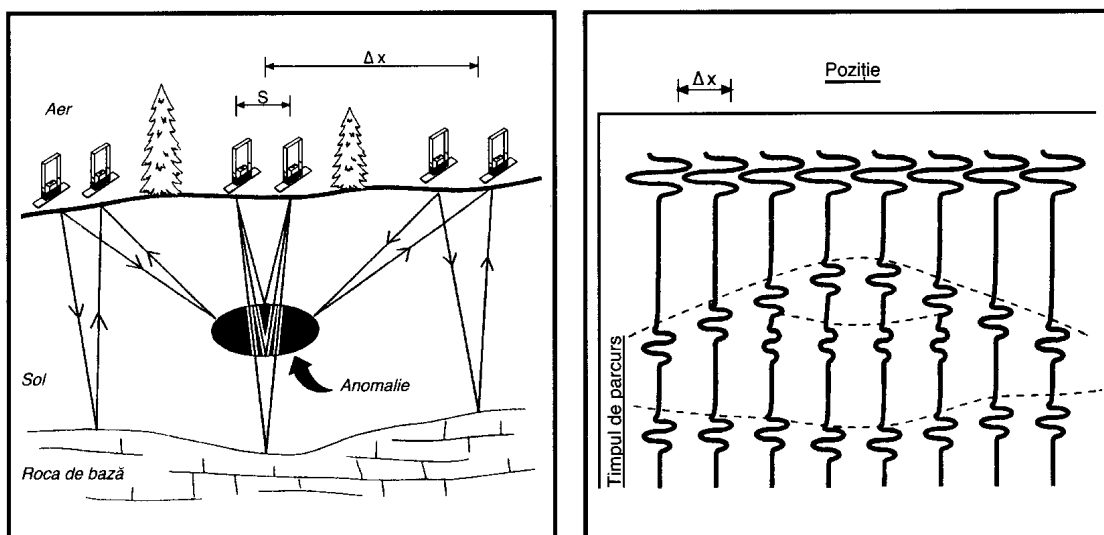


Fig.2.10 Principiul metodei georadar

Adâncimea de pătrundere crește odată cu creșterea lungimii de undă radar. Valori uzuale ale adâncimii de investigare și rezoluției sunt date în tabelul 2.3 pentru un sol uzual cu permitivitate relativă $\epsilon_r=16$.

Tabelul 2.3 Valori uzuale ale frecvenței în corelație cu adâncimea de investigare și lungimea de undă (Moldoveanu T, Diaconu A., Oprea M, 1997)

f(MHz)	λ (cm)	Z_{max} (m)	δ_x (cm)
10	750	50	1500
50	150	20	300
100	75	15	120
400	19	5	30
900	8	1	8

Pentru obținerea unor rezultate corespunzătoare este necesar a fi îndeplinite următoarele condiții, ordinea fiind cu totul aleatoare:

- existența unui contrast dielectric în mediul investigat;
- alegerea antenei proprii aplicației;
- condiții bune de acces în zona de lucru;
- alegerea vitezei optime de deplasare;
- prezența unui mediu cu o conductivitate scăzută;
- existența unor condiții bune de emiterie a semnalului;
- lipsa unor câmpuri electromagnetice perturbatoare;
- echipament bun;
- timp suficient;
- condiții meteorologice optime;
- existența unor planuri cât mai detaliate;
- experiență în utilizarea metodei georadar;
- posibilitatea de a completa prospecțiunea și cu alte metode de investigare.

2.3.2. Metode geoelectrice

Metodele geoelectrice se utilizează în vederea evidențierii trăsăturilor fizico-geometrice ale subsolului pe baza distribuției de proprietăți electrice. Diferențierea proprietăților electrice se manifestă prin rezistivitatea ρ sau inversul ei, conductibilitatea electrică γ , permitivitatea

dielectrică ε , activitatea electrochimică și polarizarea sub acțiunea câmpurilor electrice exterioare. Pentru majoritatea metodelor de investigații geoelectrice, rezistivitatea este parametrul cel mai important. Unitatea de măsură adoptată pentru rezistivitate este ohm-metrul (Ωm), care reprezintă rezistența electrică a unui cub de sol cu latura de 1m la trecerea curentului electric îndreptat perpendicular pe una din fețele lui.

Investigația geoelectrică prezintă o mare varietate de metode nedistructive de investigare a subsolului, având un cost redus în raport cu informația obținută.

În general, metodele geoelectrice utilizate în investigarea solurilor și apelor subterane, după comportamentul în timp al câmpului electric utilizat, se clasifică în două mari grupe: Metode Electrice în Curent Continuu și Metode Electromagnetice.

2.3.2.1. Metoda rezistivităților

În practica prospecțiunii electrice în curent continuu se măsoară diferențele de potențial care apar între doi electrozi de măsură M și N, așezați la suprafața solului, ca urmare a injectării curentului prin intermediul a doi electrozi de curent A și B (fig.2.11). Într-un semispațiu omogen și izotrop de rezistivitate ρ potențialele punctelor M și N datorate curentului injectat prin electrozii A și B se pot exprima astfel:

$$V_M = \frac{I\rho}{2\pi} \cdot \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right); \quad V_N = \frac{I\rho}{2\pi} \cdot \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right). \quad (2.5)$$

Diferența de potențial dintre cei doi electrozi de măsură va fi dată de relația:

$$\Delta V = V_M - V_N = \frac{I\rho}{2\pi} \cdot \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} \right). \quad (2.6)$$

Având aceste valori exprimate, se poate determina rezistivitatea semispațiului:

$$\rho = k \cdot \frac{\Delta V}{I}, \quad \text{unde } k = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}}. \quad (2.7)$$

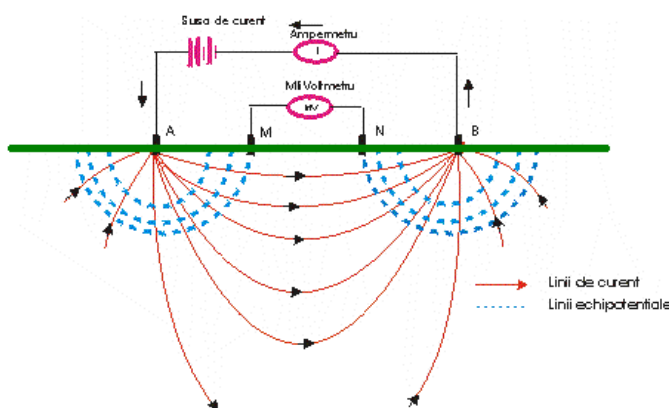


Fig.2.11 Metoda rezistivității. Principiul metodei

Când terenul nu este omogen și izotrop, iar suprafața lui nu este plană, valoarea rezistivității calculată cu ajutorul formulei de mai sus reprezintă o medie complexă a rezistivităților mediului din imediata vecinătate a dispozitivului de măsură. Această valoare medie a fost denumită *rezistivitate aparentă*, notată în general cu ρ_a .

Rezistivitatea aparentă, datorită semnificației ei fizice (aceea de medie a rezistivităților rocilor din subsol), este mărimea folosită cel mai frecvent în interpretarea măsurătorilor în diferitele variante ale metodei rezistivității, acestea diferențiindu-se prin modul specific de dispunere al celor patru

electrozii utilizați în măsurători în funcție de trăsăturile geoelectrice ale subsolului care se urmăresc a fi evidențiate.

Dintre cele mai folosite, se pot remarca variantele următoare: Sondajul Electric Vertical, Profilarea Electrică, Metoda Corpului Încărcat.

2.3.2.2. Sondajul Electric Vertical

Această metodă este o variantă a Metodei Rezistivităților, în care se urmărește în principal variația pe verticală a rezistivității, de unde și denumirea de Sondaj Electric Vertical (SEV). Practic, se pot obține informații de la adâncimi din ce în ce mai mari prin mărirea succesivă a distanțelor dintre electrozii A și B situați pe suprafața terenului, pentru fiecare din aceste distanțe măsurându-se o rezistivitate aparentă reprezentativă pentru un volum de rocă cuprins între suprafață și o adâncime proporțională cu distanța AB, în general adâncimea de investigație fiind considerată $AB/2$.

Dispozitivul de măsură utilizat de regulă în această metodă este dispozitivul Schlumberger, acesta fiind cel mai sensibil la modificarea pe direcție verticală a rezistivității rocilor. Pot fi însă folosite orice alte tipuri de dispozitive care pot asigura mărirea succesivă a adâncimii de investigație: dispozitivul Wenner, dipol-dipol.

Când sunt folosite dispozitivele Schlumberger sau Wenner se menține în poziție fixă centrul acestora și se îndepărtează simetric, în raport cu centrul, electrozii de curent AB și, după caz (dispozitivul Wenner), electrozii MN.

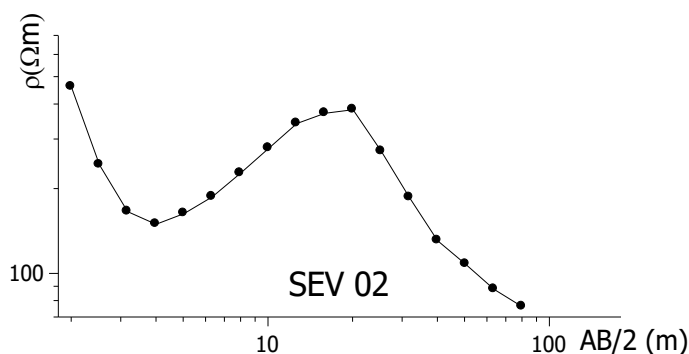


Fig. 2.12 Curbă de sondaj electric vertical realizată cu dispozitiv Schlumberger

2.3.2.3. Profilarea Electrică de tip Dipol-Dipol

Această tehnică este aproape exclusiv folosită pentru investigarea terenurilor cu variații laterale mari de rezistivitate. Spre deosebire de varianta SEV, în acest caz nu se păstrează fixă axa de simetrie a dispozitivului folosit.

Cel mai adesea se folosește dispozitivul dipol-dipol axial. Distanța dintre electrozii de măsură MN este egală cu cea dintre electrozii de curent AB și se notează cu a . Pentru o poziție dată a electrozilor MN, dispozitivul de curent AB se deplasează lateral, cu pasul a , până la o distanță limită aleasă sau impusă de condițiile locale de la suprafață, de regulă un multiplu na . Valorile de rezistivitate aparentă măsurată se raportează în vârful unghiului drept al unui triunghi dreptunghic isoscel ale cărui vârfuri de unghiuri ascuțite sunt în centrele liniilor MN și AB. (Fig. 2.13)

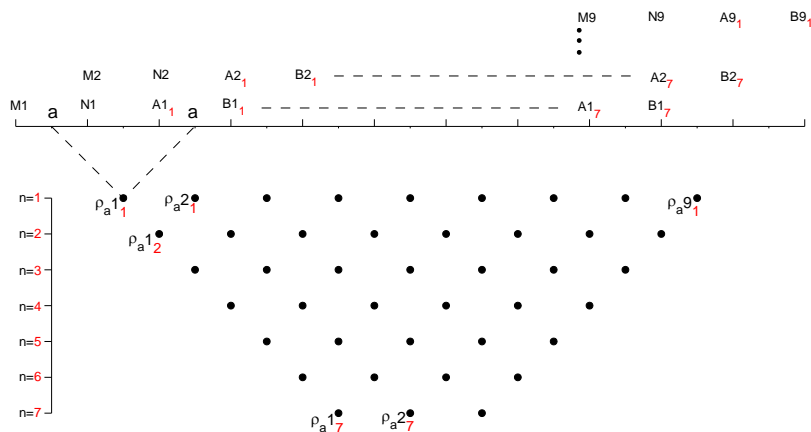


Fig.2.13. Ilustrarea tehnicii de achiziție și reprezentare a măsurătorilor în profilarea electrică de tip dipol-dipol

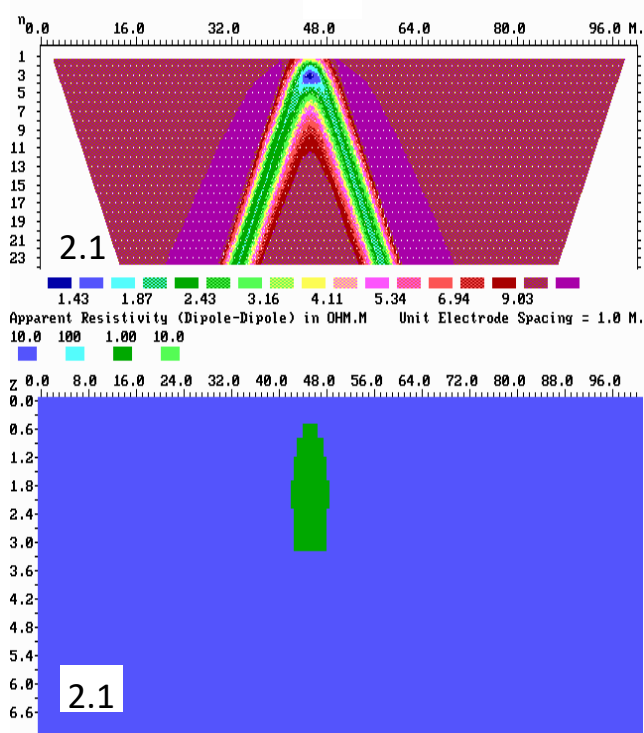


Fig.2.14 Secțiune de rezistivitate aparentă sintetică într-o profilare electrică cu dispozitiv dipol-dipol (2.14.a) a unui corp conductor (2.14.b) ce realizează cu mediul un contrast de ast de rezistivitate de 1/10

2.3.2.4. Investigația geoelectrică multielectrod – tomografia geoelectrică

Sistemul de profile electrice de suprafață cu dispozitiv multielectrod reprezintă o metodologie inovatoare a măsurătorilor geoelectrice clasice.

Tomografia electrică de rezistivitate (ERT) constă în caracterizarea geoelectrică și dimensională, cu un grad de detaliere ridicat, a structurilor prezente de-a lungul secțiunilor bidimensionale.

Sistemul permite reconstituirea distribuției spațiale în două dimensiuni a rezistivității reale în subsol cu o rezoluție care depinde de distanța dintre electrozi și tipul de dispozitiv.

Apariția metodologiei de măsură multielectrod în anii nouăzeci a permis efectuarea tomografiei electrice de rezistivitate care poate genera imagini 2D și 3D ale distribuției rezistivității subsolului, prin utilizarea unui număr variat de electrozi aranjați în funcție de geometria definită de tipul de dispozitiv adoptat (matrice).

Inovarea în ceea ce privește profilurile de rezistivitate este reprezentată de posibilitatea de a efectua un număr mare de măsurători într-un timp scurt și de elaborare ulterioară cu programe de inversiune bidimensionale. Această tehnică permite, de asemenea, efectuarea de măsurători chiar și în prezența unor terenuri neregulate din punct de vedere morfologic (topografic), cu condiția efectuării de ridicări topografice la fiecare electrod de măsură; aceste informații vor fi apoi luate apoi în considerare în procesul de prelucrare a datelor.

Datorită faptului că distribuția rezistivității aparente este legată de grosimea, localizarea, forma și rezistivitatea stratelor traversate de liniile de curent, este posibilă obținerea de informații despre subsolul (mediul) investigat.

3. Studii de caz.

3.1. Investigații prin metoda Georadar

3.1.1. Metoda de determinare a grosimii fundației

Determinarea grosimii unei fundații prin metoda georadar pune o problemă dificilă datorită compromisului între adâncimea de investigație și rezoluție. Rezoluția spațială la care ne putem aștepta în cazul utilizării unei antene cu frecvența de 100 MHz este de circa 1m., mai mare decât grosimea presupusă a fundației (circa 0.5 m). Ca atare nu se vor obține reflexii distincte de pe cele două suprafețe ale fundației, superioară și inferioară, însă poate fi utilizată o metodologie de determinare a semnăturii radar pentru diferite grosimi.

3.1.1.1 Metoda semnăturii radar

Pentru obținerea unei estimări a grosimii s-a procedat la determinarea semnăturii radar a unui strat de beton, de grosime cunoscută, implantat într-un mediu de permitivitate dată. Pentru aceasta s-a considerat o permitivitate medie a solului $\epsilon_1 = 16.4$. Permitivitatea betonului variază între limite relativ mici $3 \leq \epsilon_2 \leq 6$. Vom adopta $\epsilon_2 = 5$.

Considerăm acum următoarea problemă (cu referire la fig. 3.1). Fie un strat plan infinit de grosime δ și permitivitate ϵ_2 inclus într-un mediu de permitivitate ϵ_1 la adâncimea Z . De pe cele două suprafețe de separare a mediilor dielectrice au loc fenomene succesive de reflexie și transmisie. Presupunând că mediile sunt amagnetice, coeficienții de reflexie și transmisie la trecerea din mediul 1 în mediul 2 sunt:

$$R_{12} = \frac{\sqrt{\epsilon_1} - \sqrt{\epsilon_2}}{\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2}}, \quad T_{12} = \frac{2\sqrt{\epsilon_2}}{\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2}} \quad (3.1)$$

iar la trecerea din mediul 2 în mediul 1

$$R_{21} = \frac{\sqrt{\epsilon_2} - \sqrt{\epsilon_1}}{\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2}}, \quad T_{21} = \frac{2\sqrt{\epsilon_1}}{\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2}} \quad (3.2)$$

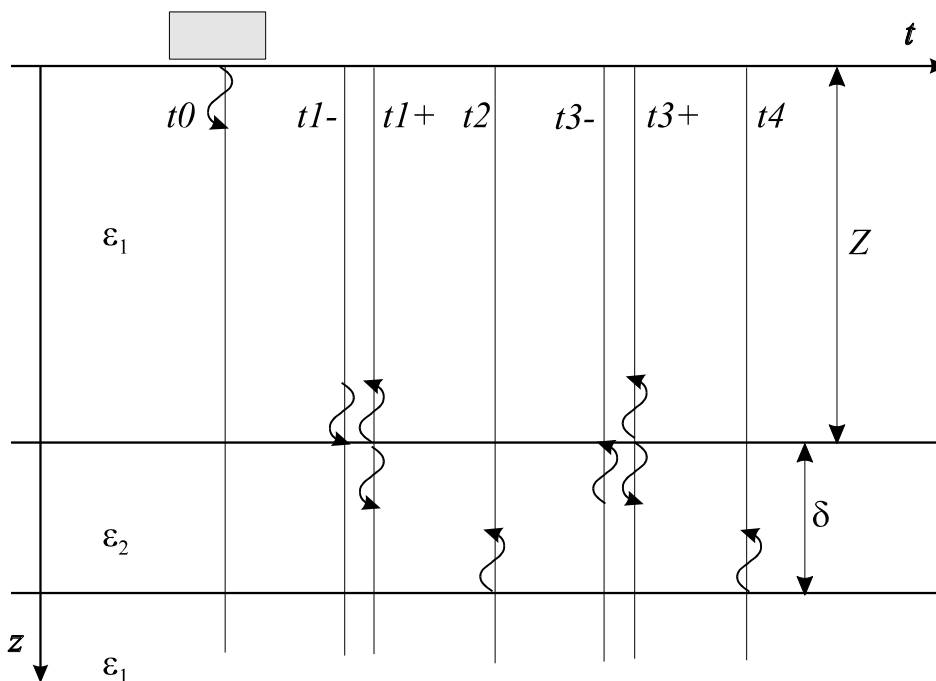


Figura 3.1 Schița fenomenelor succesive de reflexie transmisie de pe un strat de incluziune de permitivitate ϵ_2 diferită de cea a mediului ambiant ϵ_1 . (Diaconu, A, et al. 2005)

Semnalul radar măsurat la $z=0$ va fi rezultatul suprapunerii (interferenței) diverselor semnale rezultate din reflexiile și transmisiile succesive. Anume se va măsura suprapunerea semnalelor rezultate din:

- prima reflexie produsă la momentul de timp t_{1+} ;
- transmisia de la t_{1+} urmată de reflexia la t_2 urmată de transmisia de la t_{3+}
- transmisia de la t_{1+} urmată de reflexia la t_2 urmată de reflexia de la t_{3+} urmată de reflexia la t_4 urmată de transmisia de la t_{5+} și așa mai departe.

Fiecare componentă ajunge la receptor după o întârziere dată de timpul de parcurgere a mediului dielectric. Semnalul compus se poate exprima ca:

$$E(t, z) = R_{12} E_0 \left[z + c_1 \left(t - \frac{2Z}{c_1} \right) \right] + T_{12} R_{21} T_{21} E_0 \left[z + c_1 \left(t - \frac{2Z}{c_1} - \frac{2\delta}{c_2} \right) \right] + T_{12} R_{21} R_{21} R_{21} T_{21} E_0 \left[z + c_1 \left(t - \frac{2Z}{c_1} - \frac{4\delta}{c_2} \right) \right] + \dots \quad (3.3)$$

Se obține astfel un semnal de o formă caracteristică dependentă de constantele dielectrice și de grosimea stratului 2 denumit semnătură radar. Pentru valorile permitivității relative menționate se calculează semnăturile radar pentru straturi de beton de grosimi între 10 cm și 50 cm. O comparație a diverselor semnături se poate observa din suprapunerea din fig. 3.2.

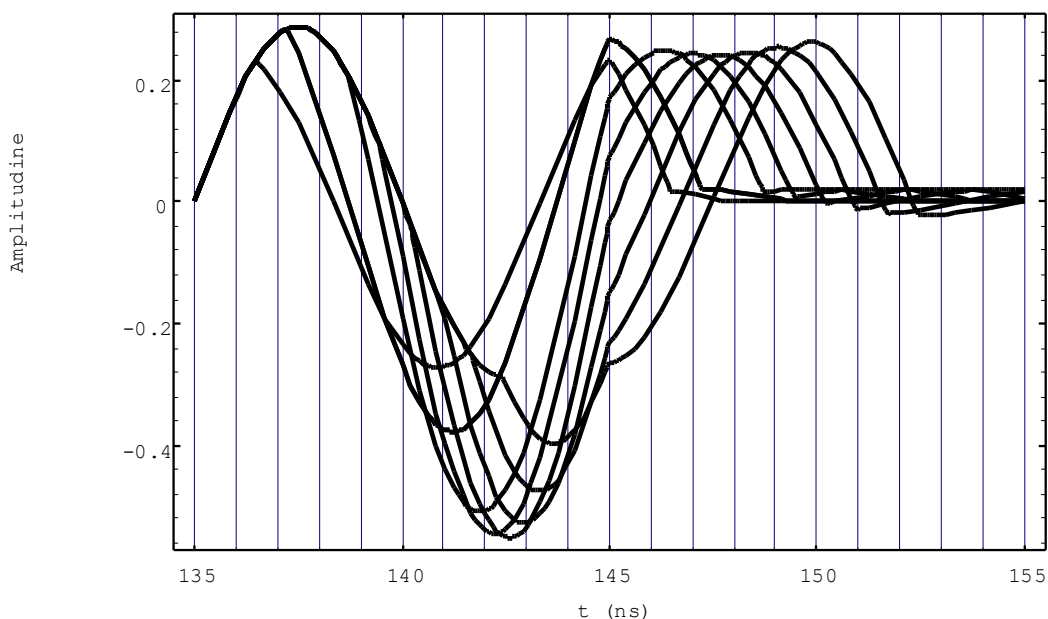


Fig. 3.2 Comparație între diversele semnături radar calculate. (f=100 MHz) (Diaconu. A, et al. 2005)

3.1.1.2 CONCLUZII

Pentru investigații la frecvențe mai mari, unde se produc reflexii distincte de pe pereți, se va putea estima grosimea măsurând de la o franjă albă (neagră) de reflexie de pe suprafața superioară la alta neagră (albă) de pe suprafața inferioară.

Din punct de vedere practic, odată identificată fundația pe imaginea radar se măsoară intervalul de timp între maxime (zone albe) și distanța maxim-minim (zonă neagră).

Incertitudini asupra estimării obținute provin în principal din necunoașterea proprietăților dielectrice reale ale betonului din fundație. Eroarea relativă în determinarea grosimii se apreciază a fi de maximum 23%

$$e = \left(\sqrt{\varepsilon_{\text{beton}}} - \sqrt{\varepsilon_{\text{beton,min}}} \right) / \sqrt{\varepsilon_{\text{beton}}} = (\sqrt{5} - \sqrt{3}) / \sqrt{5} \cong 0.23 \dots \dots \dots (3.4)$$

și probabil sub 20%. În folosirea rezultatelor asupra grosimii fundațiilor se recomandă prevederea unui coeficient de siguranță acoperitor rezultat din analiza de eroare de mai sus cuplat cu utilizarea experienței de proiectare.

3.1.2. Etalonarea măsurătorilor georadar și determinarea diametrului unei conducte îngropate

3.1.2.1. Principiul etalonării măsurătorilor

Pentru a obține informații precise asupra adâncimii la care se află diversele obiecte subterane trebuie determinată viteza de propagare a undelor electromagnetice prin solul în care s-au efectuat măsurătorile. Datorită stratificațiilor inerente, fiecare cu propria viteză de propagare, din punct de vedere practic se determină o medie pătratică a vitezei de propagare.

