

Nelly ZANETTE

dottoranda, Università degli Studi di Trieste, Dip. di Ing. Civile, Sez. Idraulica e Geotecnica

Darinka BATTELINO

prof. dr., Università degli Studi di Trieste, Dip. di Ing. Civile, Sez. Idraulica e Geotecnica

UPORABA GEOSEIZMIČNIH METOD V GEOTEHNIKI

POVZETEK: Uporaba geoseizmičnih metod je v inženirski praksi zelo razširjena in je postala nepogrešljiv pripomoček pri določevanju geotehničnih karakteristik tal tako v makro kot mikro merilu. Te inovativne metode omogočajo analizo strukture terena in ostalih mehaničnih parametrov tudi v veliko večjih globinah, kot je to mogoče s konvencionalnimi metodami. Primerjava med uporabo samo klasičnih preiskav in sito, in sočasne uporabe klasičnih in geoseizmičnih metod, pomeni velik časovni in materialni prihranek predvsem pri gradnji večjih objektov kot so pregrade, viadukti ali galerije. Pri geotehnični analizi tal določenega področja, lahko z geoseizmičnimi preiskavami določimo srednje vrednosti geotehničnih parametrov v posameznih plasteh in ne samo v določenih točkah, kjer so bili odvzeti vzorci in izvedene laboratorijske preiskave. Na osnovi hitrosti širjenja valov P in S se lahko določi Youngov elastični modul, strižni modul, Poissonov količnik in koeficient prepustnosti. V članku je prikazan pregled raznih geoseizmičnih metod, ki se najpogosteje uporabljajo v inženirski praksi (refleksijske in refrakcijske metode, down-hole, cross-hole), njihov opis, teoretične osnove in rezultati. Podrobno je prikazana nova metoda in instrument Vertical Multi System Core Logger (V-MSCL), ki omogoči avtomatičen zapis hitrosti vala P, obliko vala, gostoto, poroznost, magnetno absorpcijo in granulometrijo terena vzdolž sonde. Prikazani bodo tudi prvi rezultati izmerjeni s to aparaturo na sondah iz Malteškega kanala, ter njihova obdelava.

GEOSEISMIC METHODS

APPLIED TO GEOTECHNICAL ENGINEERING

SUMMARY: The geoseismic methods are widely employed in the engineering field as irreplaceable support for the examination of wide scale areas. An adequate use of the geoseismic methods allows to reduce remarkably the cost of the geognostic surveying.

Regarding the classical approach of in situ surveying, like perforations, the geoseismic methods are faster, cheaper and useful when extended areas have been to investigate. In a study of an area the geoseismic methods highlight themselves for their not invasive nature. From the geoseismic methods the velocity of P and S waves are carried out and, given the density, it's possible to come to several geomechanical parameters.

In this paper a panoramic of the geoseismic methods applied to the geotechnical engineering is presented, with a brief description of the theoretical principles, in particular the V-MSCL instrument is drawn out, it implements an automatic core logging and allows to acquire on not extruded cores some geomechanic parameters. Results of the measurements and elaboration of the acquired data for the sediments from the Malta's Channel are presented.

UVOD

V tem članku bo podan pregled geoseizmičnih metod, katere se v geomehaniki uporabljajo za določevanje karakteristik tal, tako na velikem območju kakor na srednje velikih površinah ali pa samo lokalno. Posebno natančno bo opisana nova metoda (Vertical Multi Sensor Core Logger), ki je še le v razvojni fazi, in se bo lahko uporabila za analizo tankih slojev sedimentov iz velikih globin.

Z uporabo SONARne tehnike (SOund NAVigation Ranging) je akustika, med II. svetovno vojno, doživela velik razvoj. Znotraj nekega medija potuje akustični val z določeno hitrostjo, ko naleti na neko diskontinuiteto, na primer trdno podlago pod plastjo sedimentov, ali na plast z drugačnimi karakteristikami, se del vala odbije, drugi del vala pa potuje naprej pod spremenjenim kotom, odvisnim od materiala skozi katerega potuje, zopet do naslednje diskontinuitete. Z analizo časovnih intervalov odbitih valov, se lahko določi debelina posameznega sloja oziroma stratigrafija določenega območja.

GEOSEIZMIČNE METODE

Geoseizmične metode so bile in ostajajo, med ostalim geofizikalnimi preiskavami, zelo pomembne in pogosto uporabljane, ne samo, ker predstavljajo pomembno raziskovalno področje naftne industrije, temveč zato, ker se metode lahko smatrajo kot zanesljive, hitre in ponovljive.

Z geoseizmiko se z širjenjem valov lahko dobe podatki o strukturi temeljnih tal, zaznajo se lahko razne geološke strukture; geološke ovire, ki so lahko pomembna naftna ležišča; določi se skalna osnova, prisotnost podzemnih jam, razpoke blizu površine in drugo. Za realizacijo seizmične preiskave je potrebna naprava za izvor valovanja in naprava za njegovo zaznavo. Kot izvor valovanja se uporabljajo eksploziva, vibratorji, kladiva, v morju pa, topovi na stisnjen zrak. Za registracijo valov se uporabljajo geofoni (v morju hidrofoni) in akcelerometri. Pri geofonih se izkoristi proporcionalnost med amplitudo registriranega signala in hitrostjo širjenja vala, akcelerometer pa zazna pospešek, sorazmeren pospešku zemljine ob prihodu fronte vala. Iz podatkov, ki jih dobimo s senzorji, se izdelata seizmični prerez oziroma diagram, v katerem je serija zapisov amplitud in časov, ko je določen val, ki je potoval nad določeno točko skozi zemljino, prispel do senzorja. Na ordinati je označen čas v sekundah, na abscisi pa geometrična razporeditev senzorjev.

Izvor elastičnega valovanja v elastičnem, homogenem izotropnem polprostoru, povzroči širjenje fronte vala in energija je razporejena na površini sfere (Huygensovo pravilo). Elastični valovi, ki se širijo po polprostoru so:

- valovi P ali kompresijski ali longitudinalni valovi: nihaje delčkov zemljine je vzporedno smeri širjenja valov ; hitrost širjenja teh valov je največja zato tudi prvi pridejo do sprejemnika;
- valovi S ali strižni ali transverzalni valovi; nihaje delčkov zemljine je pravokotno na smer širjenje vala;
- valovi R: z rešitvijo enačbe valovanja in ob upoštevanju robnih pogojev proste površine se določijo površinski valovi poznani pod imenom Rayleighovi valovi; po površini potujejo z nekakšnim krožno vzratnim gibanjem glede na smer širjenja vala in zato jih imenujejo tudi »ground roll«. Za razliko od valov P in S, pri katerih je amplituda obratno sorazmerna z oddaljenostjo od izvora (sferična divergenca), je amplituda vala R obratno sorazmerna s kvadratnim korenem razdalje do izvora (cilindrična divergenca). S teorijo elastičnosti se določi odnos med hitrostjo vala S in hitrostjo vala R v elastičnem mediju (1):

$$v_{\text{Rayleigh}} = C v_s \quad (1)$$

kjer je C parameter, odvisen od Poissonovega količnika in variira med 0.911 in 0.955.

V splošnem se, med širjenjem valov po zemljini, energija postopoma zmanjšuje zaradi različnih vplivov, kot so sferična divergenca in absorbcija.

Geoseizmične metode lahko razdelimo v dve skupini:

- aktivne metode, kjer se karakteristike zemljine določijo z analizo reakcije tal pri ifinitezimalno majhni spremembi začetnega napetostnega stanja;

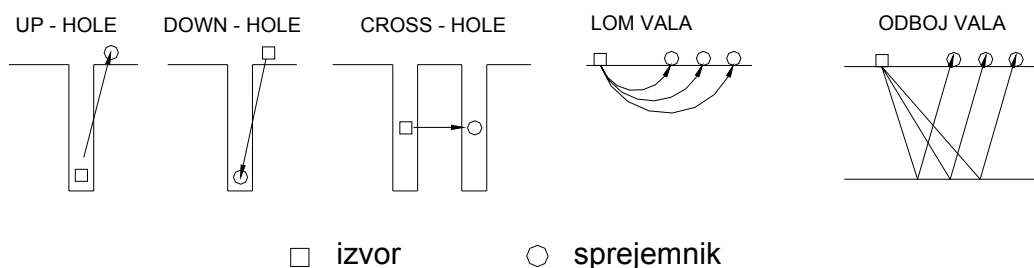
- pasivne metode, kjer se ne uporabi umetni izvor energije temveč naravno radiacijo ali hrup iz okolja.