Pentru etalonare s-a folosit metoda hiperbolei de reflexie. Se caută o conductă cilindrică a cărei imagine georadar să fie cât mai clară, neafectată de reflexii alăturate sau de zgomote de fond. De regulă profilele georadar nu sunt perpendiculare pe axa conductei ci formează un anumit unghi α (vezi inserția de pe fig. 3.3). Unghiul se determină din examinarea a două profile georadar alăturate pe care se poate urmări fără echivoc traseul conductei. Cu referire la fig. 3.3, introducem următoarele notații:

- C - centrul conductei de coordonate (X,Z)
- T - punctul de transmisie a unei radar de coordonate (x,0)
- R - punctul de reflexie de pe corp a unei radar de coordonate (X_R,Z_R)

τ - intervalul de timp de la transmisie la recepție
 c - viteza medie pătratică a undelor radar prin solul considerat
 D - diametrul conductei

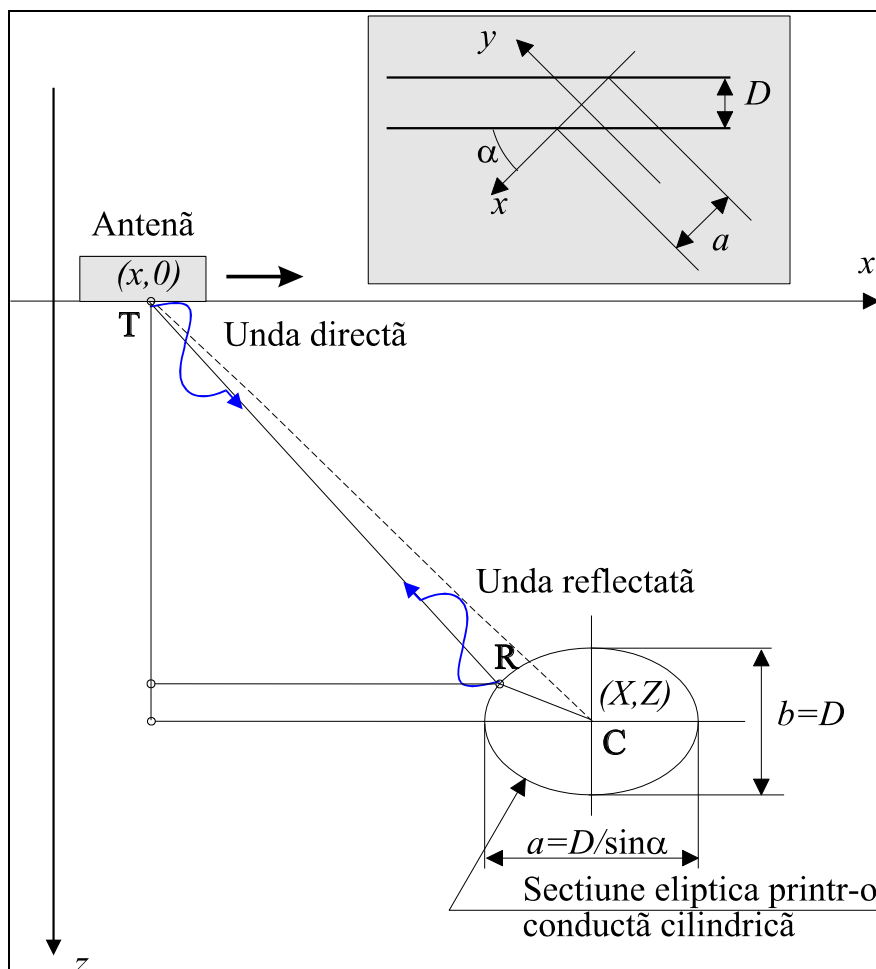


Fig. 3.3. Principiul de etalonare pe baza hiperbolei de reflexie de pe o conductă cilindrică (Diaconu. A)

Datorită faptului că lungimea de undă radar este mai mare sau comparabilă cu dimensiunile obiectelor subterane reflexia de pe peretele conductei nu este speculară, ci obiectele se comportă ca împrăștiatori cvasi-izotropi.

Avem următoarele relații:

$$\begin{aligned}
 TR + RC &\cong TC \\
 TC^2 &= Z^2 + (X - x)^2 \\
 TR &= \frac{1}{2} c\tau \\
 RC^2 &= \left(\frac{D \cos \theta}{2 \sin \alpha}\right)^2 + \left(\frac{D}{2} \sin \theta\right)^2 \\
 \cot \theta &= \frac{X - x}{Z}
 \end{aligned} \tag{3.5}$$

de unde se obține:

$$\frac{1}{2} c\tau = f(x, X, Z, D) \equiv \left[Z^2 + (X - x)^2\right]^{1/2} - \left[\left(\frac{D \cos \theta}{2 \sin \alpha}\right)^2 + \left(\frac{D}{2} \sin \theta\right)^2\right]^{1/2} \tag{3.6}$$

ecuația unei hiperbole în coordonate (x, τ) .

Pe parcursul unei măsurători se determină seturi de valori $(x_k, \tau_k), k = 1, \dots, n$. Prin aplicarea metodei celor mai mici pătrate se poate determina mulțimea mărimilor necunoscute (X, Z, c, D) adică poziția obiectului, viteza medie pătratică a undelor radar și diametrul obiectului. Se minimizează pătratul erorii:

$$S(X, Z, c, D) = \sum_{k=1}^n \left[\frac{1}{2} c\tau_k - f(x_k, X, Z, D) \right]^2 \quad (3.7)$$

fie prin impunerea condițiilor:

$$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial X} = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial Z} = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial c} = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial D} = 0 \end{cases} \quad (3.8)$$

sau prin minimizare directă. Problema rezultată se rezolvă pe cale numerică. De regulă erorile inerente unei măsurători în teren sunt mai bine controlate dacă se adoptă calea minimizării directe.

3.1.2.2. Datele primare folosite pentru etalonare

Din examinarea tuturor profilelor georadar măsurate pe un amplasament situat pe strada Matei Millo din București, s-a determinat că cele mai clare imagini s-au obținut pentru o conductă vizualizată pe două dintre profilele măsurate.

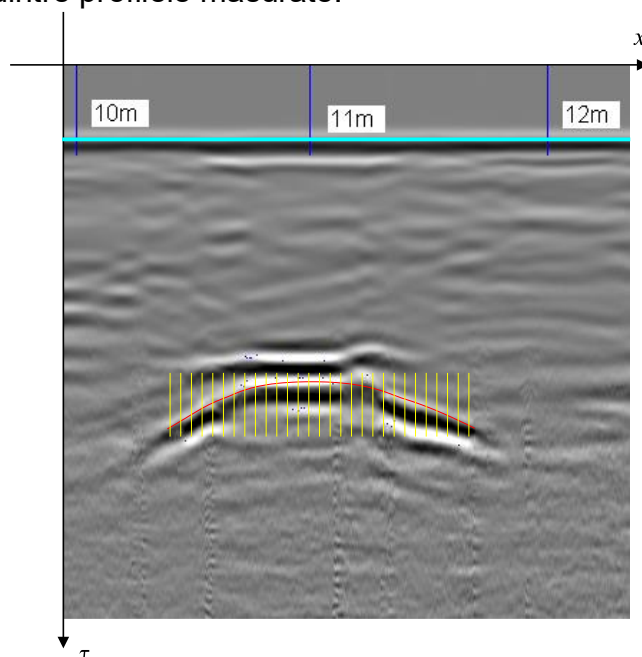


Figura 3.4. Prelevarea punctelor de pe hiperbola de reflexie situată pe profilul P3-400 între metrul 10 și 12 suprapusă peste imaginea georadar. (Diaconu. A)

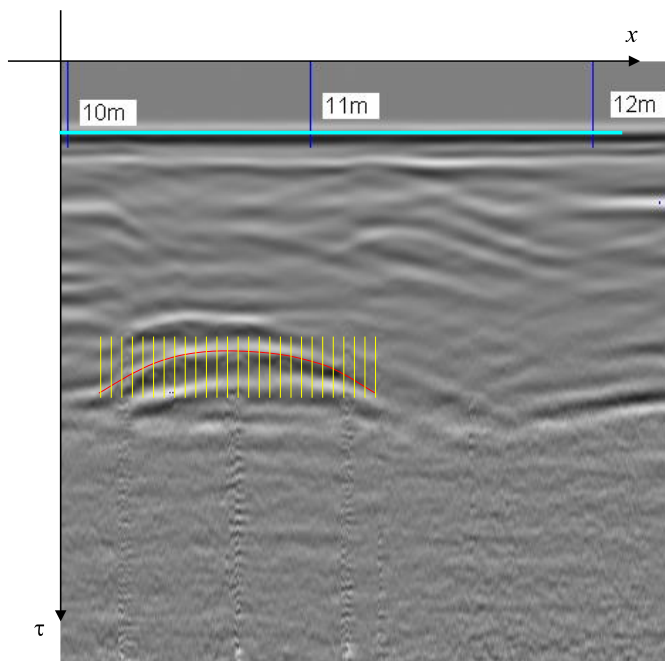


Figura 3.5. Prelevarea punctelor de pe hiperbola de reflexie situată pe profilul P4-400 între metrul 10 și 11 suprapusă peste imaginea georadar (Diaconu. A)

3.1.2.3. Rezultatele etalonării și concluzii

Unghiul de înclinare al conductei față de direcția de ridicare a profilului georadar s-a determinat a fi $\alpha = 86^\circ$. Ca atare secțiunea conductei se poate considera practic circulară, calculele simplificându-se. În urma aplicării procedurii hiperbolei de reflexie s-au determinat următoarele valori:

Profil P3 - 400	Profil P4 - 400
$X = 11.02 \text{ m}$	$X = 10.70 \text{ m}$
$Z = 1.02 \text{ m}$	$Z = 0.92 \text{ m}$
$c = 7.4 \text{ cm / ns}$	$c = 6.8 \text{ cm / ns}$
$D = 0.10 \text{ m}$	$D = 0.18 \text{ m}$

După cum era de așteptat se observă o variație mare în aprecierea diametrului. Celelalte valori sunt însă bine corelate. Pentru această conductă se cunoaște din planul de utilități diametrul $D = 10 \text{ cm}$. Ca atare se adoptă etalonarea de pe profilul P3-400. Viteza de propagare obținută corespunde unei permitivități relative medii a solului de $\epsilon_r = 16.4$, în bună corespondență cu valorile uzuale cunoscute din literatură.

Datorită extinderii geografice relativ mici a zonei investigate, în interpretarea rezultatelor se va utiliza o unică viteză medie de propagare a undelor radar $c = 7.4 \text{ cm / ns}$. Analize suplimentare pe hiperbole de reflexie au arătat abateri nesemnificative de la viteza adoptată.

3.2. Investigații prin metode seismice

3.2.1 Corelații între proprietățile geomecanice ale terenului determinate prin metode seismice și prin teste de laborator geotehnic

3.2.1.1. Introducere

Acest studiu de caz prezintă rezultatele unei cercetări complexe realizate în București, România atât prin metode geofizice, cât și prin metode geotehnice de teren și laborator. Structura terenului din amplasament a fost explorată prin 20 de foraje geotehnice până la o adâncime de maxim 60 de metri, ceea ce a oferit posibilitatea recoltării și analizării a sute de probe din terenul de fundare. În ultimele decenii au fost utilizate investigații seismice in-situ de tip down-hole și cross-hole ca o practică comună în proiectele de inginerie civilă pentru a determina proprietățile dinamice ale terenului necesare pentru proiectarea seismică a imobilelor, susceptibilitatea la lichefiere sau pentru estimarea deformărilor structurilor de susținere.

Plecând de la două relații aproximative de determinare a densității de masă ca funcție a vitezei undelor de forfecare, vom compara valorile acestui parametru cu cele derivate din testele de laborator.

3.2.1.2. Cadrul geologic și seismic.

Din punct de vedere geologic, zona Bucureștiului se situează pe un bazin de sedimentare compus din strate groase de sedimente (mai mult de 2000 m), Miocene, Pliocene și Quaternare - dispuse pe un fundament de calcar cretacic. Sedimentele cuaternare sunt foarte diverse și constau în: argile, prafuri, nisipuri și pietrișuri cu variații mari de grosime de până la 250m. Structura litologică prezentă la suprafață definește și o alternanță de acvitarde și acvifere separate în trei structuri hidrogeologice principale: Colentina, Mostiștea și Frătești.

Din punct de vedere seismic, zona epicentrală Vrancea, situată la 140-170 km de București, este una dintre cele mai active zone seismice din Europa, unde cutremurele cu adâncime intermediară (70-200 km) și cu magnitudine de peste $M_w = 7.0$, pot avea loc relativ frecvent într-o zonă geografică restrânsă a orogenului sud-est carpatic (Knapp J.H., et.al., 2005). Patru cutremure majore cu magnitudine de moment între 6.9 și 7.7 au lovit Bucureștiul în ultimii 77 de ani, provocând distrugerii grave datorită amplificării undelor seismice de forfecare la sosire (suprafață) (Bala A., et.al., 2009).

3.2.1.3. Caracteristicile geotehnice ale amplasamentului

Structura sedimentară localizată la marginea terasei râului Dâmbovița are aproape o dispunere orizontală și alternantă a straturilor coezive și necoezive, după următorul model C1, N2 ... C7, N8. Unii dintre parametri geotehnici principali ai acestor unități, obținuți prin determinări geotehnice de laborator, sunt prezentați în tabelul 3.1 de mai jos.

Tabelul 3.1. Valorile statistice ale unor parametri geotehnici ai structurii

Strat litologic	Greutate volumică γ [KN/m ³]			Presiunea de umflare p_u [KPa]			Modulul de elasticitate E [KPa]		
	Nr. de valori	Media valorilor	Limite de variație	Nr. de valori	Media valorilor	Limite de variație	Nr. de valori	Media valorilor	Limite de variație
C ₁₋₁	132	19.10	18.87÷19.33	39	46	33÷60	41	11360	10148÷12573
C ₁₋₂	21	19.70	19.55÷19.84	7	82	65÷100	7	13223	11069÷15377
N ₂	3 ^(a)	19.76	19.32÷20.20	-	-	-	3 ^(a) 37 ^(b)	24038 20792	19168÷28908 19397÷22186
C ₃	14	19.95	19.70÷20.20	9	137	77÷198	9	12366	9966÷14766
N ₄	-	-	-	-	-	-	3	19029	14410÷23647
C ₅	5	20.07	19.85÷20.29	3	51	0÷122	3	10380	8659÷12100
C ₇	9	19.87	19.57÷20.16	5	71	31÷111	5	14156	9536÷18776

(a) Probe tip monolit; (b) Parametri derivați din corelațiile SPT

3.2.1.4. Investigații geofizice

Au fost efectuate două tipuri de investigații (teste) geofizice in-situ pentru a obține informații privind proprietățile dinamice ale terenului. Microseismocarotaj de tip down-hole (DHT) și cross-hole (CHT), executate în conformitate cu standardele internaționale D7400-08 și D4428.

În final au fost furnizate profiluri de viteze cu adâncimea ale undelor de compresie și de forfecare, care sunt prezentate în fig.3.6.

Pe baza acestor constatări, unele proprietăți au fost derivate în mod indirect în conformitate cu alte formule expuse în capitolul următor.

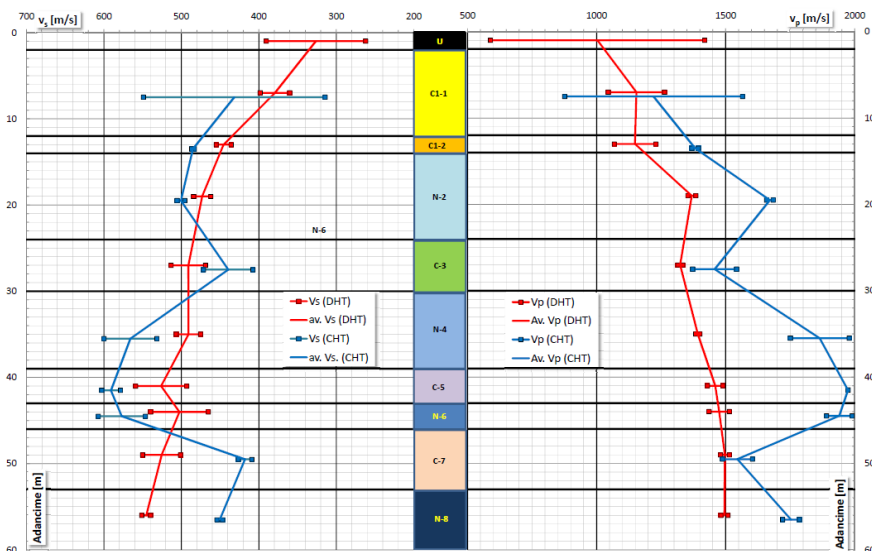


Fig.3.6. Profile de viteză cu adâncimea pentru undele P și S în testele down-hole (DHT) și cross-hole (CHT). (Stanciuc M, Diaconu A., 2017)

3.2.1.5. Parametri derivați din investigații geofizice

Parametri dinamici derivați din investigațiile geofizice sunt obținuți în principal pentru nivele foarte mici ale deformațiilor, conform relațiilor comune (3.9 ÷ 3.12) definite în tabelul 3.2 de (Mayne P.W., Barry R. Ch., De Jong J., 2001).

Tabelul 3.3 de mai jos conține valori statistice ale acestor parametri obținuți prin ambele metode geofizice (DHL și CHL), grupate pe strate litologice.

Tabelul 3.2. Relațiile obișnuite pentru parametri dinamici

Parametru	Formula	
Modul dinamic de forfecare	$G_o = \rho V_s^2$	(3.9)
Modul dinamic elastic	$E_o = 2G_o (1 + \nu_d)$	(3.10)
Coeficient Poisson în condiții dinamice	$\nu_d = \frac{1 - 2(V_s/V_p)^2}{2 - 2(V_s/V_p)^2}$	(3.11)
Modul longitudinal	$M_o = \rho V_p^2$	(3.12)

Tabelul 3.3 Valorile statistice ale parametrilor dinamici

Strat litologic	Modul elastic [MPa]	Nr. de valori	Down-hole		Cross-hole	
			Valoare medie	Limita de variație	Valoare medie	Limita de variație
C1-1	Go	5	294	240÷347	417	245÷589
	Eo	5	807	668÷947	1192	700÷1684
	Mo	5	1534	1277÷1791	3349	1935÷4762
C1-2	Go	7	419	403÷436	494	491÷498
	Eo	7	1173	929÷1417	1413	1402÷1425
	Mo	7	2502	2322÷2682	4011	3937÷4085
N-2	Go	9	518	499÷536	526	516÷537
	Eo	9	1473	1421÷1526	1527	1498÷1556
	Mo	9	3873	3719÷4027	5868	5779÷5956
C-3	Go	6	580	572÷587	408	345÷471
	Eo	6	1630	1532÷1728	1184	1003÷1365
	Mo	6	3675	3595÷3756	4478	3928÷5028
N-4	Go	9	599	586÷612	678	604÷752
	Eo	9	1694	1480÷1908	1965	1751÷2179
	Mo	9	4082	3987÷4177	7361	6565÷8156
C-5	Go	5	640	636÷644	733	704÷763
	Eo	5	1816	1804÷1828	2127	2045÷2210
	Mo	5	4574	4360÷4787	8183	8183÷8183
N-6	Go	3	649	625÷673	699	624÷774
	Eo	3	1847	1677÷2017	2030	1821÷2238
	Mo	3	4894	4322÷5466	7905	7498÷8312
C-7	Go	9	648	644÷652	367	351÷383
	Eo	9	1843	1774÷1911	1072	1025÷1119
	Mo	9	4827	4767÷4887	5032	4641÷5423
N-8	Go	5	625	612÷638	426	419÷433
	Eo	5	1778	1745÷1812	1248	1228÷1267
	Mo	5	4695	4608÷4782	6455	6218÷6693

În plus, am folosit două relații empirice date de Mayne et.al., 1999 (3.13) și Mayne et.al., 2001 (3.14), care estimează densitatea și greutatea volumică ca funcție de viteza undelor de forfecare și de adâncime:

$$\rho \approx \left[1 + 1 / \left(0,614 + 58,7 \frac{(\log z + 1,095)}{V_s} \right) \right] \quad (3.13)$$

$$\gamma = 8.32 \log(V_s) - 1.61 \log(z) \quad (3.14)$$

În aplicațiile de mai sus s-au folosit vitezele undelor de forfecare obținute din testele down-hole (DHL), deoarece cele obținute din cross-hole (CHL) au fost considerate necorespunzătoare, așa cum vom demonstra în cele din urmă.

Pe baza acestor trei diagrame, este evident că ambele formule empirice supra-estimează intervalele greutății volumice reale și, prin urmare, s-au modificat relațiile schimbând aleator coeficienții A, B, C și D (vezi relațiile 3.15 și 3.16), până când s-a ajuns la minimizarea diferențelor celor mai mici pătrate dintre valorile calculate și cele măsurate la aceeași adâncime.

$$\gamma \approx g \left[1 + I / \left(A + B \frac{(\log z + 1,095)}{V_s} \right) \right] \quad (3.15)$$

$$\gamma = C \log(V_s) - D \log(z) \quad (3.16)$$

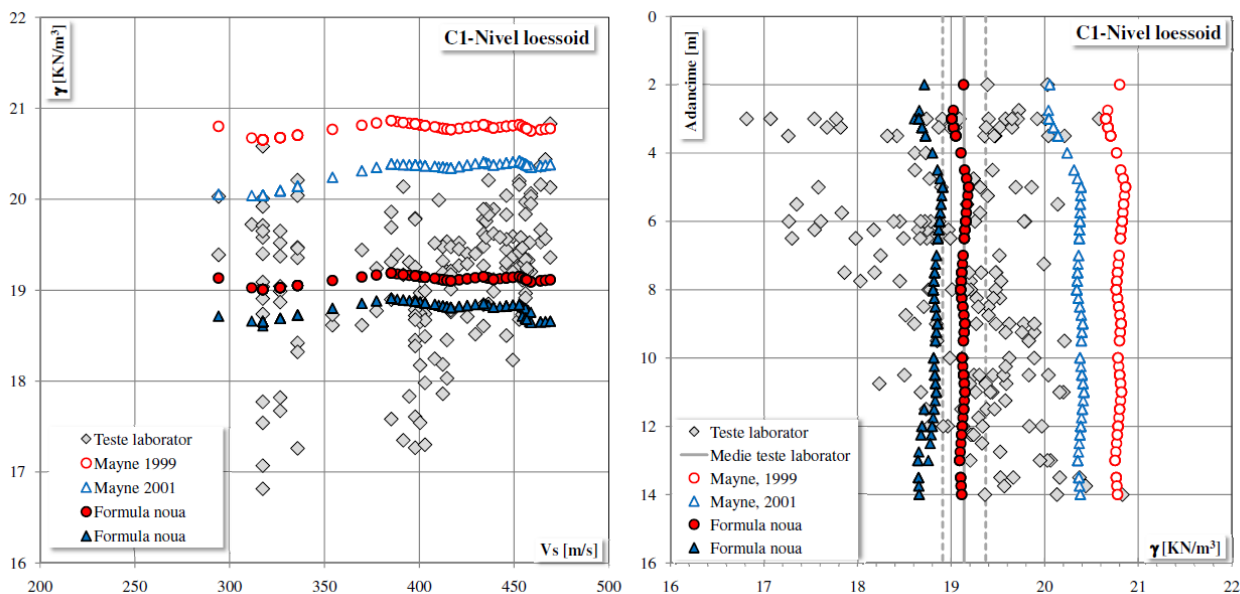


Fig.3.7. Noile relații aproximative pentru greutatea volumică, viteza ale undelor de forfecare (DHL) și adâncime, specifice straturilor loessoide superioare (Stanciu M, Diaconu A., 2017)

Lista de coeficienți adimensionali care s-au dovedit a se potrivi cel mai bine în cele două serii de greutate volumice, specifice fiecărui complex litologic, este prezentată în tabelul 3.4 de mai jos. Noua serie de greutate volumice calculate este de asemenea prezentată pe aceleași grafice (fig. 3.7-3.9). În calculele de mai sus s-au unit straturile superioare coezive C1-1 și C1-2 și s-au adăugat la gama de valori unele rezultate din testele de laborator obținute din studii anterioare de pe același amplasament. De asemenea, s-a considerat în același interval greutatea volumice de la straturile mai adânci C3 ÷ C7, aflate sub adâncimea de 20 m.