Prav tako lahko tudi način izvajanja preiskav razdelimo v dve skupini:

- invaziven način, kjer je potrebno vrtanje ali izkopi v terenu (Up-hole, Down-hole, Cross-hole);
- neinvaziven način, pri katerem lahko pri meritvah na terenu izkoristimo znanje o seizmiki (instrumenti za pridobivanje in zapis podatkov so » Subboton profiler « -ChirpII Acoustic Profiling Sistem, Uniboom Profiler) in v laboratoriju na intaktnih, neodprtih jedrih iz vrtin (Multi Sensor Core Logger).

Na sliki 1. je shematičen prikaz geoseizmičnih metod.

INVAZIVNE GEOSEIZMICNE METODE NEINVAZIVNE GEOSEIZMICNE METODE



Slika1. Invazivne in neinvazivne metode.

INVAZIVNE GEOSIZMIČNE METODE

Up-hole in Down-hole metoda

Pri obeh meritvah določimo hitrosti valov P in S v terenu. Za Up-hole sistem je potrebno izdelati vrtino v terenu, v katero namestimo izvor valovanja, na površini, blizu odprtine, pa postavimo sprejemnik in ravno obratno za tehniko Down-hole. Ti dve tehniki sta priporočljivi za meritve do globine 60m, pri večjih globinah se začne pojavljati izguba signala in vplivi lomljenja in odboja valov zaradi heterogenosti zemljine skozi katero potuje val.

Cross-hole

Pri Cross-hole tehniki, pa je potrebno izvesti najmanj dve vrtini, v kateri vstavimo na enakih globinah oddajnik in sprejemnik tako, da registriramo horizontalen prehod vala. Pri teh meritvah je bistveno, da sta vrtini res vzporedni (kontrola z inklinometri) in dober stik sprejemnika s steno vrtine. Razdalja med vrtinama je lahko od dva do tri metre, za sprejemnike pa se uporabljajo geofoni s frekvencami od enega do pet Hz. Izvor je lahko mehaničen ali pnevmatičen.

NEINVAZIVNE GEOSEIZMIČNE METODE

Pri seizmičnih metodah, se uporablja tako lom valov (refraction seismic) kakor odboj valov (reflection seismic); običajno pa se uporablja kombinacija obeh, da dobimo čim več podatkov o zemljini.

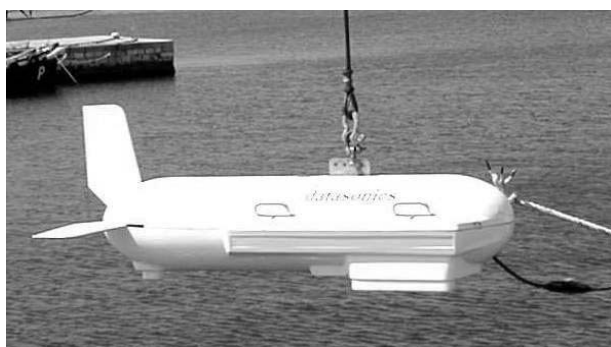
Lom vala

Z metodo, pri kateri se uporabljajo zakonitosti lomljenja vala, lahko preiskujemo sestavo zemljine na osnovi podatkov čela vala in ta metoda se lahko uporablja do globine 500 m. Vpadni val, ki tvori, z mejno ploskvijo med dvema slojema, kritični kot, potuje po mejni ploskvi s hitrostjo drugega sloja v_2 . Na površju se meri čas prihoda teh lomljenih valov in na osnovi znane

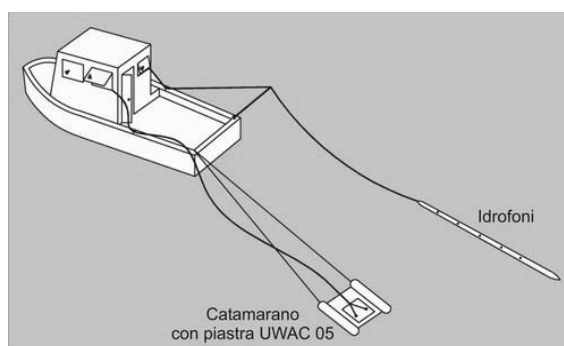
prostorske razporeditve sprejemnikov, je možna grafična predstavitev prostor-čas, ki se imenuje dromokrona, iz katere določimo hitrosti širjenja vala v posameznem sloju in debeline slojev skozi katere je val potoval.