Tabelul 3.4. Noi coeficienți dimensionali specifici depozitelor de terase în zona Bucureștiului. (Stanciu M, Diaconu A., 2017)

Strat litologic	Coeficienti din formula 3.13		Formula noua	Coeficienti din formula 3.14		Formula noua
	A	B		C	D	
C1	0.72	70	(3.15.1)	7.8	1.9	(3.16.1)
N2	0.68	70	(3.15.2)	8.95	3.8	(3.16.2)
C3÷C7	0.614	72	(3.15.3)	8.2	1.54	(3.16.3)

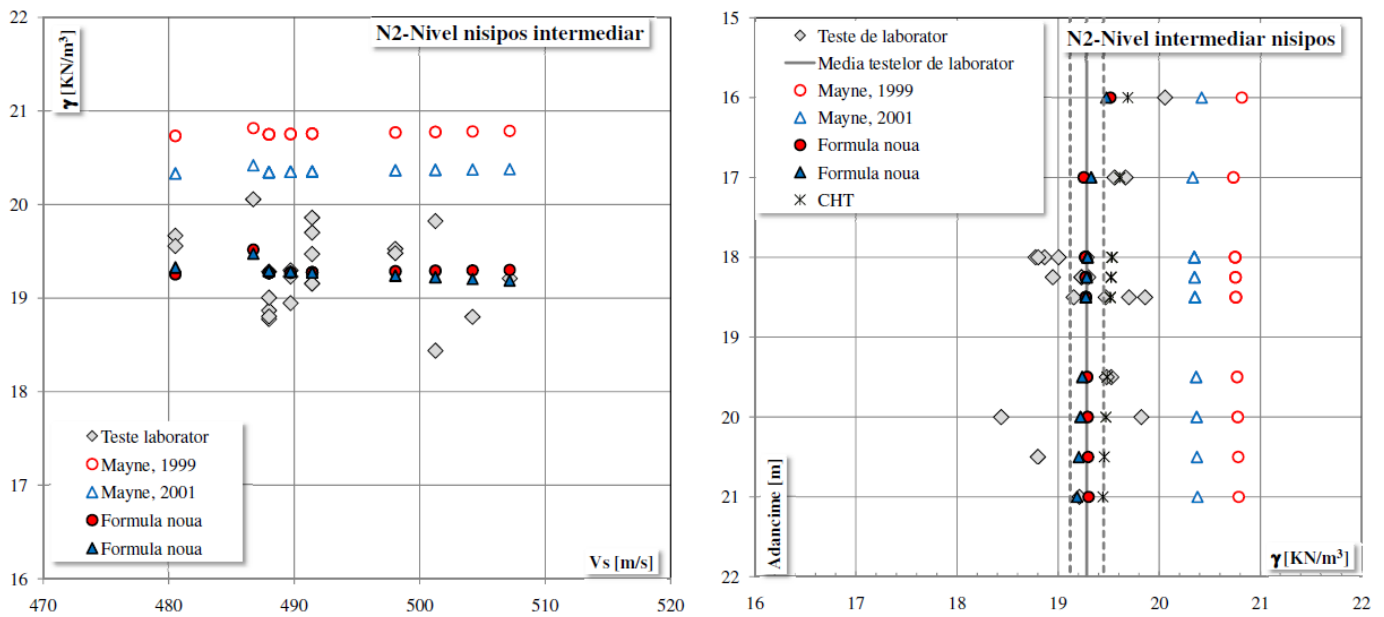


Fig.3.8. Noile relații aproximative pentru greutatea volumică, viteza ale undelor de forfecare (DHL) și adâncime, specifice pentru depozitele intermediare necoezive. (Stanciucu M, Diaconu A., 2017)

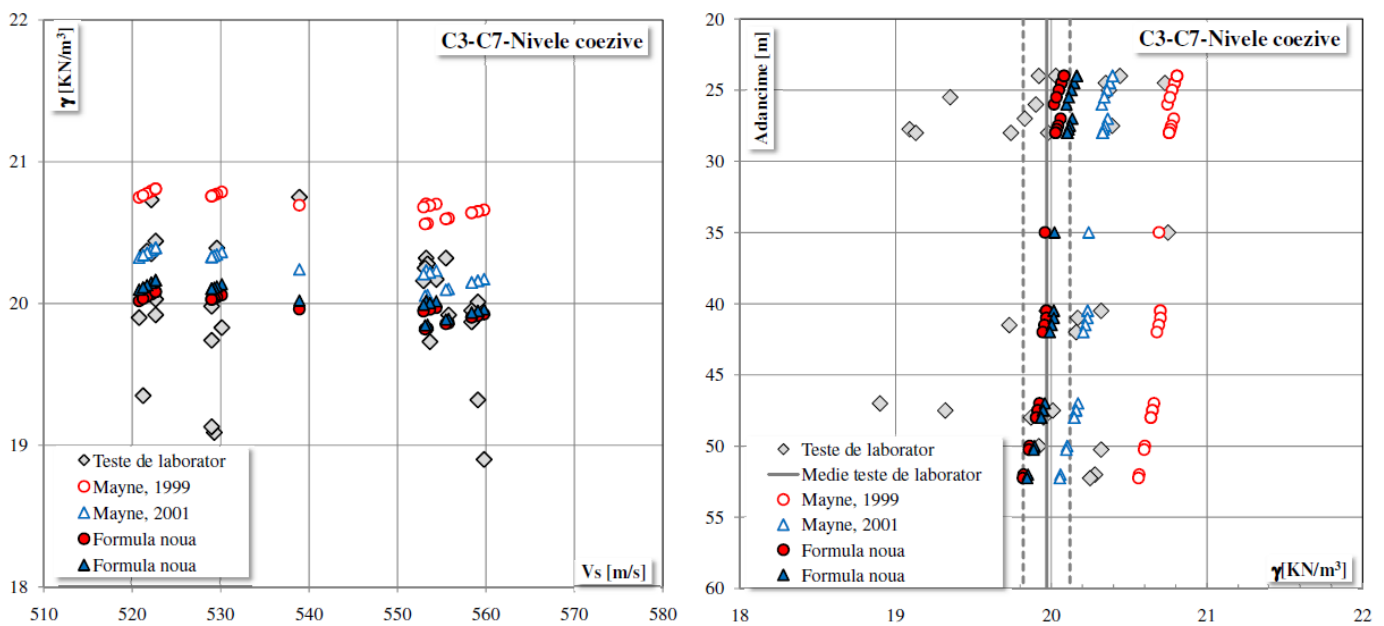


Fig. 3.9. Noile relații aproximative pentru greutatea volumică, viteza ale undelor de forfecare (DHL) și adâncime, specifice straturilor coezive mai profunde. (Stanciucu M, Diaconu A., 2017)

În cele din urmă, am comparat toate cele trei intervale de valori, rezultatele obținute în laborator și noile formule aplicate vitezelor undelor de forfecare ale testelor DHL și CHL, care sunt prezentate în tabelul 3.5 și sintetic în figura 3.10.

Tabelul 3.5. Valorile statistice ale greutateilor volumice obținute în laborator și seriile noi calculate pe baza vitezelor de undă de forfecare ale testelor DHL și CHL. (Stanciucu M, Diaconu A., 2017)

Orizont litologic	Nr. de valori	Tip de investigație	Ecuatie I.	Valoare medie	Coeficient de variație	Limită de variație
C1	169	Laborator	II.	19.1375	0.0386	18.9086÷19.3664
			Ec. 3.15.1.	19.1117	0.0025	19.0968÷19.1266
		DHL	Ec. 3.15.1.	18.7879	0.0045	18.7619÷18.8139
			Ec. 3.15.1.	19.2640	0.0307	19.0804÷19.4476
		CHL	Ec. 3.16.1.	18.9171	0.0353	18.7102÷19.1239
N2	21	Laborator	III.	19.2831	0.0219	19.2747÷19.2914
			Ec. 3.15..2.	19.2874	0.0028	19.2864÷19.2885
		DHL	Ec. 3.16.2.	19.2778	0.0030	19.2766÷19.2790
			Ec. 3.15.2.	19.5246	0.0029	19.5235÷19.5257
		CHL	Ec. 3.16.2.	19.3509	0.0066	19.3484÷19.3534
C3÷C7	29	Laborator	IV.	19.9714	0.0231	19.9640÷19.9787
			Ec. 3.15.3.	19.9789	0.0040	19.9776÷19.9802
		DHL	Ec. 3.16.3.	20.0366	0.0051	20.0350÷20.0383
			Ec. 3.15.3.	18.9150	0.0275	18.9062÷18.9238
		CHL	Ec. 3.16.3.	18.0246	0.0433	18.0108÷18.0384

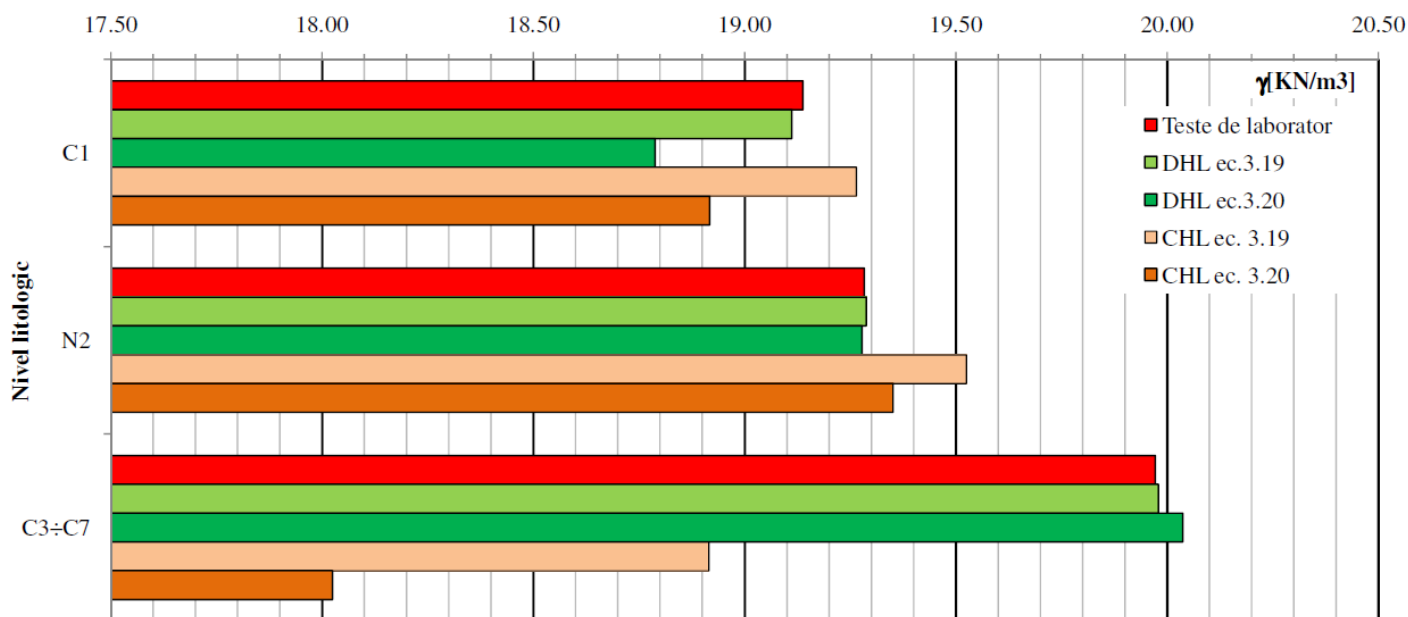


Fig.3.10. Valori statistice medii ale greutății volumice derivate din teste geotehnice de laborator și geofizice. (Stanciucu M, Diaconu A., 2017)

3.2.1.6. CONCLUZII

În acest studiu de caz s-a încercat obținerea unei corelații între rezultatele investigațiilor geotehnice și geofizice executate pe un teren de terasă din zona Bucureștiului.

Un rezultat notabil se referă la aplicabilitatea formulelor Mayne care corelează densitățile și greutatea volumice cu vitezele undelor de forfecare obținute prin investigații geofizice (DHT și CHT). Ambele formule au fost modificate prin schimbarea aleatorie a parametrilor fără dimensiuni, până când intervalul de valori calculate a atins intervalul măsurat.

În cele din urmă, dacă vom compara valorile greutății volumice derivate din DHT și CHT la valorile direct măsurate prin testele de laborator (fig.3.10 și tabelul 3.9), putem concluda, cel puțin în cazul acestui amplasament, că testele DHT oferă mai multă fiabilitate intervalului de valori, în special dacă se folosește formula (3.15), (Mayne et.al., 1999).

Tabelul 3.6. Diferențele dintre valorile medii ale greutății volumice obținute din testele de laborator geotehnic și testele geofizice. (Stanciucu M, Diaconu A., 2017)

Tip de investigație geofizică	DHT		CHT	
	Ec. 3.15	Ec.3.16	Ec. 3.15	Ec. 3.16
C1	0.13	1.83	-0.66	1.15
N2	-0.02	0.03	-1.25	-0.35
C3÷C7	-0.04	-0.33	5.29	9.75
Diferență medie (%)	0.02	0.51	1.13	3.52
	0.27		2.32	

Procedura poate fi utilizată pentru a evalua geostratigrafia și parametrii solului pentru amplasamente similare din aceeași unitate geologică.

3.2.2. Caracterizarea unui amplasament din punct de vedere geotehnic prin determinarea parametrilor dinamici și ai spectrului de răspuns elastic pe baza metodei seismice MASW

3.2.2.1. Introducere

Au fost efectuate investigații seismice prin metoda MASW (analiza multicanal a undelor de suprafață Rayleigh) pe amplasamentele viitoarelor stații de metrou de pe Magistrala 5, Tronson 2, Secțiunea 3 din București. Scopul acestor investigații a fost de a stabili profilul vertical al vitezelor undelor seismice și de a determina parametri dinamici ai terenului. Cele șase amplasamente de stații sunt: Victor Manu, Național Arena, Chișinău, Morarilor, Sf. Pantelimon și Vergului.

O analiză a răspunsului seismic al terenului a fost efectuată și prin asigurarea calculului spectrelor de răspuns elastic ale componentelor orizontale și verticale ale acțiunilor seismice.

În continuare este prezentat un exemplu de investigație și prelucrare a datelor prin metoda analizei multicanal a undelor de suprafață (MASW) din amplasamentul viitoarei stații de metrou Chișinău (situată pe Șos. Pantelimon, București).



Fig. 3.11 - Studiul seismic MASW efectuat pe amplasamentul viitoarei stații de metrou Chișinău (Șos. Pantelimon, București).(google map)

Proprietatea fundamentală a undelor de suprafață Rayleigh, pe care se bazează analiza pentru determinarea V_s , este reprezentată de fenomenul de dispersie care se manifestă în medii stratificate (fig. 3.12).

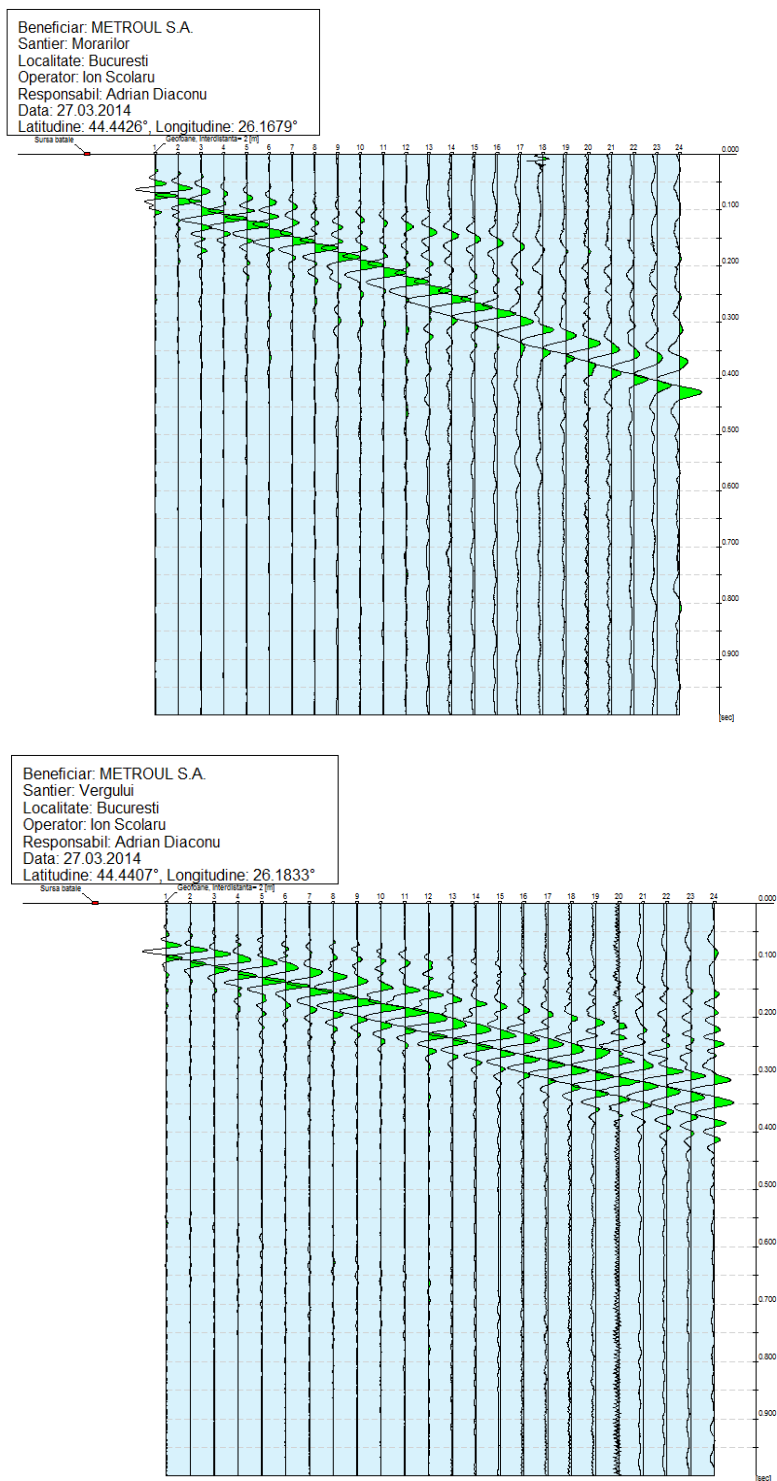


Fig.3.12 - Semnale seismice care evidențiază undele de suprafață Rayleigh într-un mediu nestratificat (sus) și într-un mediu stratificat (jos). Fenomenul dispersiei undelor de suprafață Rayleigh într-un mediu stratificat este evident. (Diaconu A., 2014)

Prin urmare, analiza curbei de dispersie, adică variația vitezei de fază a undelor Rayleigh ca funcție a lungimii de undă (sau a frecvenței, care este invers proporțională cu lungimea de undă), face posibilă determinarea variația vitezei undele de forfecare cu adâncimea prin procesul de inversiune (fig. 3.13).

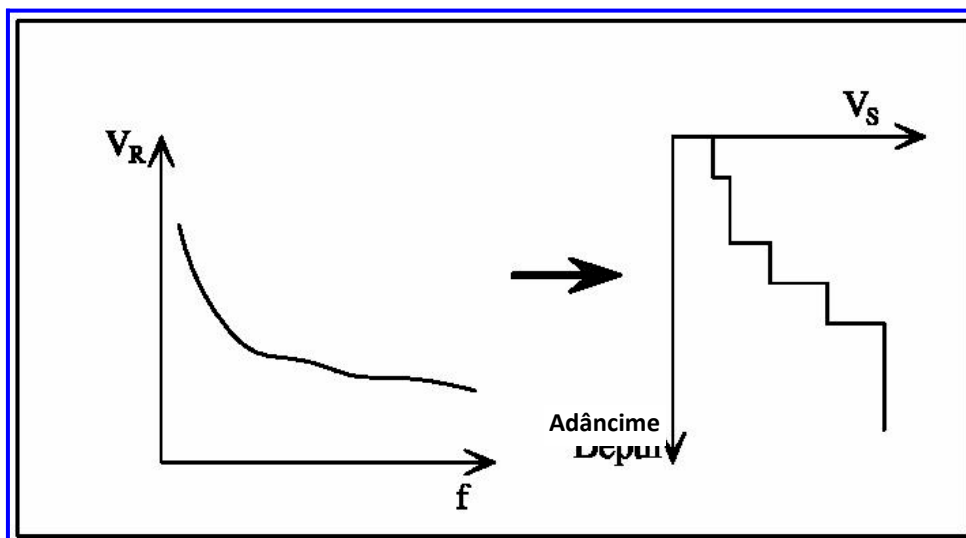


Fig. 3.13 - Viteza undei Rayleigh în funcție de frecvența (stânga) și profilul de viteză al undelor de forfecare în funcție de adâncimea (dreapta) obținută prin procesul de inversiune.

Viteza undelor Rayleigh (V_R) este de aproximativ 90% din viteza undele de forfecare (V_S). Tehnicile de analiză a undelor Rayleigh sunt realizate cu proceduri de operare mai puțin împovărătoare decât testele de refracție seismică clasică sau testele în foraj și au un grad de incertitudine în determinarea $V_S < 15\%$.

Tehnica MASW, bazată pe metoda SASW, permite o reconstrucție foarte detaliată a distribuției vitezei undei S în subsol.

- ✓ Extragerea din curbele de dispersie ale vitezei de fază a undelor de suprafață Rayleigh (o curbă pentru fiecare achiziție);
- ✓ Inversia curbelor de dispersie pentru obținerea profilurilor verticale 1D ale V_S (fig. 3.27) (un profil vertical pentru fiecare curbă de dispersie, poziționat la mijlocul fiecărui dispozitiv de geofoane);

3.2.2.2. Investigații executate în amplasament

În scopul caracterizării seismice a terenului în zona de proiectare, au fost efectuate măsurători seismice prin tehnica MASW, pe un dispozitiv cu o lungime 46.00 m, iar offset-ul a fost de 10 m. Achiziția semnalului a avut o lungime de timp $T = 1.000$ s, cu un pas de eșantionare $dt = 0.5$ ms. Frecvența de eșantionare este dată de: $f_{\text{eșantionare}} = 1 / dt = 2000$ Hz. Frecvența maximă a semnalului, și anume frecvența Nyquist, este dată de: $f_{\text{Nyquist}} = 1 / 2dt = 1000$ Hz. Frecvența minimă a semnalului este dată de: $f_{\text{min}} = 1 / T = 1$ Hz.

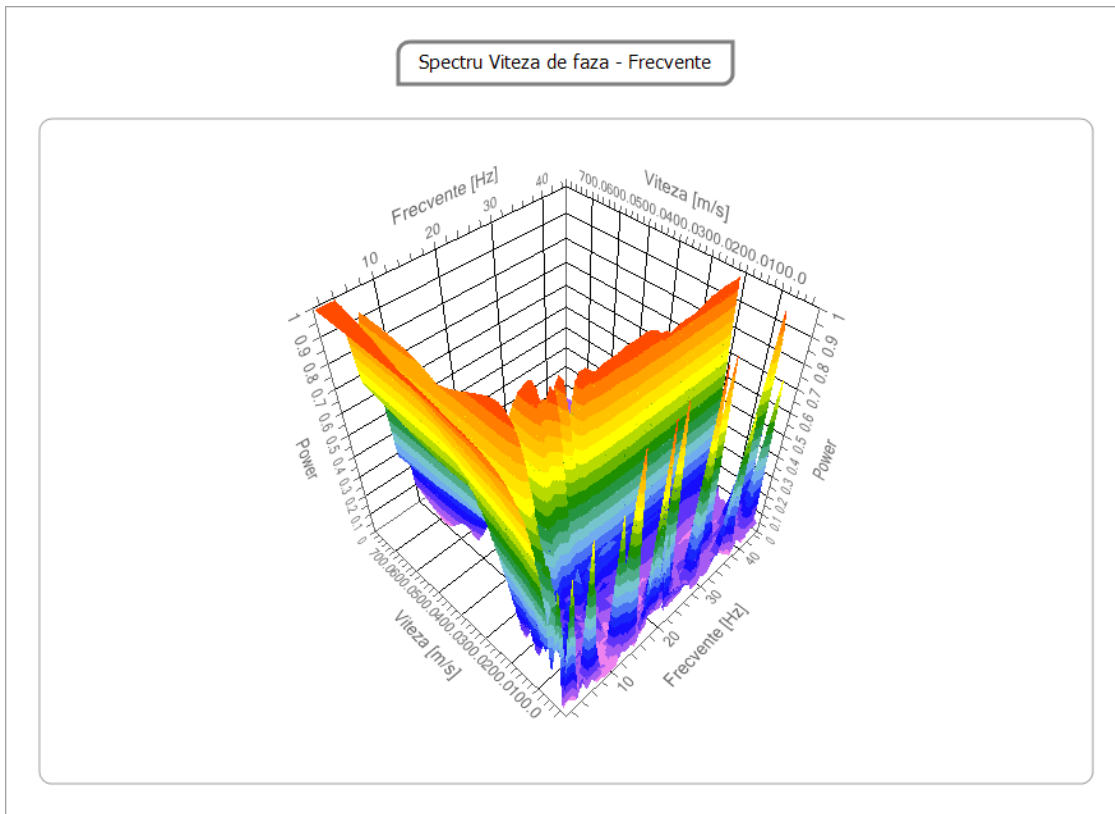


Fig. 3.14 – Spectru viteza de fază – frecvență (Diaconu A., 2014)

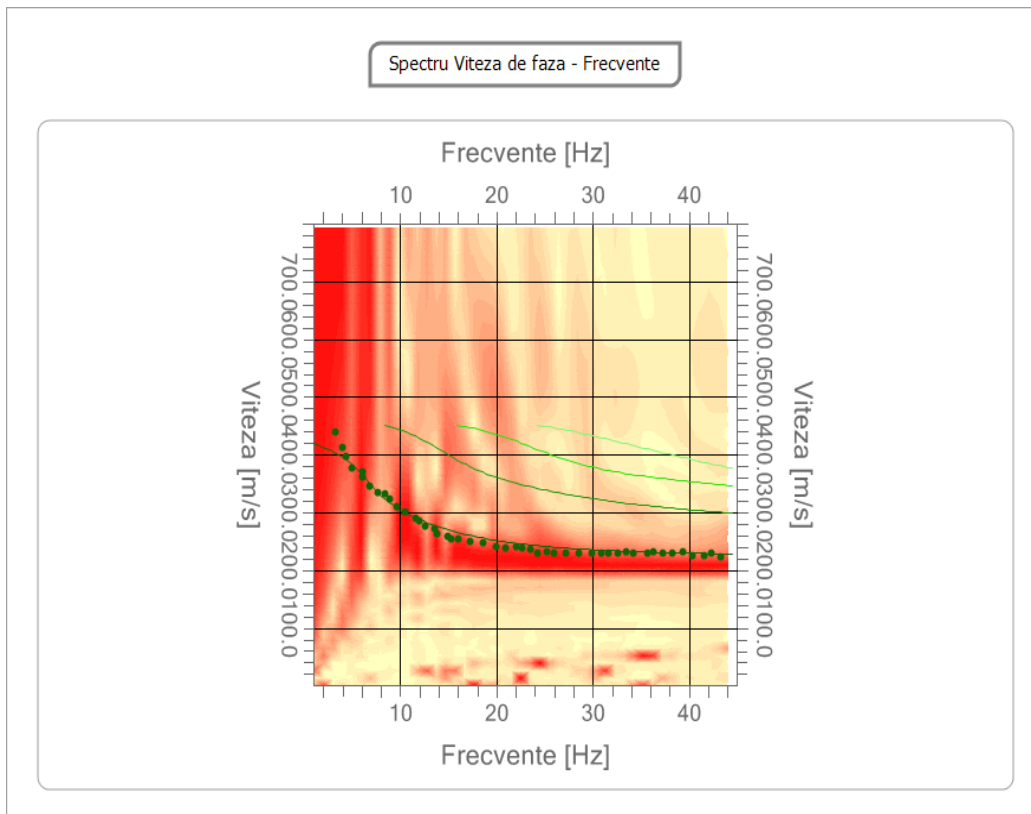


Fig. 3.15 - Curba de dispersie fază a undelor de suprafață Rayleigh obținută prin investigația seismică de tip MASW. (Diaconu A., 2014)

Rezultatele obținute prin procesul de inversie (Tabel 3.7)

Nr. Crt.	Adâncime [m]	Grosime [m]	Greutate volumică [kg/mc]	Coeficientul lui Poisson	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	0.90	0.90	1800.0	0.4	458.0	201.5
2	5.50	4.60	1920.0	0.4	628.8	245.6
3	11.00	5.50	2000.0	0.4	861.0	281.8
4	20.30	9.30	2000.0	0.5	1366.4	371.9
5	24.80	4.50	1950.0	0.5	1566.5	372.7
6	oo	oo	2030.0	0.5	1946.3	463.1

Procent de eroare

0.046 %

Factor de nepotrivire soluție

0.017

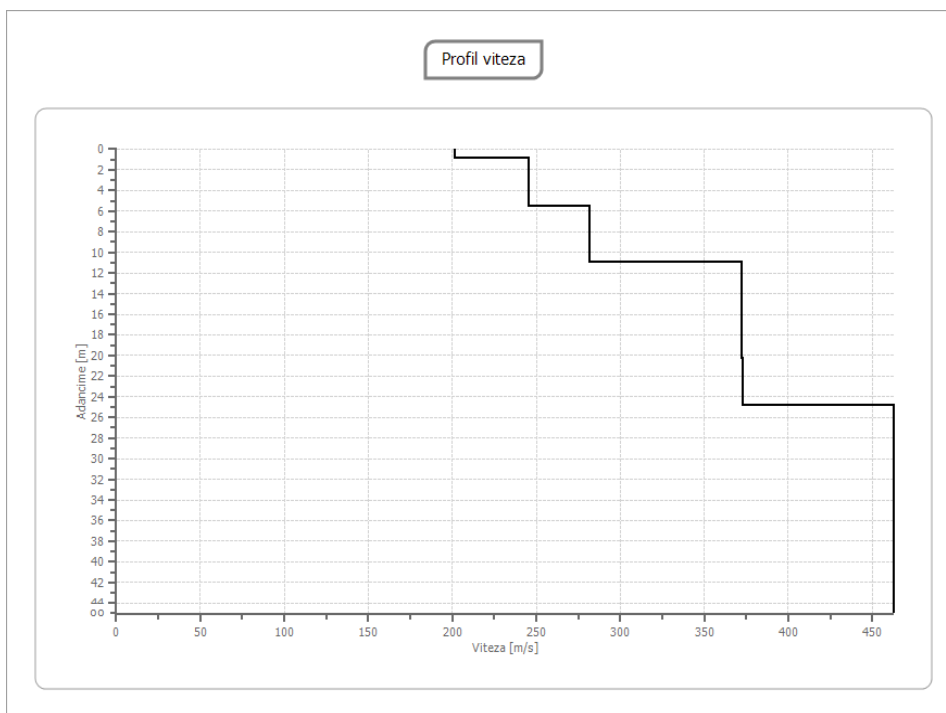


Fig.3.16. Măsurători primare ale undelor de suprafață Rayleigh pe amplasamentul viitoarei stații de metrou Chișinău (Șos. Pantelimon, București) (Diaconu A., 2014)

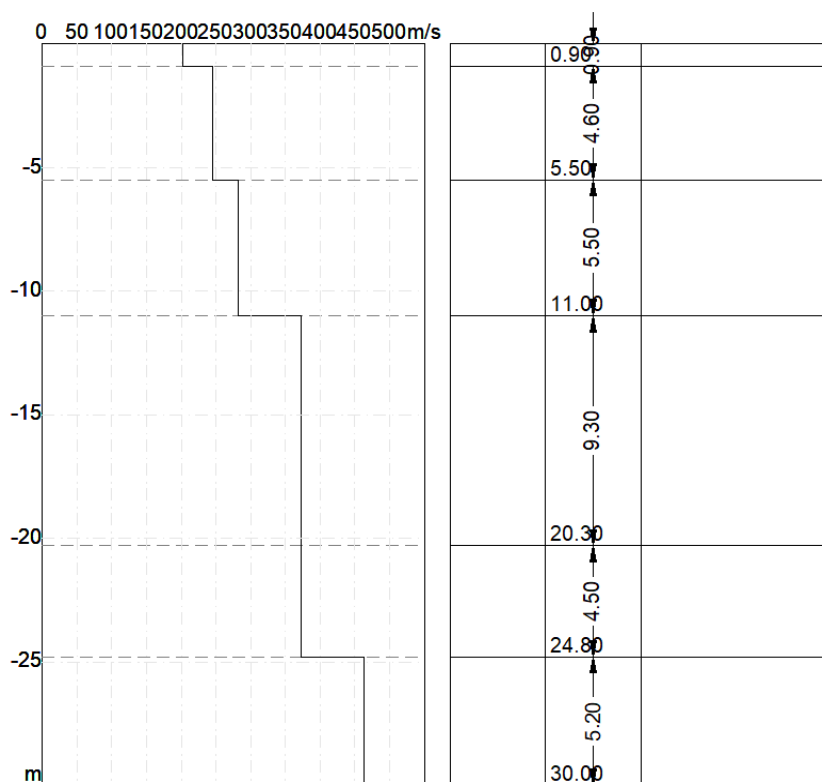


Fig. 3.17.- Profil vertical 1D al V_s obținut prin inversarea curbei de dispersie a vitezei de fază a undelor de suprafață Rayleigh pe amplasamentul viitoarei stații de metrou Chișinău (Șos. Pantelimon, București) (Diaconu A., 2014)

3.2.2.3. Interpretarea și analiza datelor

Amplasamentul studiat se încadrează în zona de macroseismicitate $I=8_1$ pe scara MSK (unde indicele 1 corespunde unei perioade medii de revenire de 50 ani) conform SR 11100/1-93, iar după noul normativ P 100-1/2013 „Cod de proiectare seismică – Partea I – Prevederi de proiectare pentru clădiri” amplasamentul se caracterizează prin:

- valoarea de vârf a accelerației terenului pentru proiectare (pentru cutremure având intervalul mediu de recurență $IMR = 225$ ani): $a_g = 0.30 g$;
- perioada de control (colț) a spectrului de răspuns: $T_C = 1.6$ sec.

Investigația seismică prin metoda analizei multicanal a undelor de suprafață (MASW), având în vedere seismostratigrafia până la o adâncime de 30 m și valorile vitezei medii ponderate, a oferit rezultate care plasează terenul cercetat în categoria C, teren intermediar, după clasificarea din anexa A3 din Codul de proiectare seismică – Partea I – Prevederi de proiectare pentru clădiri, indicativ P 100 – 1/2013.

Valoarea \bar{V}_s reprezintă viteza medie ponderată cu grosimea straturilor din amplasament, definită conform relației:

$$\bar{V}_s = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{V_i}} \quad (3.17)$$

unde h_i și V_i reprezintă grosimea și respectiv viteza undelor de forfecare pentru stratul i . Utilizând relația (3.21) și luând în considerare grosimea medie a straturilor identificate în amplasament până la adâncimea de 30 m, s-a obținut valoarea $\bar{V}_s = 329,58$ m/s.

Terenul de tip clasa C (teren intermediar) este reprezentat de depozite cu granulație mare și grad mediu de îndesare sau terenuri cu granulație mică și consistență medie cu grosimi mai mari de 30 m, caracterizate de o îmbunătățire graduală a proprietăților mecanice cu adâncimea și valori ale lui V_{S30} cuprinse între 180 m/s și 360 m/s (sau $15 < NSPT_{30} < 50$ în terenuri cu granulație mare și $70 < cu < 250$ kPa în terenuri cu granulație mică).

Parametri geotehnici derivați din interpretarea datelor geofizice (Tabel 3.8)

Nr.	Adâncime [m]	Grosime [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densitate [kg/mc]	Coeficientul lui Poisson	G ₀ [MPa]	Ed [MPa]	M ₀ [MPa]	Ey [MPa]
1	0.90	0.90	201.51	458.03	1800.00	0.38	73.09	377.62	280.17	201.72
2	5.50	4.60	245.58	628.79	1920.00	0.41	115.80	759.12	604.73	326.55
3	11.00	5.50	281.83	861.02	2000.00	0.44	158.86	1482.71	1270.89	457.52
4	20.30	9.30	371.88	1366.39	2000.00	0.46	276.59	3734.03	3365.24	807.66
5	24.80	4.50	372.70	1566.51	1950.00	0.47	270.86	4785.22	4424.07	796.33
6	30	5.20	463.06	1946.31	2030.00	0.47	435.27	7689.85	7109.49	1279.71

G₀: Modul de deformare la forfecare dinamic;

Ed: Modul longitudinal;

M₀: Modul de compresibilitate volumică;

Ey: Modulul de elasticitate (Young) dinamic;

3.2.2.4. CONCLUZII

Este cunoscut faptul că daunele care au loc în timpul unui cutremur pot avea dimensiuni foarte diferite în locuri apropiate unul de celălalt datorită unui răspuns seismic local diferit; de exemplu, datorită aceluiași cutremur înregistrat cu instrumente identice și la o distanță mică unul de celălalt, unul plasat pe o pătură aluvionară de 200 de metri grosime, celălalt pe roci cristaline, s-a obținut un raport de amplitudine de 5 corespunzând la aproximativ 2 unități din intensitatea seismică (Carrara et. al., 1992).

Acest fenomen a fost observat pentru prima oară în urmă cu mai bine de un secol, când, în timpul cutremurului de la San Francisco din 1906, clădirile aveau practic aceeași formă, dimensiune și erau construite din aceleași materialele, au suferit daune semnificativ diferite (unele clădiri au suferit prăbușiri totale, în timp ce altele au suferit pagube neglijabile practic).

În concluzie, caracteristicile cu care un cutremur apare într-un anumit loc sunt în mare măsură dependente nu numai de caracteristicile sursei, de modurile de transmitere a energiei și de distanța hipocentrală, dar mai ales de factorii de răspuns local care modifică compoziția spectrală a cutremurului.

Pentru o evaluare corectă a răspunsului seismic local este prin urmare esențial să se calculeze spectrele de răspuns elastic ale componentelor orizontale și verticale ale acțiunilor seismice din amplasament.

Rezultatele obținute prin investigația seismică de tip MASW ne permit să caracterizăm mai bine amplasamentul. A fost definită categoria de teren din amplasament, care este de tip C, cu valori $V_{S30} = 329,58$ m/s.

3.2.3. Analiza comparativă a parametrilor dinamici ai terenului de fundare obținuți prin măsurători seismice de tip down-hole și cross-hole pe un amplasament situat în b-dul Iuliu Maniu din București

3.2.3.1. Introducere

Metodele seismice utilizează propagarea undelor și vitezele lor caracteristice, pentru profilarea geosuprafețelor din punct de vedere al proprietăților elastice, deoarece efectele lor se încadrează în clasa deformațiilor foarte mici (10^{-3} %), ce corespunde domeniului elastic de deformabilitate. Undele de compresie (V_p) sunt cele mai rapide ele deplasându-se asemeni unui front sferic ce emană din sursă. Domeniul de variație al acestora, specific pentru roci moi (pământuri), se încadrează în intervalul 400-2500m/s, iar pentru roci tari între 2000 și 7000m/s. Apa are o viteză a undei de compresie de 1500m/s, astfel încât, măsurătorile sub nivelul apei subterane trebuie interpretate cu precauție (Mayne et.al.,2001).

Undele de forfecare (V_s) se situează pe locul 2 în ceea ce privește viteza, iar modelul de propagare este de tipul unui front cilindric ce avansează perpendicular pe direcția de mișcare (atât ca mișcare verticală sus-jos, cât și ca mișcare orizontală-laterală). Cum apa nu poate prelua eforturi de forfecare, măsurarea undelor V_s nu este influențată de prezența apei subterane. Domeniul de variație al acestor viteze specifice pentru roci moi se încadrează în intervalul 100-600 m/s (valori mai mici, în afara intervalului fiind generate de mături și depozite cu material organic predominant).

Metoda MSC de unde P și S (carotajul de unde PS): aici dispozitivul de recepție cuprinde un traductor tridimensional care înregistrează unde P și S. Generarea se face prin lovirea unei plăci groase de lemn la suprafață, ceea ce duce la formarea undelor SH. Alternativ cu undele de tip SH se pot face înregistrări de unde de tip P și unde de tip SV. "Citirea" undelor înregistrate se poate face pe impuls sau în cazul în care acesta are un nivel redus de energie, pe prima sau cea de-a doua fază. Analiza este efectuată prin corelarea înregistrării cu adâncimea pentru a detecta atât faza undei P, cât și faza undei S. Viteza fiecărei faze este folosită apoi pentru a determina raportul adâncime/curbă de timp de propagare, pentru determinarea valorilor vitezei și vitezelor de strat a planelor limită.

Execuția testului cross-hole (CHT) presupune existența a minim 2 foraje situate la distanțe de 3-6m în care se dispune geofoane în linie. Generarea undelor se poate face la suprafața sau în unul din foraje, citirile efectuându-se de obicei la interval de 1m.

3.2.3.2. Calculul parametrilor și a constantelor elastice

Pe baza valorilor V_s se poate calcula modulul de forfecare (G_o) cu expresia:

$$G_o = \rho V_s^2 \quad (3.18)$$

în care ρ este densitatea rocii [kg/m^3]. Utilizarea parametrului G_o este eficientă în evaluarea amplificării mișcării seismice a terenurilor sau a fundațiilor cu sarcini dinamice.

Tot pe baza valorilor V_s dar și a V_p se poate calcula și coeficientul Poisson specific regimului dinamic (ν_d) cu formula:

$$\frac{1-2(V_s/V_p)^2}{2-2(V_s/V_p)^2} = \nu_d \quad (3.19)$$

Viteza undelor de compresie V_p conduce la calculul modulului longitudinal de elasticitate ("P-wave" sau "constrained modulus") cu formula:

$$M_o = \rho V_p^2 \quad (3.20)$$

Utilizând relațiile de bază ale teoriei elasticității, derivă expresiile constantelor elastice E_o (modul de elasticitate Young, specific micilor deformații) și K modul de compresie volumică (bulk modulus):

$$E_o = 2G_o(1+\nu_d) \quad (3.21)$$

$$K_o = \frac{M_o(1+\nu_d)}{3(1-\nu_d)} \quad (3.22)$$

În prezenta lucrare s-a utilizat și o relație bazată pe corelațiile cu un set de date experimentale, citată de Mayne et.al., 2001:

$$\gamma = 8.32 \log(V_s) - 1.61 \log(z) \quad (3.23)$$

în care γ este greutatea volumică [KN/m³], iar V_s se exprimă în m/s și z în m.

3.2.3.3. Investigații geofizice executate pe amplasament

Pe amplasamentul situat în B-dul Iuliu Maniu nr. 6, București, s-au efectuat măsurători seismice în forajele F1(60m) și F11 (50m), prin metoda down-hole, precum și măsurători de tip cross hole duble în forajele F1 și F2, în scopul determinării parametrilor dinamici (V_p , V_s , V_{din} , E_{din} , G_{din}) care caracterizează pachetele de strate din amplasament pe o adâncime de 50-60 m.

Coloana de foraj a fost cimentată cu un amestec de apă, ciment și bentonită, realizat la gura forajului și care a fost introdus prin pompaj direct la o presiune de 50 bari în spațiul inelar dintre coloana de tubaj și coloana PVC, prin tubulatură elastică, începând din baza forajului.

Pentru stabilirea rețetei optime s-au efectuat mai multe determinări ale densității suspensiei cu diferite amestecuri de bentonită și ciment, ale căror rezultate sunt redate în tabelul 3.9, de mai jos. Densitățile amestecurilor în stare vâscoasă au variat în limitele 1,18-1,20g/cm³. Ulterior, după 7 zile au fost măsurate densitățile precipitatelor acestor amestecuri care au avut valori înscrise în intervalul 1,35-1,62g/cm³ (conform buletinelor de încercări 1 și 2/12.04.16 ARCA LABORATOR). Tabel 3.9. Compoziții de noroi bentonitic pentru care au fost testate densitățile.

Proba	Bentonita (g)	Ciment (g)	Apa (g)	Densitate precipitat [g/cm ³]
A	450	450	2800	1.35
B	400	500	2800	1.45
C	500	400	2800	1.38
D	500	500	2700	1.62

În ambele foraje pentru down-hole (F1 și F11) s-a folosit rețeta D, pentru care s-a obținut densitatea maximă a precipitatului.

3.2.3.3.1. Rezultatele și interpretarea investigațiilor down-hole (DHT)

Măsurătorile down-hole efectuate în forajele F1 și F11 la interval de 1m au dus la obținerea următoarelor rezultate.

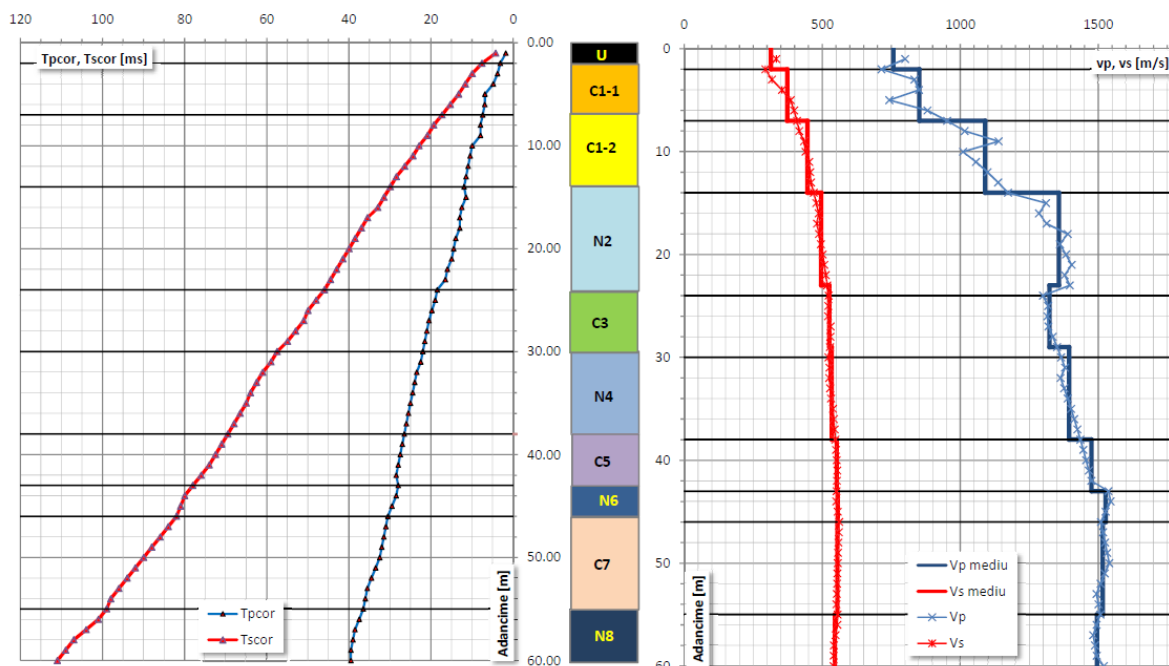


Fig. 3.18 Graficul de variație a vitezelor v_p și v_s în adâncime, metoda DHT înregistrată în forajul F1 (Diaconu A., 2016)

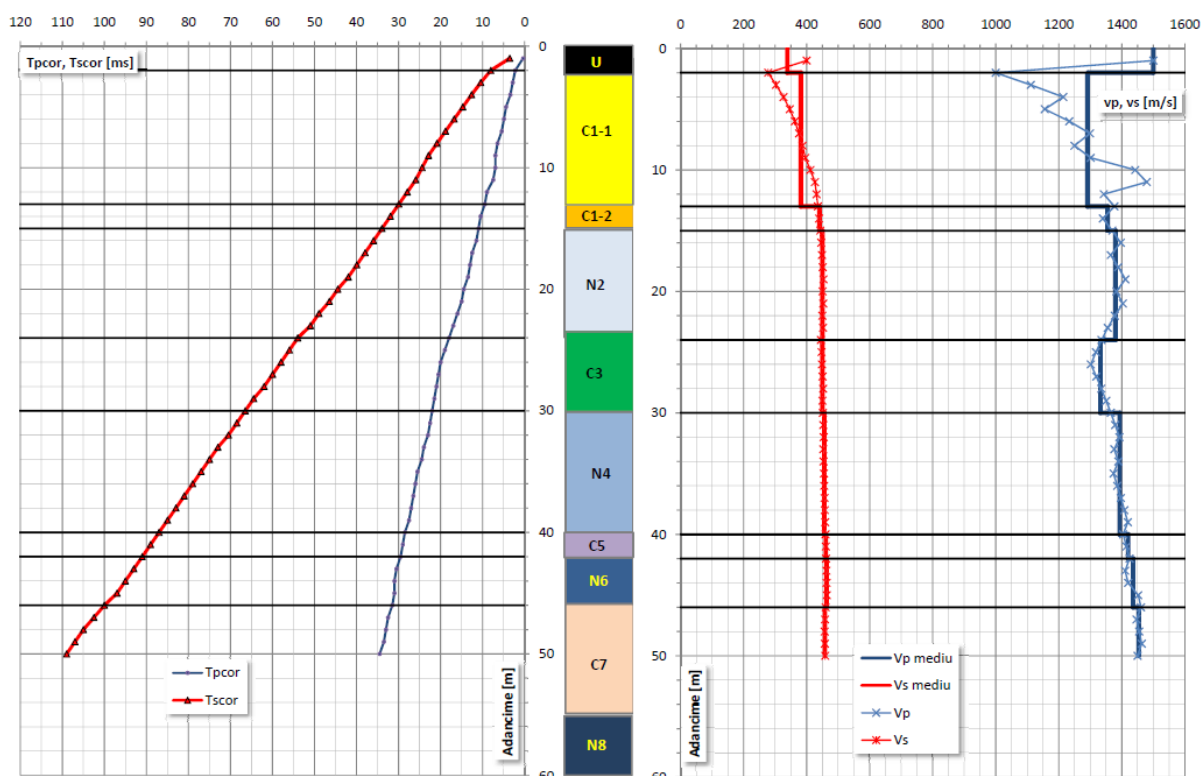


Fig. 3.19. Graficul de variație a vitezelor v_p și v_s în adâncime, metoda DHT înregistrată în forajul F11. (Diaconu A., 2016)

Interpretarea acestor date a condus la identificarea a 10 "seismostrate" distincte din punct de vedere geofizic, care au fost corelate cu rezultatul forajului geotehnic. Calculul vitezelor undelor elastice longitudinale (V_p) și transversale (V_s) s-a făcut pe fiecare pachet identificat, reprezentând astfel valori medii, pe baza cărora s-au calculat valorile caracteristice ale principalilor parametri dinamici înscrși în tabelul de mai jos.