Odboj vala

Ta metoda uporablja podatke s čela odbitega vala in območje preiskav je globlje kot pri prejšnji metodi. V glavnem se uporablja pri iskanju energijskih virov, kjer je lahko globina nahajališč več kot kilometer. Signal, ki ga posnamemo na površini je zelo kompleksen, ker je vsota več odbitih signalov zaradi diskontinuitet v globini in interpretacija se izvede s tehniko analize signala. Razporeditev geofonov na površju je določena tako, da dobro pokrijejo celotno območje nad objektom, ki leži v globini. S to metodo se lahko določi hitrost širjenja valov in globine kontaktnih ploskev. Lep primer uporabe te metode je študija morskega dna v bližini Trsta z dvema različnima sistemoma za zbiranje podatkov (Subbottom profiler – ChirpII Acoustic Profiling System, Uniboom Profiler), ki omogočajo izdelati zelo kvalitetne profile. Ti instrumenti, ki jih vleče barka, oddajajo akustične valove, ki prečkajo plast vode in prodrejo v morsko dno do nekaj sto metrov globine, odvisno od vrste tal in uporabljene energije izvora.



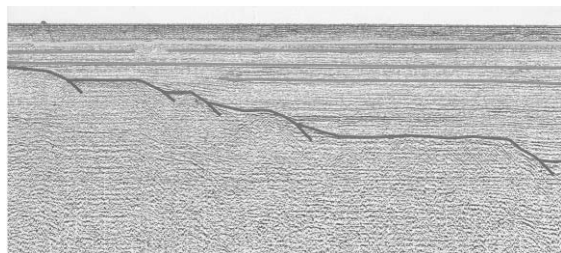
Slika 2. ChirpII Acoustic Profiling System.



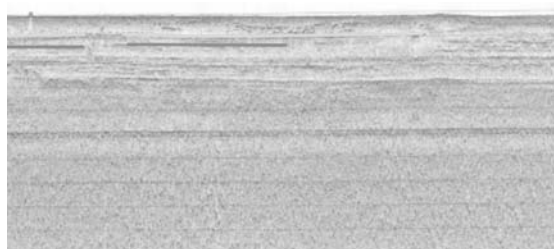
Slika 3. Uniboom Profiler.

ChirpII Acoustic Profiling System, ki je prikazan na sliki 2 je sistem, ki omogoča izdelati sliko morskega dna do globine približno 600m z decimetrsko natančnostjo.

Uniboom Profiler (slika 3) je sestavljen iz močnega izvora energije, ki je na čolnu, ta napaja izvor valovanja, ki je na katamaranu in oddaja sunkovite signale (spike) proti dnu morja. Odbite signale ujame sistem hidrofonom, ki jih barka vleče za seboj. Ojačeni signali se na barki obdelajo in grafično prikažejo.



Slika 4. Profil posnet s Uniboom sistemom.



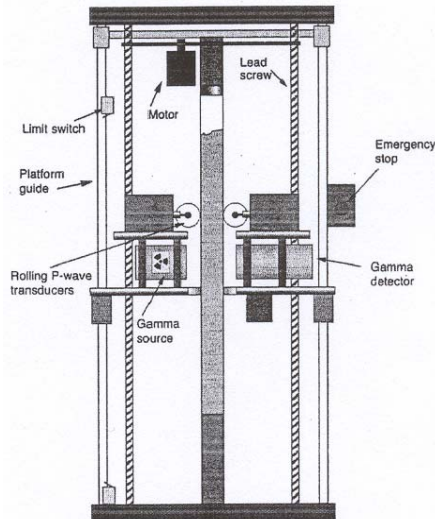
Slika 5. Profil posnet s Chirp sistemom.