Valorile vitezelor V_p și V_s , precum și a parametrilor derivați au fost prelucrate conform NP122/2010 rezultând limitele de variație înscrise în tabelul 3.10 de mai jos.

Tabel 3.10. Limite de variație ale V_p și V_s , obținute din investigația DHT (F1-F11), precum și a parametrilor derivați. (Diaconu A., 2016)

Complex	Parametru		n	X_m	s_x	V_x	k_n	X_k	X_{kinf}	X_{ksup}
U	V_p	[m/s]	4	1004	352	0.35	1.18	0.41	588	1419
	V_s	[m/s]	4	326	54	0.17	1.18	0.20	262	390
	G_o	[MPa]	4	228	78	0.34	1.18	0.40	136	320
	E_o	[MPa]	4	2310	1668	0.72	1.18	0.85	342	4278
	ν_d	[-]	4	0.43	0.04	0.09	1.18	0.10	0.38	0.47
	γ	[KN/m ³]	4	20.63	0.84	0.04	1.18	0.05	19.64	21.63
	M	[MPa]	4	653	232	0.36	1.18	0.42	379	928
	K	[MPa]	4	2006	1582	0.79	1.18	0.93	139	3872
C1-1	V_p	[m/s]	16	1154	233	0.20	0.47	0.09	1045	1263
	V_s	[m/s]	16	379	41	0.11	0.47	0.05	360	398
	G_o	[MPa]	16	305	64	0.21	0.47	0.10	275	335
	E_o	[MPa]	16	2904	1090	0.38	0.47	0.17	2396	3412
	ν_d	[-]	16	0.43	0.04	0.10	0.47	0.04	0.41	0.45
	γ	[KN/m ³]	16	20.14	0.15	0.01	0.47	0.00	20.07	20.21
	M	[MPa]	16	872	185	0.21	0.47	0.10	786	958
	K	[MPa]	16	2497	1051	0.42	0.47	0.20	2007	2987
C1-2	V_p	[m/s]	9	1149	130	0.11	0.63	0.07	1068	1230
	V_s	[m/s]	9	445	16	0.03	0.63	0.02	436	455
	G_o	[MPa]	9	417	29	0.07	0.63	0.04	399	435
	E_o	[MPa]	9	2803	650	0.23	0.63	0.14	2397	3209
	ν_d	[-]	9	0.41	0.02	0.05	0.63	0.03	0.39	0.42
	γ	[KN/m ³]	9	20.33	0.11	0.01	0.63	0.00	20.26	20.39
	M	[MPa]	9	1174	81	0.07	0.63	0.04	1124	1225
	K	[MPa]	9	2246	646	0.29	0.63	0.18	1842	2650

Complex	Parametru		n	X_m	s_x	V_x	k_n	X_k	X_{kinf}	X_{ksup}
N2	V_p	[m/s]	18	1369	36	0.03	0.43	0.01	1353	1384
	V_s	[m/s]	18	473	26	0.05	0.43	0.02	462	484
	G_o	[MPa]	18	472	52	0.11	0.43	0.05	449	494
	E_o	[MPa]	18	3936	205	0.05	0.43	0.02	3848	4023
	ν_d	[-]	18	0.43	0.01	0.02	0.43	0.01	0.43	0.44
	γ	[KN/m ³]	18	20.18	0.21	0.01	0.43	0.00	20.09	20.27
	M	[MPa]	18	1349	140	0.10	0.43	0.04	1289	1409
	K	[MPa]	18	3307	217	0.07	0.43	0.03	3214	3400
C-3	V_p	[m/s]	11	1324	17	0.01	0.56	0.01	1314	1333
	V_s	[m/s]	11	491	40	0.08	0.56	0.05	469	513
	G_o	[MPa]	11	509	81	0.16	0.56	0.09	464	555
	E_o	[MPa]	11	3680	95	0.03	0.56	0.01	3627	3734
	ν_d	[-]	11	0.42	0.02	0.04	0.56	0.02	0.41	0.43
	γ	[KN/m ³]	11	20.08	0.30	0.02	0.56	0.01	19.91	20.25
	M	[MPa]	11	1443	215	0.15	0.56	0.08	1323	1564
	K	[MPa]	11	3001	146	0.05	0.56	0.03	2920	3083
N-4	V_p	[m/s]	20	1392	21	0.01	0.39	0.01	1384	1400
	V_s	[m/s]	20	491	41	0.08	0.39	0.03	475	507
	G_o	[MPa]	20	509	84	0.17	0.39	0.06	476	542
	E_o	[MPa]	20	4069	121	0.03	0.39	0.01	4022	4116
	ν_d	[-]	20	0.43	0.01	0.03	0.39	0.01	0.42	0.43
	γ	[KN/m ³]	20	19.90	0.30	0.02	0.39	0.01	19.78	20.02
	M	[MPa]	20	1452	228	0.16	0.39	0.06	1364	1541
	K	[MPa]	20	3390	143	0.04	0.39	0.02	3334	3446
C-5	V_p	[m/s]	7	1459	40	0.03	0.75	0.02	1430	1489
	V_s	[m/s]	7	526	44	0.08	0.75	0.06	493	559

	Go	[MPa]	7	585	94	0.16	0.75	0.12	515	655
	Eo	[MPa]	7	4476	249	0.06	0.75	0.04	4291	4661
	v_d	[-]	7	0.42	0.01	0.03	0.75	0.02	0.42	0.43
	γ	[KN/m ³]	7	20.03	0.32	0.02	0.75	0.01	19.79	20.27
	M	[MPa]	7	1665	258	0.15	0.75	0.12	1473	1857
	K	[MPa]	7	3696	189	0.05	0.75	0.04	3555	3837
N-6	Vp	[m/s]	7	1475	52	0.04	0.75	0.03	1436	1514
	Vs	[m/s]	7	503	50	0.10	0.75	0.07	465	540
	Go	[MPa]	7	535	107	0.20	0.75	0.15	455	614
	Eo	[MPa]	7	4573	325	0.07	0.75	0.05	4330	4815
	v_d	[-]	7	0.43	0.01	0.02	0.75	0.02	0.43	0.44
	γ	[KN/m ³]	7	19.80	0.35	0.02	0.75	0.01	19.54	20.06
	M	[MPa]	7	1532	295	0.19	0.75	0.14	1312	1752
	K	[MPa]	7	3860	205	0.05	0.75	0.04	3707	4013
C-7	Vp	[m/s]	13	1497	33	0.02	0.52	0.01	1480	1514
	Vs	[m/s]	13	525	47	0.09	0.52	0.05	501	550
	Go	[MPa]	13	584	99	0.17	0.52	0.09	532	636
	Eo	[MPa]	13	4707	203	0.04	0.52	0.02	4601	4814
	v_d	[-]	13	0.43	0.01	0.03	0.52	0.01	0.42	0.44
	γ	[KN/m ³]	13	19.88	0.32	0.02	0.52	0.01	19.72	20.05
	M	[MPa]	13	1668	273	0.16	0.52	0.09	1525	1811
	K	[MPa]	13	3929	94	0.02	0.52	0.01	3879	3978

Complex	Prametru		n	X_m	s_x	V_x	k_n	X_k	X_{kinf}	X_{ksup}
N-8	Vp	[m/s]	5	1495	15	0.01	0.95	0.01	1481	1509
	Vs	[m/s]	5	545	6	0.01	0.95	0.01	540	551
	Go	[MPa]	5	625	14	0.02	0.95	0.02	612	638
	Eo	[MPa]	5	4695	92	0.02	0.95	0.02	4608	4782
	v_d	[-]	5	0.42	0.00	0.01	0.95	0.01	0.42	0.43
	γ	[KN/m ³]	5	19.93	0.06	0.00	0.95	0.00	19.88	19.99
	M	[MPa]	5	1778	36	0.02	0.95	0.02	1745	1812
	K	[MPa]	5	3862	101	0.03	0.95	0.02	3766	3957

3.2.3.3.2. Rezultatele și interpretarea investigațiilor cross-hole (CHT)

Măsurătorile cross-hole efectuate în forajele F1-F2 la interval de 1m au dus la obținerea următoarelor rezultate:

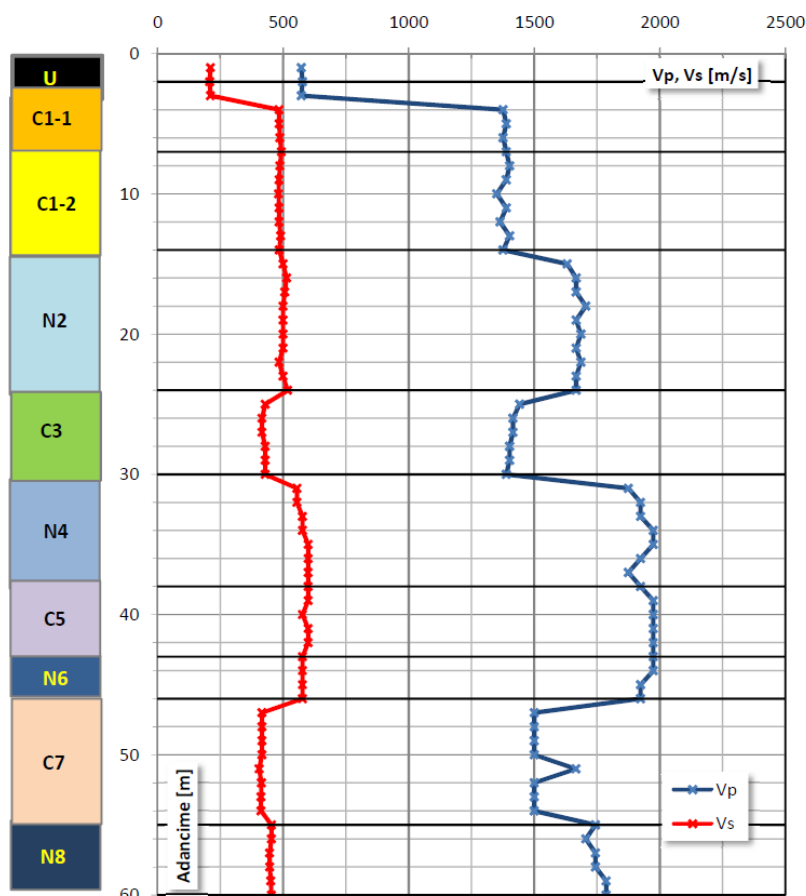


Fig. 3.20. Graficul de variație a vitezelor V_p și V_s în adâncime, metoda CHT (Diaconu A., 2016)

Valorile vitezelor V_p și V_s , precum și a parametrilor derivați au fost prelucrate conform NP122/2010 rezultând limitele de variație înscrise în tabelul 3.11 de mai jos.

Tabel 3.11. Limite de variație a V_p și V_s , rezultați din investigația CHT, precum și a parametrilor derivați. (Diaconu A., 2016)

Complex	Parametru	Um	n	X_m	s_x	V_x	k_n	X_k	X_{kinf}	X_{ksup}
C1-1	V_p	[m/s]	5	1221	362	0.30	0.95	0.28	876	1565
	V_s	[m/s]	5	432	123	0.29	0.95	0.27	314	549
	G_o	[MPa]	5	417	181	0.43	0.95	0.41	245	589
	E_o	[MPa]	5	1192	518	0.43	0.95	0.41	700	1684
	ν_d	[-]	5	0.43	0.00	0.01	0.95	0.01	0.42	0.43
	γ	[KN/m ³]	5	20.66	1.18	0.06	0.95	0.05	19.54	21.78
	M	[MPa]	5	3349	1488	0.44	0.95	0.42	1935	4762
	K	[MPa]	5	2793	1246	0.45	0.95	0.42	1608	3977
C1-2	V_p	[m/s]	7	1382	17	0.01	0.75	0.01	1369	1395
	V_s	[m/s]	7	485	2	0.01	0.75	0.00	483	487
	G_o	[MPa]	7	494	5	0.01	0.75	0.01	491	498
	E_o	[MPa]	7	1413	15	0.01	0.75	0.01	1402	1425
	ν_d	[-]	7	0.43	0.00	0.00	0.75	0.00	0.43	0.43
	γ	[KN/m ³]	7	20.68	0.09	0.00	0.75	0.00	20.61	20.75
	M	[MPa]	7	4011	99	0.02	0.75	0.02	3937	4085
	K	[MPa]	7	3352	94	0.03	0.75	0.02	3282	3421
N-2	V_p	[m/s]	9	1671	20	0.01	0.63	0.01	1659	1684
	V_s	[m/s]	9	501	8	0.02	0.63	0.01	496	505
	G_o	[MPa]	9	526	17	0.03	0.63	0.02	516	537
	E_o	[MPa]	9	1527	46	0.03	0.63	0.02	1498	1556

	v_d	[-]	9	0.45	0.00	0.01	0.63	0.00	0.45	0.45
	γ	[KN/m ³]	9	20.41	0.14	0.01	0.63	0.00	20.32	20.50
	M	[MPa]	9	5868	142	0.02	0.63	0.02	5779	5956
	K	[MPa]	9	5166	149	0.03	0.63	0.02	5073	5259
C-3	Vp	[m/s]	6	1457	104	0.07	0.82	0.06	1372	1542
	Vs	[m/s]	6	440	39	0.09	0.82	0.07	408	471
	Go	[MPa]	6	408	77	0.19	0.82	0.15	345	471
	Eo	[MPa]	6	1184	221	0.19	0.82	0.15	1003	1365
	v_d	[-]	6	0.45	0.00	0.01	0.82	0.00	0.45	0.45
	γ	[KN/m ³]	6	19.69	0.33	0.02	0.82	0.01	19.41	19.96
	M	[MPa]	6	4478	671	0.15	0.82	0.12	3928	5028
	K	[MPa]	6	3933	571	0.15	0.82	0.12	3466	4401
N-4	Vp	[m/s]	9	1864	182	0.10	0.63	0.06	1751	1978
	Vs	[m/s]	9	566	55	0.10	0.63	0.06	532	600
	Go	[MPa]	9	678	118	0.17	0.63	0.11	604	752
	Eo	[MPa]	9	1965	342	0.17	0.63	0.11	1751	2179
	v_d	[-]	9	0.45	0.00	0.01	0.63	0.01	0.45	0.45
	γ	[KN/m ³]	9	20.42	0.35	0.02	0.63	0.01	20.21	20.64
	M	[MPa]	9	7361	1273	0.17	0.63	0.11	6565	8156
	K	[MPa]	9	6457	1130	0.17	0.63	0.11	5751	7163
C-5	Vp	[m/s]	5	1974	0	0.00	0.95	0.00	1974	1974
	Vs	[m/s]	5	591	13	0.02	0.95	0.02	579	603
	Go	[MPa]	5	733	31	0.04	0.95	0.04	704	763
	Eo	[MPa]	5	2127	87	0.04	0.95	0.04	2045	2210
	v_d	[-]	5	0.45	0.00	0.01	0.95	0.00	0.45	0.45
	γ	[KN/m ³]	5	20.46	0.09	0.00	0.95	0.00	20.38	20.55
	M	[MPa]	5	8183	0	0.00	0.95	0.00	8183	8183
	K	[MPa]	5	7205	42	0.01	0.95	0.01	7166	7245

Complex	Prametru	um	n	X_m	s_x	V_x	k_n	X_k	X_{kinf}	X_{ksup}
N-6	Vp	[m/s]	3	1940	29	0.02	1.69	0.03	1890	1990
	Vs	[m/s]	3	577	18	0.03	1.69	0.05	547	607
	Go	[MPa]	3	699	44	0.06	1.69	0.11	624	774
	Eo	[MPa]	3	2030	123	0.06	1.69	0.10	1821	2238
	v_d	[-]	3	0.45	0.03	0.08	1.69	0.13	0.39	0.51
	γ	[KN/m ³]	3	20.31	0.25	0.01	1.69	0.02	19.90	20.73
	M	[MPa]	3	7905	241	0.03	1.69	0.05	7498	8312
	K	[MPa]	3	6973	248	0.04	1.69	0.06	6553	7392
C-7	Vp	[m/s]	9	1546	92	0.06	0.63	0.04	1488	1603
	Vs	[m/s]	9	418	14	0.03	0.63	0.02	409	427
	Go	[MPa]	9	367	25	0.07	0.63	0.04	351	383
	Eo	[MPa]	9	1072	75	0.07	0.63	0.04	1025	1119
	v_d	[-]	9	0.46	0.00	0.01	0.63	0.00	0.46	0.46
	γ	[KN/m ³]	9	19.06	0.11	0.01	0.63	0.00	18.99	19.12
	M	[MPa]	9	5032	626	0.12	0.63	0.08	4641	5423
	K	[MPa]	9	4543	604	0.13	0.63	0.08	4166	4920
N-8	Vp	[m/s]	5	1753	34	0.02	0.95	0.02	1721	1785
	Vs	[m/s]	5	450	4	0.01	0.95	0.01	447	454
	Go	[MPa]	5	426	7	0.02	0.95	0.02	419	433
	Eo	[MPa]	5	1248	20	0.02	0.95	0.02	1228	1267
	v_d	[-]	5	0.46	0.00	0.00	0.95	0.00	0.46	0.47
	γ	[KN/m ³]	5	19.24	0.03	0.00	0.95	0.00	19.21	19.27
	M	[MPa]	5	6455	250	0.04	0.95	0.04	6218	6693
	K	[MPa]	5	5887	250	0.04	0.95	0.04	5650	6124

3.2.3.4. Modelul de viteze al amplasamentului

Din analiza prezentată se evidențiază faptul că valorile vitezelor undelor elastice transversale (V_s) care caracterizează stratele până la adâncimea de 60 m sunt relativ mici și variază în domeniul $V_s = 278-561\text{m/s}$ din testul down-hole și $V_s = 208 - 600\text{ m/s}$ din testul cross-hole.

Pentru construcțiile din clasa I și II de importanță – expunere – un parametru important care caracterizează condițiile seismice de amplasament îl constituie profilul vitezelor V_s (medii), respectiv valoarea $\overline{v_s}$ care reprezintă viteza medie ponderată cu grosimea stratelor din amplasament, definită conform relației:

$$\overline{v_s} = \frac{\sum_{i=1}^n v_{si} \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \quad (3.24)$$

unde h_i și V_{si} reprezintă grosimea și respectiv viteza undelor de forfecare pentru stratul i .

Utilizând relația (3.31) și luând în considerare grosimea medie a stratelor identificate în amplasament până la adâncimile de 30m respectiv de 60 m, s-au obținut valorile:

- $\overline{V_s}^{DHT}(30\text{m}) = 428\text{m/s}$ în cazul DHT (F1, F11) și $\overline{V_s}^{CHT}(30\text{m}) = 452\text{m/s}$ în cazul CHT (F1, F2).
- $\overline{V_s}^{DHT}(60\text{m}) = 477\text{m/s}$ în cazul DHT (F1, F11) și $\overline{V_s}^{CHT}(60\text{m}) = 482\text{m/s}$ în cazul CHT (F1, F2).

Menționăm că, în zona orașului București și în zonele învecinate, fundamentul seismic („roca de bază seismică”), caracterizată prin $V_s > 1500\text{m/s}$ (după ASCE-7-95) sau $V_s > 1200\text{m/s}$, după ISO nr. 6258, pct. 10.1.21.e), se află situat la cca. 1500m adâncime și este constituit din calcare cretacice.

Conform normativului P100-1/2013, valoarea medie ponderată a undelor transversale (de forfecare) $\overline{v_s}$ obținută, încadrează amplasamentul în clasa B, teren tare ($360 < \overline{v_s} < 760\text{ m/s}$) și în clasa C, soluri compacte dar „moi” (very dense soil and soft rock: $370 < \overline{v_s} < 760$) după ASCE-7-95.

Determinarea perioadei proprii a terenului este extrem de importantă, ea constituind unul din parametrii de bază utilizați în proiectarea antiseismică pentru evitarea fenomenului de rezonanță.

Într-o altă aproximație, determinarea perioadei predominante poate fi făcută cu ajutorul formulei (Aleksovski, 1978):

$$T_o = \frac{4H}{V_s} \quad (3.25)$$

unde:

T_o = perioada predominantă (perioada de vibrație);

H = grosimea stratului (totala a profilului de teren considerat);

V_s = viteza medie ponderată de propagare a undelor seismice transversale (de forfecare).

Considerând grosimile pachetului de strate de interes de 30m, respectiv de 60 m, s-au obținut următoarele limite de variație pentru T_g :

$$T_g^{CHT}(30m) = 0,265s < T_g < 0,280 = T_g^{DHT}(30m)$$
$$T_g^{CHT}(60m) = 0,498s < T_g < 0,503 = T_g^{DHT}(60m)$$

Spectrele normalizate de răspuns elastic ale accelerațiilor absolute pentru componentele orizontale ale mișcării terenului, $\beta(T)$, pentru valoarea convențională a fracțiunii din amortizarea critică $\xi=0,05$ și în funcție de perioadele de control (colț) TB , TC și TD sunt date de următoarele relații:

$$0 \leq T \leq TB \quad \beta(T) = 1 + (\beta_0 - 1) T/TB \quad (3.26)$$

$$TB < T \leq TC \quad \beta(T) = \beta_0 \quad (3.27)$$

unde:

β_0 factorul de amplificare dinamică maximă a accelerației orizontale a terenului de către structură, a cărui valoare este $\beta_0 = 2,5$;

T perioada de vibrație a unei structuri cu un grad de libertate dinamică și cu răspuns elastic

TB și TC sunt limitele domeniului de perioade în care accelerația spectrală are valorile maxime și este modelată simplificat printr-un palier de valoare constantă

Așadar, pentru un pachet cu grosimea de 30 m și o perioadă de vibrație $T=0,28$ s rezultă un spectru de răspuns $\beta(T) = 2,3125$, iar pentru un pachet de strate cu grosimea de 60 m și o perioadă de vibrație $T=0,50$ s, rezultă un spectru de răspuns $\beta(T) = 2,5$.

3.2.3.5. CONCLUZII

Pentru estimarea parametrilor dinamici ai terenului de fundare au fost utilizate două metode seismice, ambele prin procedeul sosirii undelor directe.

Din analiza prezentată se evidențiază faptul că valorile vitezelor undelor elastice transversale (V_s), care caracterizează stratele până la adâncimea de 60 m, sunt relativ mici și variază în domeniul $V_s = 278-561$ m/s din testul down-hole și $V_s = 208 - 600$ m/s din testul cross-hole. Valorile vitezei undelor elastice longitudinale variază în domeniul $V_p = 714 - 1545$ m/s pentru măsurătorile prin metoda down-hole și $V_p = 572 - 1974$ m/s pentru măsurătorile prin metoda cross-hole.

Se observă că, deși vitezele medii sunt asemănătoare, metoda cross-hole oferă rezultate pe strat (interval) mult mai precise, oferind o imagine mai exactă a variației litologice.

Coeficientul de variație V_x , care este raportul între abaterea standard și media aritmetică a valorilor selectate, este mai mic decât 0,1 pentru valorile de viteze înregistrate prin metoda down-hole și mai mic decât 0,2 pentru valorile de viteze obținute prin metoda cross-hole, ca o consecință a faptului că abaterea standard este mai mare în testul cross-hole.

O altă observație importantă este că valoarea vitezei medii ponderate pe pachetul de strate de 30 m. și respectiv 60 m. este că aceste valori nu diferă cu mai mult de 5% de la o metodă la alta.

S-a observat că valoarea greutății volumice γ , estimată din măsurarea vitezelor undelor de volum, prezintă un coeficient de variație V_x mai mic decât 0,05, așa cum recomandă normativul NP 122:2010 „Normativ privind determinarea valorilor caracteristice și de calcul ale parametrilor geotehnici”.

3.2.4. Evaluarea riscurilor geologice ce pot apărea la construcția tunelurilor, prin metode geotehnice și geofizice

3.2.4.1. Introducere

Proiectele majore de infrastructură beneficiază astăzi de posibilitatea folosirii pe scară largă a tehnicilor de calcul avansate, care permit utilizarea unor seturi mari de date geotehnice de interes și, prin urmare, testarea diferitelor soluții tehnice adaptate geologiei amplasamentului și tectonicii locale.