Na slikah 4. in 5. so grafični prikazi prereza morskega dna posneti z Uniboom in Chirp sistemom. Na sliki 4 se vidi površina skalne podlage in površine diskontinuitet – razpok v skali; horizontalne odebeljene linije predstavljajo meje med posameznimi sloji sedimentov in so skoraj horizontalni. Diskontinuitete v odebeljenih črtah, so verjetno mesta, kjer so bile v davni preteklosti struge rek. Na sliki 5 se vidi, da signal ni dosegel skalnate podlage in je posnel samo zgornjo plast sedimentov do globine 30 m.

Iz primerjave se vidi, da je slika dobljena z Uniboom sistemom natančnejša.

Vertikalen Multi Sensor Core Logger

Aparatura Multi Sensor Core Logger (V-MSCL) z avtomatičnim core logging, je bila projektirana, da omogoči pridobiti, v čim krajšem času, serijo parametrov, kot so hitrost vala P, oblika vala, gostota sedimentov, magnetno absorpcijo, za morske sedimente, ki med preiskavo ostanejo v plašču sonde (slika 6).



Slika 6. Vertikalni Multi Sensor Core Logger.

Glavne prednosti tega instrumenta so naslednje:

- podatke o notranji sestavi sedimenta so dobljene z nedestruktivno metodo,
- podatki se dobijo v zelo kratkem času.

Konvencionalne geofizikalne metode (metoda odboja in loma) analizirajo sloj sedimentov, uporabljajoč frekvenčne intervale, z decimetrsko natančnostjo. S to inovativno aparaturo, pa se lahko v laboratoriju določijo fizikalne lastnosti sedimenta (gostota, poroznost, prepustnost, srednji premer zrn) in mikrostruktura sedimentne matrike z milimetrsko natančnostjo [3]. Dolžina vala (λ) in frekvenca (f) uporabljenega akustičnega vala sta funkciji velikosti zrn sedimenta. Ob uporabi različnih intervalov frekvence se lahko razločijo fine in bolj grobe frakcije sedimenta na osnovi različne penetracije signala.

Glede na vrsto uporabljenih senzorjev, se lahko določijo naslednji podatki: spremembo debeline sloja sedimenta, prvi prihodi vala P, amplitudo signala vala P, število oslavljenih žarkov gama, magnetno absorpcijo in temperaturo.

Na osnovi registriranih rezultatov in odgovarjajočih kalibracijskih konstant, se lahko določijo naslednji parametri: debelina sloja sedimenta v sondi, amplituda signala vala P, hitrost vala P, gostota in poroznost sedimenta in akustični upor.

Valovi P se registrirajo s parom rotirajočih akustičnih transduserjev, ki imajo interval frekvence med 50 500 kHz. Valovi P se širijo radialno skozi sondo in so registrirane v digitalni obliki.

Gostoto določamo z radioaktivnim izvorom ^{137}Cs .

Opisana aparatura je lahko v vertikalni ali horizontalni izvedbi. Rezultati prikazani in analizirani v tem članku, so bili določeni z vertikalnim Multi Sensor Core Logger (V-MSCL). Ta vertikalna izvedba instrumenta je idealna za analizo kontakta sediment – voda. Prvi prototip tega instrumenta (slika 6) je izdelal Geotek (UK) za Undersea Research Centre SACLANT-NATO v La Spezia (IT), kjer so bile tudi izvedene vse meritve prikazane v tem delu.

Instrument je sestavljen iz dveh osnovnih delov : mehanski del i elektronski del.

Mehanski del je aluminijasta konstrukcija, izdelana zelo robustno, tako, da se lahko uporablja na krovu ladje, kjer imajo mobilne laboratorije. Na tej konstrukciji so pritrjeni: podlaga – opora za sondo, transduserja in motor, ki spreminja lego transduserjev v majhnih intervalih (stepper motor). Ves ta del stoji na zelo težki plošči, ki zaščiti celotno konstrukcijo pred sunki in zmanjša vpliv vibracij ladje. Preiskujejo se lahko sonde dolge do 1500 mm in premera od 50 do 150 mm. Najmanjša razdalja med merskimi mesti je lahko 1mm. Izvor valovanja in radioaktivni izvor ^{137}Cs ter transduserja, so na pomični plošči, ki se giblje vdolž sonde. Običajna smer čitanja podatkov je od zgoraj navzdol. Plošča z

merilci tehta 100 kg in je opremljena z varnostnim sistemom, ki jo avtomatično ustavi kadar je nevarno da bi se prevrnila ali padla zaradi svoje velike teže ali če se ustavi motor.