Prin urmare, este de interes major să cunoaștem mai bine riscurile geologice, să le evaluăm și să alegem cele mai avantajoase soluții tehnice (în termeni de stabilitate, rezistență și evident costuri).

În acest studiu a fost evaluată o zonă în care au fost proiectate două tuneluri paralele. Tehnicile standard de investigare s-au bazat pe execuția unor foraje (cu adâncimi de până la 80m) și determinarea in-situ și în laborator a parametrilor geotehnici de interes (permeabilitate, greutatea volumică, coeziune, unghi de frecare, modulul Young, coeficientul Poisson, viteza undelor seismice de forfecare, compresiunea monoaxială) pentru a obține seturile de date necesare pentru o caracterizare geomecanică de ansamblu a amplasamentului și pentru a obține date estimative legate de infiltrarea apei la nivelul tunelului.

Principalele amenințări la adresa viitoarei construcții, așa cum rezultă din acest studiu, sunt evenimentele seismice puternice, alunecările de teren și infiltrațiile apelor subterane.

În studiul prezentat, pentru evaluarea riscurilor geologice și geotehnice pentru cele două tuneluri paralele destinate circulației rutiere la nivel de autostradă au fost aplicate tehnici geotehnice standard de investigare și metode de refracție seismică.

3.2.4.2. Zona de studiu

În conformitate cu harta seismologică a României, zona care face obiectul investigațiilor geotehnice și geofizice pentru construcția tunelurilor este situată în regiunea seismogenă Făgăraș-Câmpulung (fig.3.21). Este considerată a doua zonă cu cea mai mare seismicitate din România, după zona Vrancea (aflată la o distanță de peste 150 km de zona amplasamentului studiat). În principala zonă seismogenă a României s-au înregistrat cutremure de până la 7.7Mw (adâncime hipocentrală 150 km.), iar efectele lor (prăbușirea unor structuri) au fost observate la distanță mare de epicentru.

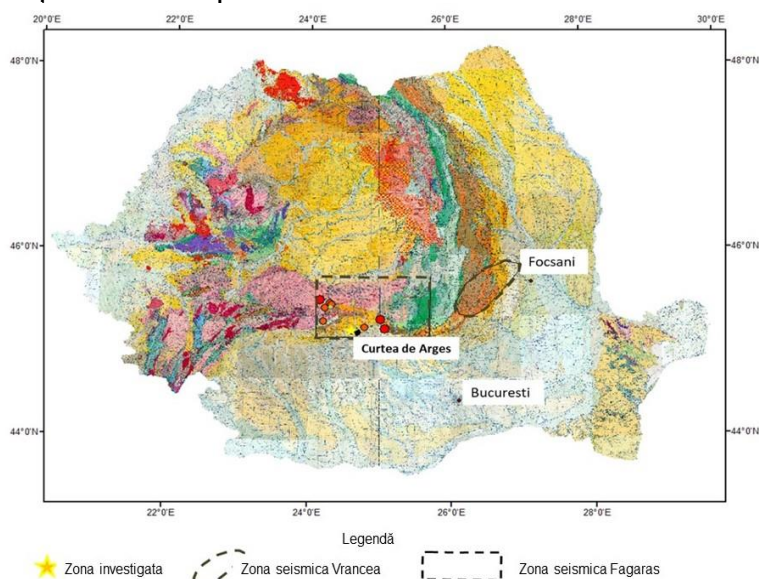


Fig. 3.21 - Localizarea cutremurelor selectate, zona geologică și geofizică de studiu, parte a regiunii seismogene Făgăraș-Câmpulung și localizarea principalei zone seismogene a României (Diaconu A., Chitea F., 2018)

Pentru acest studiu au fost executate 10 foraje geotehnice cu adâncimi cuprinse între 35-80 m necesare pentru obținerea datelor necesare pentru proiectarea tunelurilor și a portalurilor sale. O schiță a planului de investigație geotehnică este prezentată în fig. 3.22.

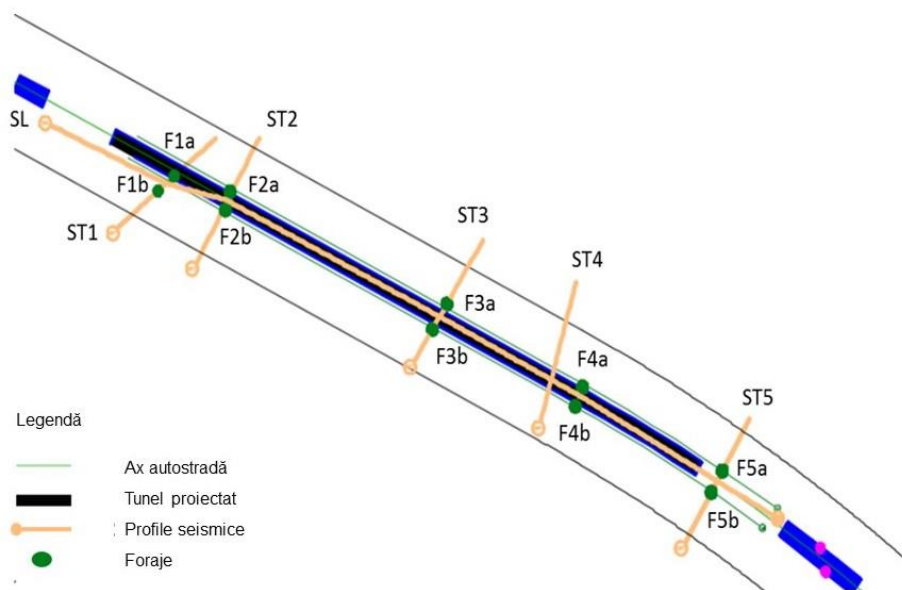


Fig. 3.22 – Schiță zonei investigate cu poziția forajelor geotehnice și a profilelor seismice de refracție (Diaconu A., Chitea F., 2018)

Până la adâncimea de 80 m. a fost interceptat un complex predominant coeziv cu intercalații necoezive, de vârstă dacian, raportul dintre acestea fiind de cca. 5:1, alcătuit din argile prăfoase și argile marnoase cu intercalații subțiri de nisip și nisip prăfos. Doar într-un singur foraj (F2a) a interceptat un strat de turbă de aproximativ 2 metri la o adâncime de 40-42 m..

3.2.4.3. Investigații geotehnice

Investigația geotehnică s-a bazat pe seturi de date obținute din foraje, din care patru (F2a, F2b, F3a, F3b) au fost forate până la o adâncime de 80m. Pe baza litologiei forajelor executate, în număr de 5 pentru fiecare cale, a testelor de presiometrie Menard, a turnărilor Lefranc, a profilelor seismice de refracție, precum și a analizelor de laborator geotehnic efectuate, s-au realizat profilele geomecanice.

În aceste profile sunt prezentate sintetic informațiile cu caracter geomecanic (coeziune, unghi de frecare, greutate volumică, rezistența la compresiune monoaxială, coeficient Poisson, viteza undelor seismice de tip P și S) și hidrogeologic necesare calculului de proiectare.

În tabelul 3.12, sunt prezentate sintetic forajele și adâncimile la care au fost efectuate testele de presiometrie împreună cu valorile obținute pentru modulul presiometric Menard (E_M), presiunea limită (p_L), efort orizontal total in-situ (p_0), coeziunea nedrenată (c_u), obținută atât din metoda lui Menard (1957), formula (3.37), cât și din Amar și Jézéquel (1972), formula (3.38).

$$c_u = \frac{p_L - p_0}{5,5} \quad (3.28)$$

$$c_u = \frac{p_L - p_0}{10} + 25 \text{ (kPa)} \quad (3.29)$$

Tabelul 3.12. Rezultatele testelor de presiometrie. Selecția de la forajele F1a, F2a, F3a, F4a, F5a (Diaconu A., Chitea F., 2018)

Foraj	Adâncime (m)	E_M (MPa)	P_L (kPa)	p_0 (kPa)	Menard (1957)	Amar et al. (1972)
					c_u (kPa)	c_u (kPa)
F1a	29.0	15.0	4923.0	307.7	839.1	486.5
F1a	38.0	14.6	5323.0	403.2	894.5	517.0
F2a	61.0	34.2	7379.0	647.2	1224.0	698.2
F2a	70.0	23.9	7779.0	742.7	1279.3	728.6
F3a	46.0	4.4	6212.0	488.1	1040.7	597.4
F3a	56.0	16.8	2823.0	594.2	405.2	247.9
F4a	19.0	25.2	4211.0	201.6	729.0	425.9
F4a	31.0	37.6	6145.0	328.9	1057.5	606.6
F5a	7.7	1.4	665.0	81.7	106.1	83.3
F5a	22.0	90.0	5745.0	233.4	1002.1	576.2

În fig. 3.23 este prezentată o comparație a modului de deformație dedus din corelații între indicele de plasticitate - rezistența la forfecare nedrenată și modulul presiometric; Au fost efectuate teste de laborator pe probe netulburate pentru determinarea indicelui de plasticitate și a proprietăților mecanice ale terenului. Prin corelații empirice, valorile lui I_p au fost folosite pentru a evalua alte caracteristici mecanice de importanță în proiectare.

TUNEL CURTEA DE ARGES – REZULTATE INVESTIGATII GEOTEHNICE

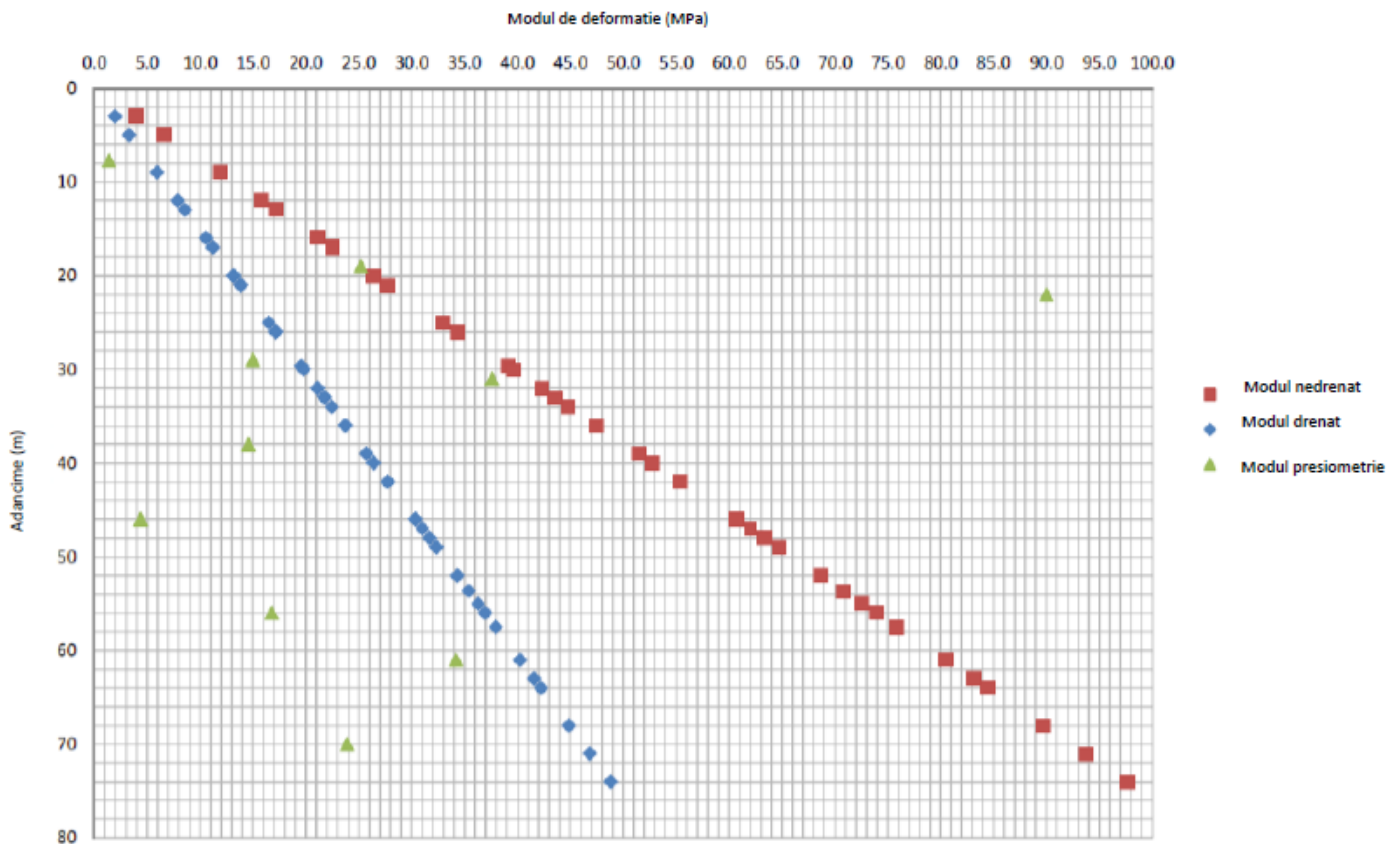


Fig. 3.23 Comparație între modulul de deformație și modulul presiometric (Diaconu A., Chitea F., 2018)

- Modul de deformație în condiții nedrenate (pe baza corelației date de Duncan și Buchignani, 1976)
- ◆ Modul de deformație în condiții drenate (pe baza corelației date de Stroud et al., 1975)
- ▲ Modul presiometric

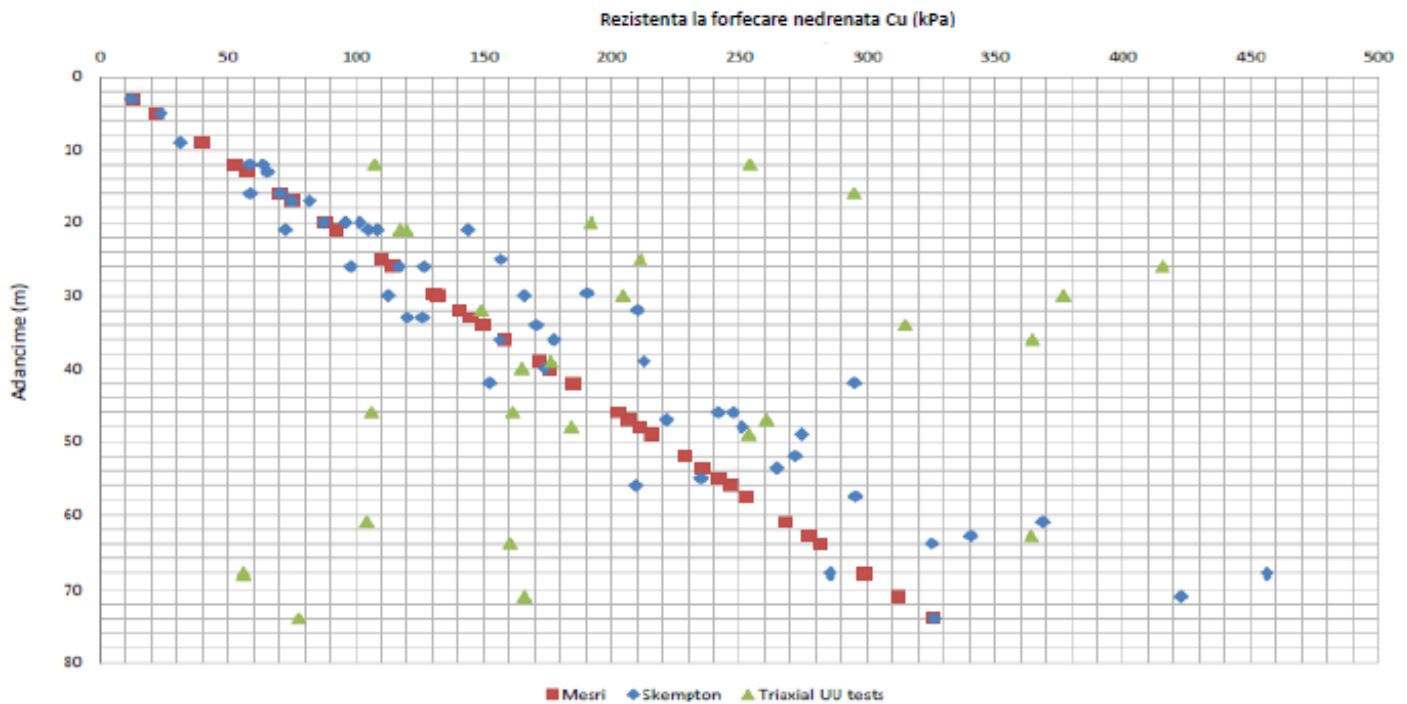


Fig. 3.24 Variația coeziunii nedrenate în raport cu adâncimea după relațiile lui Skempton (1954), Mesri (1975) și teste de triaxial UU (Diaconu A., Chitea F., 2018)

Rezultatele geotehnice pentru cele două tuneluri sunt prezentate comparativ pentru modulul de deformație în condiții drenate și nedrenate (Fig.3.25), precum și pentru rezistența la forfecare, de asemenea în condiții drenate și nedrenate (Fig.3.26). În ambele cazuri, terenul de sub "tunelul 1 (stânga)" are, pentru parametrii indicați, valori mai scăzute în comparație cu terenul de sub "tunelul 2 (dreapta)"

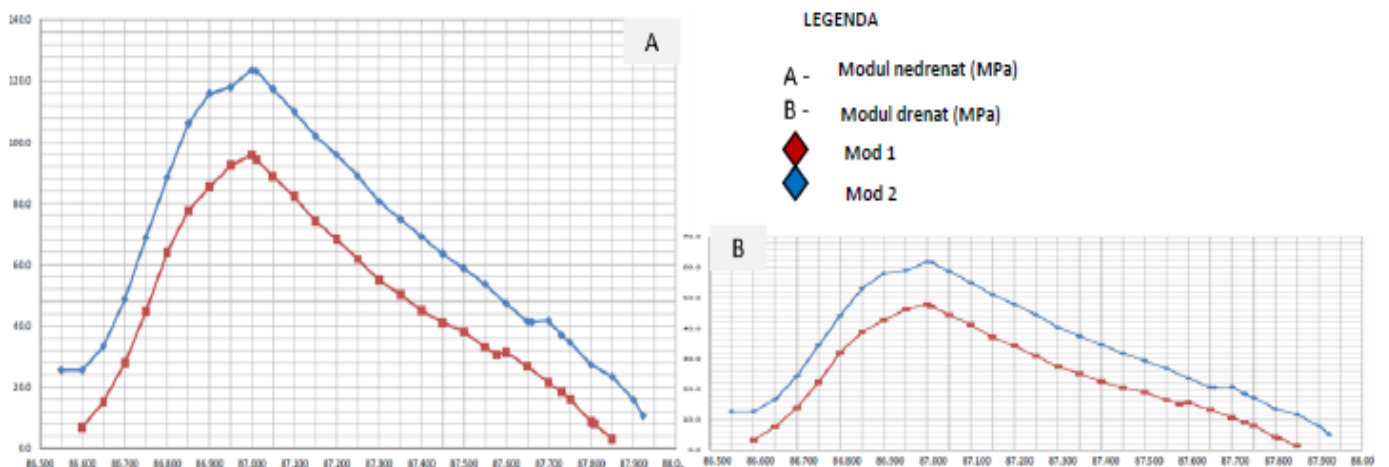


Fig. 3.25 – Sinteza proprietăților geotehnice - modulul de deformație (E) în condiții nedrenate și drenate - pentru ambele tuneluri (Diaconu A., Chitea F., 2018)

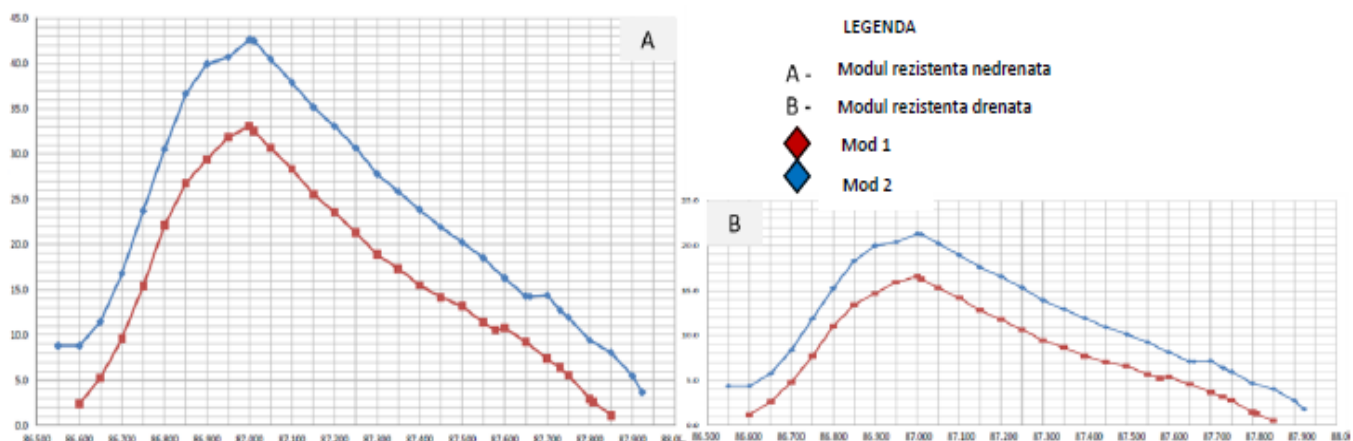


Fig. 3.26 - Sinteza proprietăților geotehnice - modulul de forfecare (G) în condiții nedrenate și drenate - pentru ambele tunelurile (Diaconu A., Chitea F., 2018)

Viteza seismică prin sol este un parametru important pentru proiectare în ingineria civilă, deoarece poate fi corelată cu duritatea și densitatea rocilor. Modificările acestor proprietăți se referă la schimbări în compoziția rocii, modificări ale porozității și permeabilității sau la prezența lichidelor în spațiul poros.

Pentru a măsura viteza seismică a undelor P în zona tunelurilor, s-au efectuat măsurători de refracție seismică de-a lungul a 5 profile transversale (ST1-ST5) și un profil longitudinal (SL).

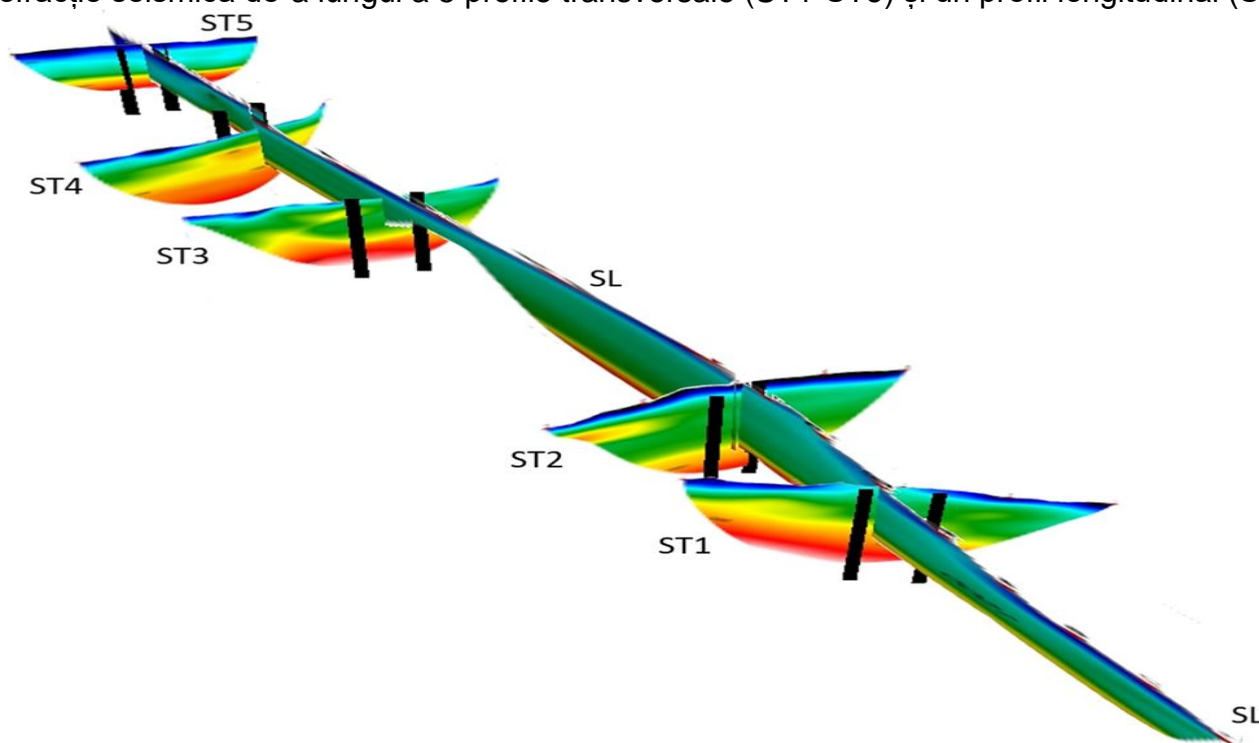


Fig. 3.27 - Prezentarea secțiunilor de viteză (Diaconu A., Chitea F., 2018)

Valorile de viteză obținute pentru profilele 1-4 au variat între 300-3000 m/s. Chiar și viteze mai mari, până la 5000 m/s, au fost determinate în partea mai profundă a profilului ST5, sugerând trecerea la o formare geologică diferită. Influența apelor subterane este observată de-a lungul profilului ST4, această observație fiind susținută și de datele din foraj.

3.2.4.4. CONCLUZII

Investigarea comună prin metode geotehnice și geofizice a condus la o mai bună caracterizare a zonei în care tunelurile cu lungimea de 1 km sunt considerate a fi excavate.

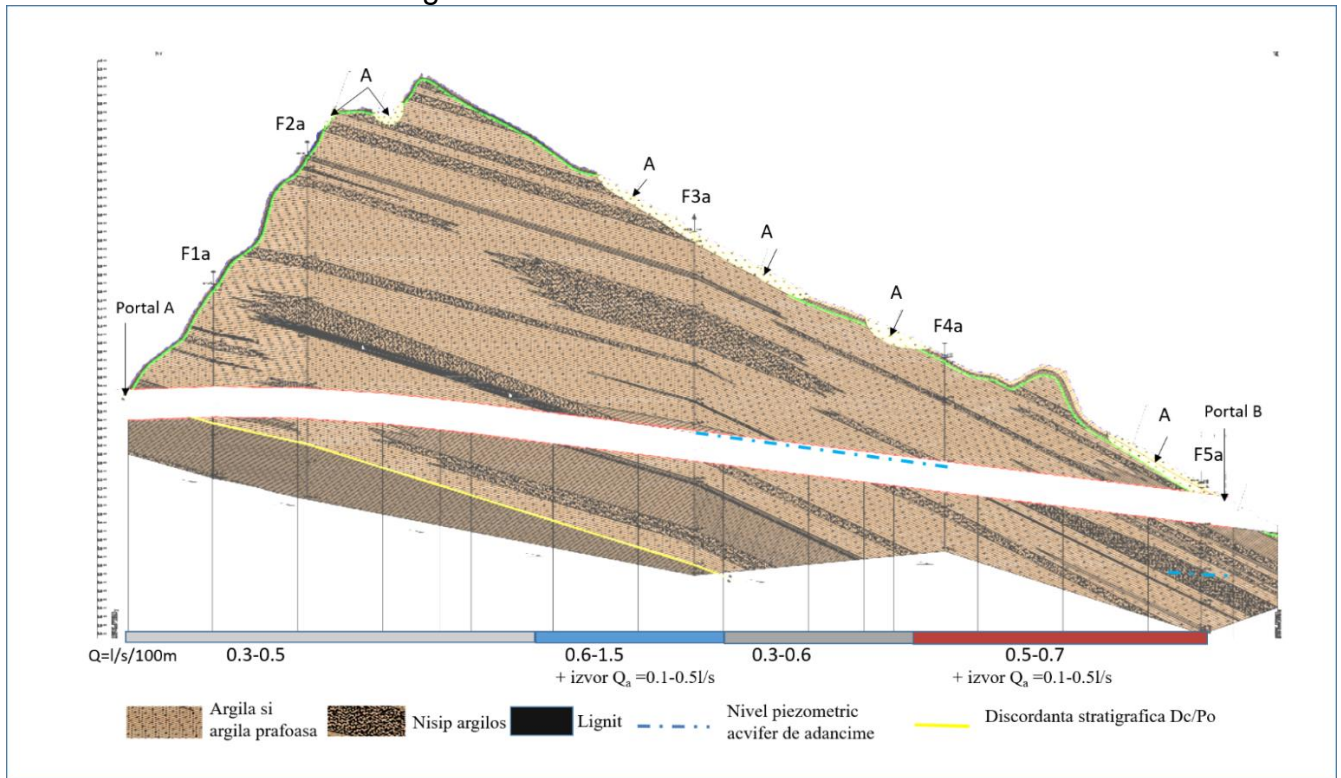


Fig. 3.28 - Secțiunea geologică și zonele cu alunecări de teren. Marcate cu "A" sunt zone cu alunecări de teren active sau predispușe la alunecări de teren (Diaconu A., Chitea F., 2018)

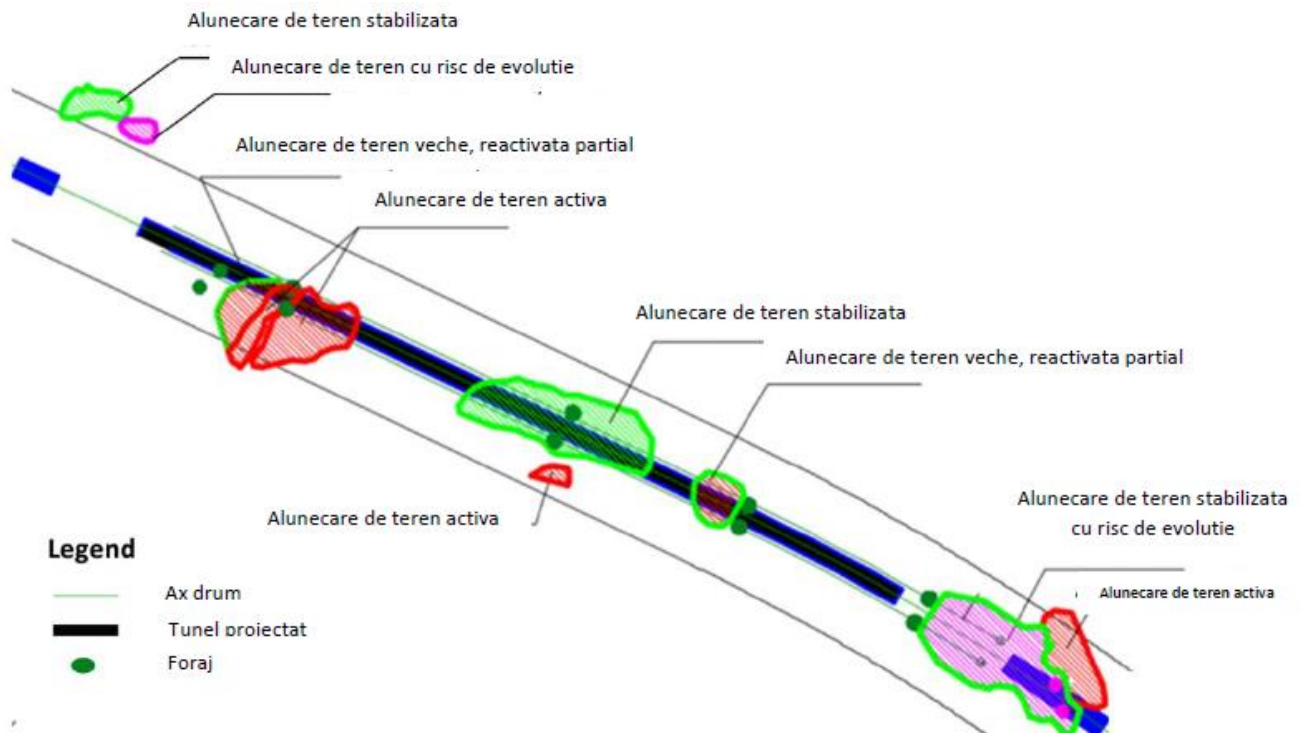


Fig.3.29 - Schița ariilor investigate și observate caracterizate de instabilitate la sol. (Diaconu A., Chitea F., 2018)

Aceste cercetări esențiale au furnizat dovezi despre două situații dificile: alunecările de teren și infiltrațiile de apă, elemente de importanță majoră, în special în zona portalului (Portal B – Fig. 3.28). De-a lungul tunelurilor s-au observat mai multe zone sensibile, așa cum este prezentat în fig. 3.29. O preocupare majoră pentru viitoarele construcții sunt zonele cu alunecări de teren active, dar și cele cu risc evolutiv. Considerăm că evenimente locale seismice moderate și puternice, dar și șocurile seismice profunde, puternice, datorate zonei Vrancea, prezintă riscul declanșării unor de alunecări de teren.

3.3. Investigații prin metode goelectrice

3.3.1. Evaluarea vulnerabilității terasamentelor în proiectele de infrastructură rutieră prin studii de tomografie geoelectrică

Cunoașterea insuficientă a structurii geologice superficiale și a tectonicii locale, precum și a comportamentul în timp al terasamentelor căilor rutiere, atunci când acestea sunt supuse încărcărilor și vibrațiilor induse de traficul auto, este una dintre cauzele majore care determină deteriorare în timp a infrastructurii rutiere. Se consideră că aceste aspecte depășesc importanța altor factori, cum ar fi calitatea scăzută a materialelor utilizate pentru construcții (Adiat et al., 2017) sau alegerea unui traseu necorespunzător în faza de proiectare tehnică a acesteia.

Prin urmare, este deosebit de importantă utilizarea tehnicilor de investigare geofizică pentru evaluarea condițiilor geotehnice din amplasament, ca o completare a metodelor de investigare in-situ. Aplicarea metodelor geofizice nu se limitează doar la acest tip de investigație, studii geotehnice recente arată utilitatea aplicării metodelor geofizice pentru evaluarea grosimii și integrității stratului de asfalt sau pentru verificarea conformității realizării construcției drumurilor cu detaliile tehnice din proiect.

Pentru alte obiective, cum ar fi evaluarea gradului de compactare al umpluturilor din corpul rambleelor, evaluarea grosimii stratelor din compoziția acestora sau delimitarea terenului de fundare, metodele de rezistivitate electrică sau măsurătorile electromagnetice multifrecvență, pot fi utilizate cu succes.

3.3.1.1. Evaluarea gradului de compactare pe un terasament de autostrada

Pentru un lot din autostrada Lugoj-Deva, motivul cercetării geotehnice și geofizice a fost că porțiuni ale terasamentului autostrăzii prezenta semne evidente de deteriorare, chiar dacă până în acel moment nu au fost supuse traficului. S-a observat, de asemenea, că sectoarele luate în considerare pentru turnarea stratului de asfalt au arătat semne evidente de degradare (foto 1). Prin urmare, au existat întrebări cu privire la cauza deteriorării și a fost necesar să se documenteze conformitatea cu standardele de construcție. De asemenea, s-a pus problema dacă structura geologică (schimbări litologice) sau fenomene induse (seismicitate indusă) declanșează deteriorarea rutieră rapidă.



Foto. 1 – Exemple de ramblee deteriorate

Pentru aceste obiective specifice de inginerie civilă și geotehnică, profilele geofizice de cercetare au fost executate în poziții alternative (în ambele direcții de trafic) (fig. 3.30), completând lipsa de informație între punctele de observare date de foraje. S-au conceput, de asemenea, domenii de suprapunere între datele geotehnice și geofizice, iar acest aspect a îmbunătățit semnificativ interpretarea datelor ERT.

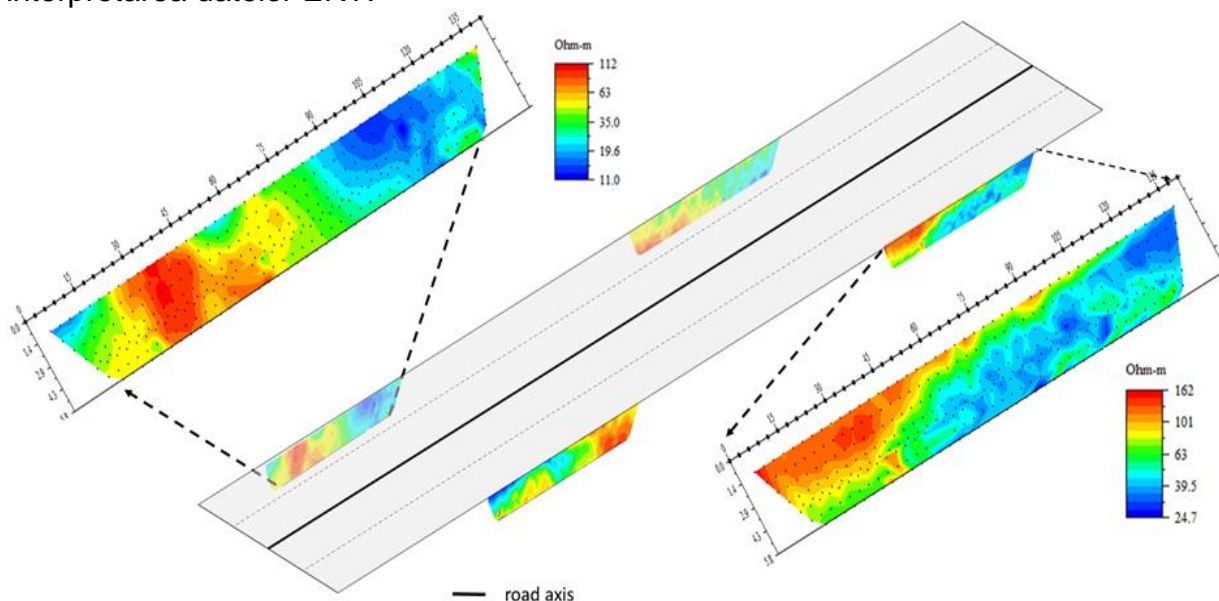


Fig. 3.30 – Profile ERT – rezultatele investigației (Diaconu A., 2016)

În acest proiect a fost utilizată metoda ERT cu mai multe canale pentru a putea realiza o investigare rapidă a sectorului de autostradă supus expertizei. Forajele geotehnice și profilele de tomografie electrică au arătat că terenul natural nu a fost cauza principală a deteriorării infrastructurii rutiere în sectoarele analizate. Cele mai multe probleme au fost observate în zonele în care rambleul nu depășea înălțimea de 2,5 metri.

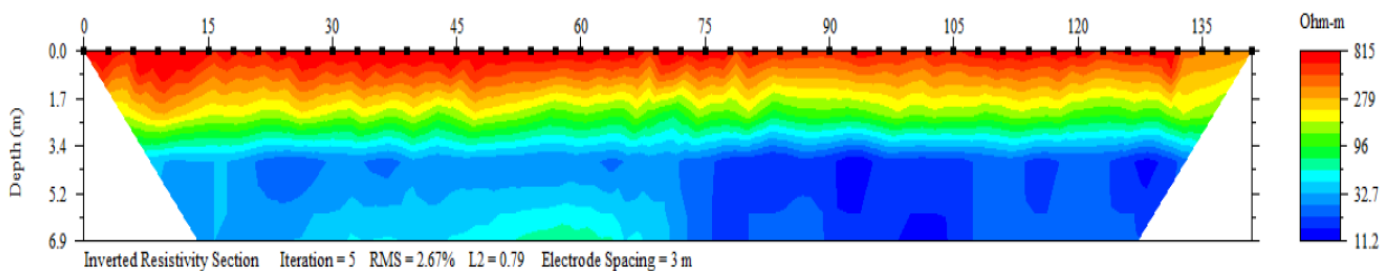
Datele obținute din tomografia electrică au arătat prezența unor sectoare cu deficiențe de construcție, cum ar fi:

- materialele folosite au fost insuficient compacte;
- stratul subțire al patului de piatră spartă din baza rambleului;
- utilizarea materialelor de construcție inadecvate, care nu respectau cerințele caietului de sarcini.

Având în vedere datele ERT, au fost identificate mai multe sectoare cu potențial de instabilitate care pot deveni active mai ales în condiții de trafic intens.

Rezultatele măsurătorilor de tomografie electrică sunt prezentate în secțiunile de rezistivitate aparentă și în graficele de variație ale rezistivității la diverse niveluri de adâncime. S-a ales varianta realizării unor grafice la trei niveluri de adâncime, astfel încât să poată fi apreciat gradul de compactare imediat sub nivelul stratului rutier, la baza rambleului și în terenul natural.

Pe grafice se observă că în primul interval de adâncime (1 la 2 m) există variații mari de rezistivitate, iar pe nivelele următoare acestea scad și tind, în general la nivelul cel mai de jos, să se înscrie pe un palier cu valori mici de rezistivitate (20 Ω m), ce corespund unui orizont argilos.



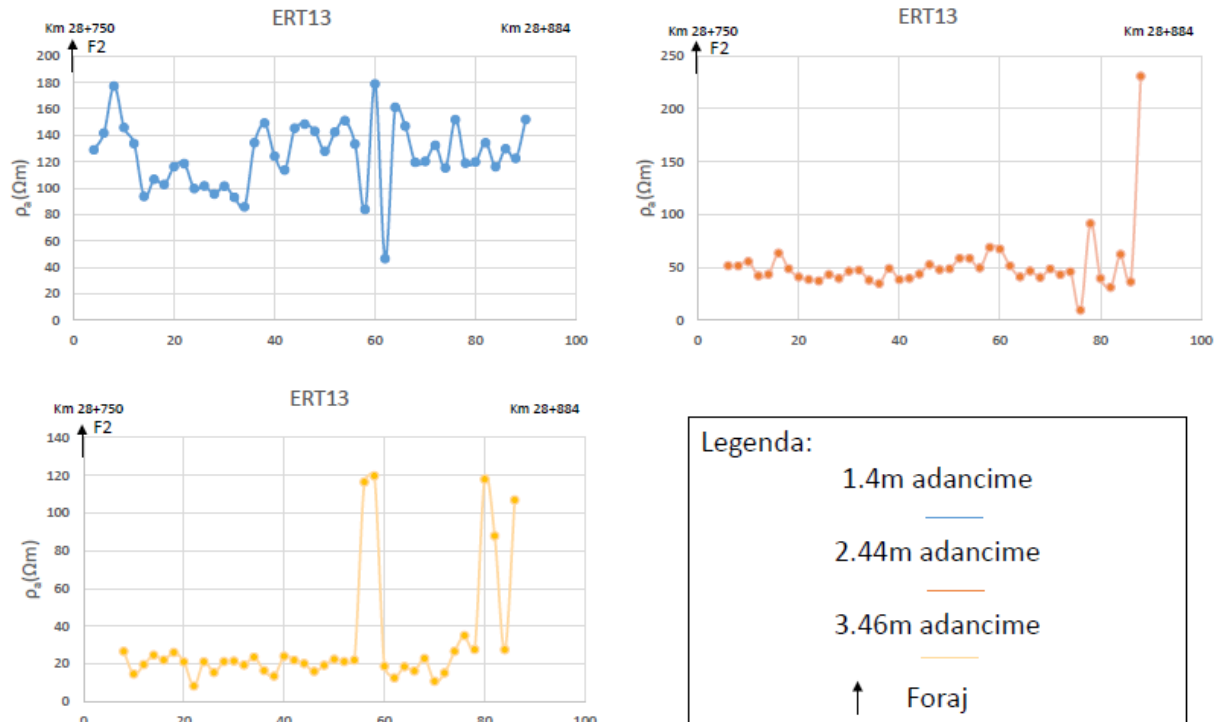


Fig. 3.31 – Profil ERT – grafice de variație a rezistivității cu adâncimea (Diaconu A., 2016)

Zonele de rezistivitate ridicată corespund unei afânări locale a materialului aflat imediat sub calea betonată (eventual mici goluri). Valorile reduse de rezistivitate corespund zonelor în care depozitele și-au menținut gradul inițial de compactare. Această tendință se manifestă în general pe toată lungimea traseului investigat de circa 15 km.

3.3.1.2. Concluzii referitoare la utilizarea tomografiei electrice în proiectele de infrastructura rutieră

Prin intermediul tehnicii ERT de investigare geofizică se poate evalua variabilitatea rezistivității electrice a formațiunilor geologice de suprafață și a materialelor de construcție.

Secțiunile de rezistivitate geoelectrică obținute pot fi analizate în căutarea anomaliilor care sugerează zone periculoase (subsol fracturat sub traseul drumului, zone cu potențial de alunecare, prezența sau dezvoltarea unor golurilor subterane, circulația fluidelor de-a lungul planelor de falie) sau deficiențe în construcția / consolidarea drumurilor, capabile să submineze stabilitatea rutieră.

Investigarea în paralel prin metode geotehnice și geofizice determină creșterea acurateții informațiilor geologice și geotehnice, reducerea vulnerabilităților, îmbunătățirea calității execuției construcției sau a strategiei sale de consolidare.

4. Contribuții personale

În activitatea de geologie inginerească se aplică pe plan mondial din ce în ce mai multe metode geofizice de mică adâncime, cu scopul completării datelor obținute prin investigații directe (foraje, lucrări miniere etc.) sau, în cazul în care nu se pot efectua / nu se dorește realizarea unor activități de prospecțiuni geologice, pentru obținerea unor informații cu caracter geologic și ingineresc.

Avantajul utilizării metodelor geofizice este dat de rapiditatea cu care pot fi executate, costul redus al acestora și faptul că mediul ambiant nu este afectat de acest gen de lucrări.

În acest moment, prin perfecționarea tehnicilor de calcul și dezvoltarea industriei software, se pot rezolva mult mai multe probleme care țin de geologia inginerească, geotehnică, hidrogeologie, hidrologie, arheologie, construcții civile și industriale. Din acest motiv am considerat util să-mi folosesc experiența de peste 25 ani în domeniu în scopul încercării de a întocmi o sinteză a aplicațiilor de geofizică inginerească în rezolvarea problemelor geotehnice și realizarea în același timp a unui ghid de aplicare a metodelor geofizice de mică adâncime.

Lucrarea de față și-a propus să prezinte avantajele și importanța utilizării metodelor geofizice în rezolvarea diferitelor probleme ce apar în proiectarea și realizarea unor lucrări inginerești.

- În acest scop o primă contribuție personală a fost prezentarea unei metodologii de localizare și determinare a unor obiecte îngropate de tipul fundațiilor sau conductelor și estimarea dimensiunilor acestora pe baza metodelor undelor electromagnetice de frecvență înaltă (georadar). Determinarea grosimii unui obiect îngropat prin metoda georadar pune o problemă dificilă datorită compromisului între adâncimea de investigație și rezoluție. Rezoluția spațială la care ne putem aștepta în cazul utilizării unei antene cu frecvența de 100 MHz, care poate asigura o adâncime de investigare acceptabilă, adică între 5 și 10 m., este de circa 1m., mai mare decât grosimea presupusă a fundației (circa 0.5 m). Ca atare nu se vor obține reflexii distincte de pe cele două suprafețe ale fundației, superioară și inferioară, însă poate fi utilizată o metodologie de determinare a semnăturii radar pentru diferite grosimi care poate să ne ducă în final la estimarea destul de precisă a grosimii unei fundații în adâncime.

- De asemenea, estimarea diametrului unei conducte în urma etalonării unor măsurători georadar reprezintă o contribuție utilă în rezolvarea unor probleme des întâlnite în investigațiile utilizate în elaborarea cartărilor de rețele subterane.

- a treia contribuție este dată de stabilirea unei formule empirice pentru evaluarea unor parametri geotehnici cum ar fi densitatea și greutatea volumică pe baza realizării unor măsurători de viteze a undelor longitudinale și transversale. Formulele au fost stabilite plecând de la relațiile empirice stabilite de Mayne cărora li s-au atribuit coeficienți dimensionali caracteristici depozitelor de terasă din București.

Prima constatare se referă la validarea formulei Bowels, 1996, care evaluează modulul de deformare bazat pe valorile rezistenței la penetrare standard în foraj - SPT. Această relație arată o bună corelare cu testele de compresiune în edometru realizate în laborator și oferă rezultate viabile, de încredere, ale compresibilității straturilor necoezive.

Cel de-al doilea rezultat notabil se referă la aplicabilitatea formulelor Mayne care corelează densitățile și greutatea volumice cu vitezele undelor de forfecare obținute prin investigații geofizice (down-hole și cross-hole). Ambele formule au fost modificate prin schimbarea aleatorie a parametrilor fără dimensiuni, până când intervalul de valori calculate a atins intervalul măsurat.

În cele din urmă, dacă vom compara valorile greutății volumice derivate din DHT și CHT la valorile direct măsurate prin testele de laborator, putem concluziona, cel puțin în cazul acestui amplasament, că testele down-hole oferă mai multă fiabilitate intervalului de valori, în special dacă se folosește formula lui Mayne et.al., 1999.

Procedura poate fi utilizată pentru a evalua geostratigrafia și parametri solului pentru amplasamente similare din aceeași unitate geologică

- Cea de-a patra contribuție este dată de îmbunătățirea procedeelelor de achiziție pentru determinare parametrilor dinamici ai terenului de fundare, ai vitezelor și a profilului vertical de viteze în adâncime, folosind metoda analizei multicanal a undelor de suprafață Rayleigh. În teză este prezentat și un tabel, adaptat după Park și al., 2002 pe baza experienței proprii, în care sunt recomandate valori în alegerea dispozitivelor de măsurare ce pot fi utilizate în achiziția de teren prin metoda MASW.

Determinarea vitezei unde de forfecare V_s prin măsurătorile de undă de suprafață Rayleigh este indicată în special pentru solurile foarte atenuante și mediile zgomotoase, deoarece procentul energiei convertite în unde Rayleigh este predominant (67%) față de cel implicat în generarea și propagarea undelor P (7%) și S (26%).

Metodele bazate pe analiza undelor de suprafață Rayleigh oferă o rezoluție bună și nu sunt limitate, spre deosebire de metoda de refracție, de prezența în profunzime a inversărilor de viteze.

De asemenea, propagarea undelor Rayleigh, chiar dacă este influențată de viteza undelor de compresiune V_p și densitate, este în primul rând o funcție a vitezei undelor de forfecare V_s , un parametru de importanță fundamentală pentru caracterizarea geotehnică a unui amplasament.

De fapt, în timp ce viteza undelor P măsurată în soluri saturate depinde în mod substanțial de vibrațiile transmise de fluidul interstițial și nu de scheletul solid al materialului, viteza undelor S este caracteristică vibrațiilor transmise numai de scheletul solid și, prin urmare, spre deosebire de undele P, este reprezentativă pentru proprietățile mecanice reale ale solului (terenului).

Proprietatea fundamentală a undelor de suprafață Rayleigh, pe care se bazează analiza pentru determinarea V_s , este reprezentată de fenomenul de dispersie care se manifestă în medii stratificate.

Principalul avantaj al abordării prin tehnica analizei multicanal – MASW - constă în capacitatea sa intrinsecă de a distinge toate aceste unde datorită zgomotului și de a le separa de undele de suprafață de tip Rayleigh, evidențiind doar modul în care terenul oscilează. Acest lucru se bazează pe mai multe caracteristici seismice ale semnalelor.

Proprietățile de dispersie ale tuturor tipurilor de unde (volum și suprafață) sunt vizualizate printr-o metodă de transformare (bazată pe analiza spectrală a semnalelor seismice) a câmpului de undă care convertește direct semnalele seismice înregistrate într-o imagine în care un model de dispersie este recunoscut după distribuția energiei transformate în oscilații.

Este cunoscut faptul că daunele care au loc în timpul unui cutremur pot avea dimensiuni foarte diferite în locuri apropiate unul de celălalt datorită unui răspuns seismic local diferit; de exemplu, datorită aceluiași cutremur înregistrat cu instrumente identice și la o distanță mică unul de celălalt, unul plasat pe o pătură aluvionară de 200 de metri grosime, celălalt pe roci cristaline, s-a obținut un raport de amplitudine de 5 corespunzând la aproximativ 2 unități din intensitatea seismică (Carrara et. al., 1992).

Pe de altă parte, același concept de magnitudine ia în considerare acest lucru, legând evaluarea sa de amplitudinea mișcării normalizate a solului atât prin intermediul unei funcții de atenuare cu distanța, cât și prin intermediul unui coeficient de stație, iar acesta din urmă este legat, tocmai datorită răspunsului diferit al site-urilor de înregistrare la același eveniment seismic.

Acest fenomen a fost observat pentru prima oară în urmă cu mai bine de un secol, când, în timpul cutremurului de la San Francisco din 1906, clădirile aveau practic aceeași formă, dimensiune și erau construite din aceleași materialele, au suferit daune semnificativ diferite (unele clădiri au suferit prăbușiri totale, în timp ce altele au suferit pagube neglijabile practic).

În concluzie, caracteristicile cu care un cutremur apare într-un anumit loc sunt în mare măsură dependente nu numai de caracteristicile sursei, de modurile de transmitere a

energiei și de distanța hipocentrală, dar mai ales de factorii de răspuns local care modifică compoziția spectrală a cutremurului.

În esență, răspunsul seismic local este acțiunea filtrului și a amplificatorului exercitat local de stratele superficiale ale formațiunii acoperitoare suprapuse pe un fundament; este setul de modificări ale amplitudinii, duratei și conținutului de frecvență pe care o mișcare seismică, în raport cu roca de bază, le suportă la trecerea prin stratele superioare până la suprafață.

Pentru o evaluare corectă a răspunsului seismic local este prin urmare esențial să se calculeze spectrele de răspuns elastic ale componentelor orizontale și verticale ale acțiunilor seismice din amplasament.

- altă contribuție este reprezentată de stabilirea unei echivalențe între diferitele metode seismice utilizate în evaluarea parametrilor dinamici ai terenului de fundare.

Se observă că, deși vitezele medii sunt asemănătoare, metoda cross-hole oferă rezultate pe strat (interval) mult mai precise, oferind o imagine mai exactă a variației litologice.

Coeficientul de variație V_x , care este raportul între abaterea standard și media aritmetică a valorilor selectate, este mai mic decât 0,1 pentru valorile de viteze înregistrate prin metoda down-hole și mai mic decât 0,2 pentru valorile de viteze obținute prin metoda cross-hole, ca o consecință a faptului că abaterea standard este mai mare în testul cross-hole.

O altă observație importantă este că valoarea vitezei medii ponderate pe pachetul de strate de 30 m. și respectiv 60 m. este că aceste valori nu diferă cu mai mult de 5% de la o metodă la alta.

S-a observat că valoarea greutății volumice γ , estimată din măsurarea vitezelor undelor de volum, prezintă un coeficient de variație V_x mai mic decât 0,05, așa cum recomandă normativul NP 122:2010 „Normativ privind determinarea valorilor caracteristice și de calcul ale parametrilor geotehnici”

- Cea de a șasea contribuție pe care o putem cuantifica o reprezintă rezultatele unor exemple de corelații între investigațiile geotehnice in-situ și cele geofizice cu scopul creșterii acurateței informațiilor necesare în proiectarea și monitorizarea lucrărilor liniare de infrastructură rutieră.

Prin urmare, este de interes major să cunoaștem mai bine riscurile geologice, să le evaluăm și să alegem cele mai avantajoase soluții tehnice (în termeni de stabilitate, rezistență și evident costuri).

Tehnicile standard de investigare bazate pe execuția de foraje, teste geotehnice in-situ și determinarea în laborator a parametrilor geotehnici de interes (permeabilitate, greutatea volumică, coeziune, unghi de frecare, modulul Young, coeficientul Poisson, viteza undelor seismice de forfecare, compresiunea monoaxială) au fost completate cu date obținute din investigații geofizice (refracție seismică și tomografie geoelectrică), pentru a obține seturile de date necesare caracterizării geomecanice de ansamblu a amplasamentului și pentru evaluarea datelor privind circulația apei subterane.

Interpretarea integrată a seturilor de date geotehnice și geofizice a permis o mai bună cunoaștere a hidrogeologiei rocilor din amplasament, care au o permeabilitate medie / mică - foarte mică, precum și localizarea zonele afectate de alunecări de teren istorice sau zonelor cu alunecări de teren active.

Principalele amenințări la adresa viitoarei construcții, așa cum rezultă din acest studiu, sunt evenimentele seismice puternice, alunecările de teren și infiltrațiile apelor subterane. Un număr cât mai mare de informații geologice, geotehnice, geofizice și hidrogeologice într-un volum de teren mare, duce la evitarea pe cât posibil a apariției unor probleme în etapa de execuție a lucrărilor de construcție.

Investigațiile geotehnice și geofizice au un rol cheie în abordarea provocărilor legate de selecția unui amplasament pe care urmează să se proiecteze, construiască și să se întrețină ulterior, lucrări de importanță deosebită sau excepțională.

Stabilirea cu anticipație a condițiilor geotehnice ale amplasamentului pe baza parametrilor geotehnici și geofizici, ajută inginerii să aibă o bază solidă în analiza riscurilor și să aleagă tehnici și metode optimizate pentru lucrările subterane adaptate fiecărei "condiții critice de teren" detectate.

Deși este redată în prima parte a lucrării, prezentarea teoretică a modului de realizarea a unui program de prelucrare tomografică a înregistrărilor seismice reprezintă o contribuție teoretică a autorului la acest gen de interpretare a informațiilor geofizice.

5. Concluzii

Marea varietate a metodelor de prospecțiune geofizică, precum și costul relativ redus în raport cu metodele de prospecțiune directă, conferă acestora un câmp vast de aplicabilitate în cazul cercetărilor geotehnice, hidrogeologice, arheologice sau pentru protecția mediului înconjurător. Aplicabilitatea metodelor geofizice de prospecțiune la rezolvarea problemelor de geologie inginerească și geotehnică se fundamentează pe reflectarea în anomalii ale diferitelor mărimi fizice sau elemente structurale deduse indirect pe baza contrastelor de proprietăți fizice pe care le realizează obiectele geologice din subsol față de mediul care le înconjoară.

S-a constatat că răspunsul pe care îl obțin metodele geofizice aplicate (care sunt în general metode de câmp generat artificial), este posibil în funcție de caracteristicile constructive și geometrice ale obiectului studiat (în studiile de caz prezentate este vorba de volume de roci, fundații, construcții edilitare sau lucrări de infrastructură), amploarea fenomenului și continuitatea acestuia în suprafață sau în adâncime.

Folosind și date extrageofizice cu privire la natura, forma și poziția obiectului geologic din subsol, precum și valoarea contrastului de proprietăți fizice realizat de acesta, definirea obiectului geologic necunoscut se poate face mai complet.

Un aspect important în rezolvarea prin metode geofizice a unor probleme geologice și geotehnice se referă la valoarea cantitativă a rezultatelor reflectării obiectelor geologice. Intensitatea anomaliilor sau mărimea elementelor structurale deduse este legată de mai mulți parametri, cum ar fi adâncimea obiectului geologic, contrastul de proprietăți fizice realizat de acesta, forma obiectului, înclinarea pachetelor de roci, anizotropia mediului etc. Este deosebit de important ca obiectele geologice pe care le stabilim în urma interpretării geologice, drept cauză a rezultatelor geofizice obținute, să fie pe deplin justificate prin valoarea cantitativă a rezultatelor geofizice legate de ele.

Au fost experimentate diverse tipuri de investigații geofizice pentru a se studia răspunsul metodelor la diversele provocări ce apar în activitatea curentă în geologia inginerească și ingineria geotehnică.

O analiză comparativă, efectuată asupra rezultatelor obținute în urma interpretării datelor măsurătorilor geofizice, indică o bună corelare a acestor rezultate cu foarte mici excepții, diferențele înscriindu-se, de altfel, în marja de eroare admisibilă, permisă de metode.

Pentru obținerea unei precizii superioare, este necesară o îndesire a lucrărilor geofizice, ceea ce comportă o creștere a costului acestora, sau aplicarea unor variante ale acestor metode, ce se caracterizează printr-o rezoluție superioară.

Capacitatea de rezolvare a problemelor geologice specifice prin diferite metode geofizice nu este și nu poate fi nelimitată. Există pentru fiecare metodă geofizică de prospecțiune o categorie de probleme geologice și geotehnice specifice care sunt rezolvabile prin fiecare metodă geofizică, dată fiind infinitatea posibilităților de structură geologică pe care le realizează natura.

A nu se ține cont de capacitatea fiecărei metode geofizice înseamnă a-i acorda posibilități mai mari decât le are în realitate și aceasta poate fi o sursă importantă de concluzii în interpretarea geologică.

Cu toată vastitatea domeniilor la care se referă metodele prezentate și cu toată diversitatea problemelor pe care le pun atât pe plan teoretic cât și pe plan metrologic, metodologic și interpretativ, lucrarea se dorește a fi unitară și a avea un caracter de unicitate datorat obiectivelor

metodelor de prospecțiune geofizică care se referă la studiul fizico-matematic și interpretarea geologică a unor anomalii geofizice.

Punerea accentului pe aplicații practice și descrierea unor exemple concrete au urmărit în primul rând ca lucrarea să aducă o contribuție la rezolvarea unor probleme ingineresti ce apar în practica comună de proiectare.

O bună parte din procedeele descrise reprezintă noutăți în raport cu procedeele standardizate aplicate în cadrul operațiilor de rutină din practica geologiei și geofizicii ingineresti, constituind elemente de tehnică nouă, a căror introducere în activitatea curentă de prospecțiune ar contribui fără îndoială la creșterea eficienței activităților de cercetare geofizică și la obținerea unor rezultate de o acuratețe ridicată.

6. Bibliografie

6.1. Rapoarte de studii și cercetări, articole, cărți folosite în documentare.

Amar S., Jézéquel J.F., 1972, *“Essais en place et en laboratoire sur sols cohérents: comparaison des résultats”*. Bulletin de Liaison des Ponts et Chaussées 58: 97-108.

ASTM D5777 – 00, 2011 Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation.

ASTM D6429 – 99, 2011 Standard Guide for Selecting Surface Geophysical Methods.

ASTM D7128 – 05, 2010 Standard Guide for Using the Seismic-Reflection Method for Shallow Subsurface Investigation.

ASTM G57-95A, 2001 Standard Test Method for Field Measurements of Soil.

Atkinson J.H., and P.L. Bransby, 1978, *“The Mechanics of Soils”*, McGraw-Hill, London.

Bala A., et.al., 2009, *“In situ borehole measurements in Bucharest, Romania as a tool for seismic site effects assessment”* 8th International Workshop on Seismic Micro zoning Risk Reduction Almeria, Spain.

Bala A., Raileanu V., Dinu C., Diaconescu M., 2015, *“Crustal seismicity and active fault systems in Romania”*, Romanian Reports în Physics, Vol. 67, No. 3, P1176-1191.

Bowles J. E., 1996, *“Foundation analysis and design”* McGraw-Hill, Singapore.

Ciortan R., 2012, *“Porturi și amenajări portuare”*, Editura: A.G.I.R., București

Constantinescu P., Moldoveanu T., Stefanescu D., Vajdea V., Visarion M., 1979, *“Geofizica inginerescă”*, Editura Tehnica, Bucuresti.

Constantinescu L., Botezatu R., Calotă C., Șteflea V., Romanescu D., Paucă M., Gohn E., 1964, *“Prospecțiuni geofizice”*, Vol. 1 și Vol. 2., Editura Tehnica, Bucuresti.

Davis J.L., Annan P., 1989, *“Ground Penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy”* Geophysical Prospecting, 37, 531-551

Enescu D., Orban T., 1979, *“Prospecțiuni seismice”* – Partea I-a. București, Universitatea București.

Georgescu, P., et al, 1982, *“Prospecțiuni geofizice”*, Editura didactică și pedagogică.

Georgescu P., 1982: *“Prospecțiuni electrice”*, Universitatea Bucuresti.

Geophysical Survey Systems, Inc., 1995 – *SIR SYSTEM 10A+ - Training Notes*

Hui Zhou, Chuanqing Zhang., Zhen Li., Dawei Hu., Jing Houb., 2014, *“Analysis of mechanical behavior of soft rocks and stability control in deep tunnels”*, Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, Volume 6, Issue 3, , Pages 219-226.

Ioane D., 2006, *“Geofizica pentru mediu”* București: Vergiliu.

International Seismological Centre, *On-line Bulletin*, <http://www.isc.ac.uk>, Internatl. Seismol. Cent., Thatcham, United Kingdom, accessed in 2018

Kearey Ph., Brooks M., 1992, *An introduction to Geophysical Exploration*, Oxford, Blackwell Scientific Publications

Kelly W.E., Mares S., 1993, *Applied geophysics in hydrogeological and engineering practice*, ELSEVIER

- Knapp J.H., et.al., 2005, "Crustal constraints on the origin of mantle seismicity in the Vrancea Zone, Romania: The case for active continental lithospheric delamination" *Tectonophysics*, Volume 410, Issues 1–4, pp.: 311-323.
- Loke M. H., 2002, "Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys"
- Manea S., 1998, "Evaluarea riscului la alunecare a versanților" Editura Conspress
- Mayne P.W., Schneider J.A., Martin G.K., 1999, "Small and large strain soil properties from seismic flat dilatometer tests" International symposium; 2nd, Pre-failure deformation characteristics of geomaterials; 1999; Turin, Italy.
- Mayne P.W., Barry R. Ch., De Jong J., 2001, "Manual of Subsurface Investigations". National Highway Institute, Washington DC.
- Mărunțeanu C., 1994. *Urbanism si protectia mediului geologic*, Editura Universității București.
- Mărunțeanu C., Stanciucu M., 2001, *Ingineria geologică a depozitelor de deșeuri*, Editura Universității București.
- Ménard L., 1957, "Mesures in situ des propriétés physiques des sols. *Annales des Ponts et Chaussées*" I.3: 357-376.
- Mesri G., 1975, *Discussion: New design procedure for stability of soft clays*, Proc. ASCE, Journal of the Geotechnical Engineering Division, 101 (GT4), 409-12.
- Milton Assis Kanji, 2014, "Critical issues in soft rocks, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering 6*", 186-195.
- Mitchell J.K., 1976. "Fundamentals of soil behavior" (New York: John Wiley & Sons).
- Muir Wood D.M., 1991, "Soil Behaviour and Critical State Soil Mechanics", Cambridge University Press, Cambridge.
- P 100-1/2013 „Cod de proiectare seismică – Partea I – Prevederi de proiectare pentru clădiri”
- Park C. B., & Miller R. D., 1999, „Multichannel analysis of surface waves” *GEOPHYSICS*, v. 64, p 800-808.
- Park C., 2016, "MASW Analysis of Bedrock Velocities (V_s and V_p)" *SEG annual meeting (Dallas, Texas)*.
- Park C. B., 2011, "Imaging dispersion of MASW data - full vs. selective offset scheme": *Journal of Environmental & Engineering Geophysics*, v. 16, no. 1, p. 13-23.
- Park C. B., and Miller R.D., 2008, "Roadside passive multichannel analysis of surface waves (MASW)": *Journal of Environmental & Engineering Geophysics*, v. 13, no. 1, p. 1-11.
- Park C.B., 2008, "Imaging dispersion of passive surface waves with active scheme": *Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems* (SAGEEP 2008), Philadelphia, April 6-10, Proceedings on CD Rom.
- Park C.B., Miller R.D., N. Ryden, J. Xia, and J. Ivanov, 2005, "Combined use of active and passive surface waves": *Journal of Environmental & Engineering Geophysics*, v. 10, no. 3, p. 323-334.
- Park C.B., and Miller R.D., 2005b, "Seismic characterization of wind turbine sites in Kansas by the MASW method": *Kansas Geological Survey Open-file Report 2005-23*.
- Park C.B., Miller R.D., and Miura H., 2002, "Optimum field parameters of an MASW survey" [Exp. Abs.]:SEG-J, Tokyo, May 22-23.
- Park C. B., & Miller R. D., 1999, „Multichannel analysis of surface waves” *GEOPHYSICS*, v. 64, p 800-808.
- Pascu M. R., 1983, "Apele subterane din Romania". București: Editura Tehnică.
- Perlo R., Swales M., Kane T., Louie H.C.K., Poon F.H.T., 2012, „Tunnelling in Difficult Ground: How the Geotechnical Baseline Report Helps”, HKIE Geotechnical Division Annual Seminar 53-60.
- Reynolds J., 1997, "An introduction to applied and environmental geophysics". West Sussex: John Wiley & Sons.
- Scott Keys W., 1989, *Borehole Geophysics Applied to Groundwater Investigations*, National Water Well Association, Dublin, Ohio, USA
- Skempton A.W., 1954, "Discussion of the structure of inorganic soil", Proc. ASCE, Soil Mechanics and Foundations Division 80, 19-22.
- Stanciucu M. "Soil proprieties derived from CPT tests versus laboratory tests". 5th International

- Multidisciplinary Scientific Geoconference (SGEM), Vol. 2, pp. 673-681, 2015.
- Stănciucu M., 2010, „*Investigații geotehnice in situ*”, Ed.Universității din București, 128pp., ISBN 978-973-737-803-3.
- Stănciucu, M., 2018 "*Analiza stabilității versanților și taluzurilor.*" Editura Tehnică, 413 pag., ISBN 978-973-31-2400-9.
- STAS 1242/8-75, 1975 Teren de fundare. Principii de cercetare geofizică a terenului de fundare prin metode electrometrice în curent continuu
- STAS 1242/7-84, 1984 Teren de fundare. Cercetarea geofizică a terenului prin metode seismice
- Telford W.M. et al, 1990, Applied Geophysics, Cambridge University Press
- Ulriksen C.P.F., 1982 - „*Application of impulse radar to civil engineering*” Lund University of Technology
- Vaicum A., 1985, “*Condiții de amplasament în ingineria seismică*”, Editura Academiei R.S.R., București
- Ward S. H., 1990 “*Geotechnical and Environmental Geophysics*”. Okla: Society of Exploration Geophysicists.
- Arhiva GEOTEC S.A., Rapoarte privind investigații georadar 1996 – 2004
- Arhiva GEOTESTING C.I. S.R.L., Rapoarte privind investigații geofizice și geotehnice 2013–2019

6.2. Articole, rapoarte de cercetări publicate de autor

Lucrări elaborate și publicate:

- Barac M, Avram L, Arghirescu A, Diaconu A, Șerban C, Antonia C (2008) “**Urban geo-ecology, a new branch of the geo-sciences, support of durable territorial planning**”, Buletinul Universitatii Petrol – Gaze Ploiesti, Vol. LX, nr. 4A/2008, ISSN: 1224-8495;
- Barac M, Avram L, Arghirescu A, Diaconu A, Șerban C, Antoniac C, (2008) “**The effect of the Anthropic Factors on the Quality of the Underground Waters within the area of the Danube – Black Sea Canal**”, Buletinul Universitatii Petrol – Gaze Ploiesti, Vol. LX, nr. 4A/2008, ISSN: 1224-8495;
- Chitea F, Ioane D, Diaconu A (2017), „**ERT measurements for road design and road inspection**”, simpozion GEOSCIENCE 2017 București
- Chitea F, Ioane D, Drăgușin V, Mirea I.C., Șandric I, Covaliov S, Diaconu A (2018) „**Electrical resistivity survey for underground voids (natural and/or anthropogenic) in the Limanu area (south Dobrogea, Romania)**”, simpozion GEOSCIENCE 2018 – București
- Chitea F, Ioane D, Tolbes C, Calin M.C, Diaconu A (2019) „**Detection of buried foundations in urban environment by Electrical Resistivity Tomography**”, accepted as oral presentation at 10th Congress of the Balkan Geophysical Society, Albena Resort, Bulgaria
- Diaconu A, (2005) „**Utilizarea metodelor geofizice (electrometrie și georadar) pentru delimitarea în profunzime și în plan a poluării subteranului**”, Conferința națională *Practici și experiențe în protecția mediului* -ECOMEDIU, Arad, pp 61-63, ISBN 973-87353-2-7;
- Diaconu A, Cizkowski V, Danciu L, (2005) „**The Results Comparison Obtained Through The Electrometric And Georadar Method Within The Studies Regarding The Pollution Degree Of The Underground With Oil Products**” 4th Congress of the Balkan Geophysical Society
- Diaconu A, Barac M., Arghirescu A, Antoniac C (2007) „**Cercetari hidrogeofizice pentru monitorizarea spatio-temporala a zonelor de contaminare cu hidrocarburi si ape reziduale din arealul rafinariilor Astra, Petrotel, Petrobrazii si Vega**”, Simpozionul International “Mediul si Industria” – SIMI 2007, 25-27 octombrie 2007, organizat de INCD ECOIND Bucuresti;
- Diaconu A, Cizkowski V, Barac M, Emancipatu M, (2007) „**The Analyse of Geotechnical Parameters Using Electrometric and Radiometric Measurements Near Surface** 2007 – 13th EAGE European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, DOI:10.3997/2214-4609.20146676

Diaconu A, Barac M, (2008) **“Thickness Foundation Measurement Using the Georadar Method”** Near Surface 2008 – 14th EAGE European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, DOI:10.3997/2214-4609.20146332

Diaconu A, Chitea F, (2018) **„Assessing hazardous geological features for tunnel construction by means of geotechnical and geophysical methods”** Proceedings 18th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM. Vol 18, pp.:99-106, ISBN 978-619-7408-36-2, ISSN 1314-2704, DOI: 10.5593/SGEM2018/1.2

Ioane D, Georgescu P, Chitea F, Diaconu A, Niculescu B (2008) **“Goelectrical Detection of Oil contaminated Plumes in the Vicinity of Ploiești Refineries, Romania”**, 70th EAGE Conference and Exhibition incorporating SPE EUROPEC 2008, DOI:10.3997/2214-4609.20147892

Stănciucu M, Diaconu A (2017) **"Interrelation between soil properties derived from geophysical tests and geotechnical laboratory tests."** Proceedings 17th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM. Vol. 17, pp.: 469-476, ISBN 978-619-7105-99-5, ISSN 1314-2704, DOI: 10.5593/SGEM2017/12/S02.060

Stănciucu M, Diaconu A (2019) **„Reliability of in situ methods in assesement of soil unit weight"** accepted as possible publication in Springer Journal - Bulletin of Engineering Geology and the Environment