Elektronski del ima izvor valov P, ki so vstopni valovi in osciloskop na izhodu, s katerim opazujemo obliko vala v časovnem prostoru in spekter v frekvenčnem prostoru. V tem elektronskem sklopu je tudi računalnik, ki koordinira delovanje plošče z merilci in registracijo izmerjenih količin. Tako je zagotovljen proces meritev in registracije, ki je kontinuiran in avtomatičen in ustvari bogat arhiv podatkov.

Primerna analiza podatkov nam omogoči pomembne informacije o lastnostih analizirane zemljine. Na primer, naftna industrija rabi natančne podatke o poroznosti, granulometriji in geološki zgodovini opazovanega območja; v inženirski praksi, pri velikih projektih, so pomembne karakteristike tal določene na osnovi hitrosti širjenja vala P.

DOLOČITEV PARAMETROV

Geomehanski parametri

Analiza hitrosti predstavlja zelo pomembno in občutljivo fazo pri obdelavi podatkov. Hitrost valovanja znotraj nekega materiala, je funkcija elastičnih parametrov tega materiala, medtem ko je širjenje valov, funkcija odgovora na elastično reakcijo materiala, zaradi neke zunanje sile z nizko energijo, ki je povzročila vibracijo. Analiza hitrosti valovanja je funkcija naslednjih parametrov (2).

$$v = f(\text{elast. - parametri}) = f \left(\begin{array}{l} \text{litologija} \\ \text{poroznost} \\ \text{globina} \\ \text{pritisk - diferenčif} \end{array} \right) \quad (2)$$

Ker se valovanje širi po materialu z določeno frekvenco, se elastični moduli, določeni na osnovi hitrosti širjenja valov, pogosto imenujejo dinamični moduli.

Simmons je primerjal vrednosti elastičnih modulov določenih s statičnimi metodami z moduli iz vrednotenimi iz podatkov o hitrosti [4]. Pri pritiskih večjih od 0.2-0.3 GPa je razlika zanemarljiva, pri manjših pritiskih, pa so dinamični moduli večji za približno 10%.

Če poznamo hitrosti valov P in S in gostoto materiala, lahko določimo geomehanske parametre. Z enačbo (3) je podana primerjava med statičnimi moduli (določeni v laboratoriju) in dinamičnimi moduli.

$$\left. \begin{array}{l} \text{stat.} \\ \text{moduli} \end{array} \right\} \leftrightarrow \left. \begin{array}{l} \text{dinam.} \\ \text{moduli} \end{array} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} v = \frac{v_P^2 - 2v_S^2}{2(v_P^2 - v_S^2)} \\ \mu = \rho v_S^2 \\ k = \rho \left(v_P^2 - \frac{4}{3} v_S^2 \right) \\ E = \rho v_S^2 \frac{3v_P^2 - 4v_S^2}{v_P^2 - v_S^2} \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} v_P = \left[\frac{E}{\rho} \frac{(1-v)}{(1+v)(1-2v)} \right]^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} \\ v_S = \left[\frac{E}{\rho} \frac{1}{2(1+v)} \right]^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{\mu}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} \end{array} \right. \quad (3)$$

kjer je

- v Poissonov količnik
- μ Elastični strižni modul
- K Kompresijski modul
- E Youngov modul
- ρ Gostota
- v_P Hitrost vala P
- v_S Hitrost vala S

V tekočinah, je $\mu = 0$, $v_S = 0$ in $v_P = (k/\rho)^{1/2}$.

V nadaljevanju sledi kratek opis kako in koliko nekateri parametri vplivajo na hitrost širjenja valov:

- **Litologija**

V tabeli 1 so podani karakteristični intervali hitrosti za nekatere materiale. Vrednosti, podane v tabeli so seveda samo indikativne in morajo biti vedno preverjene in sito. Vrednosti za hitrosti, ki jih določimo v laboratoriju, so lahko malo drugačne. Iz vrednosti, v tabeli podanih hitrosti, je razvidno, da imamo za isti material dokaj različne vrednosti in je določitev vrste zemljine samo na osnovi teh podatkov zelo težka. Ko pa primerjamo akustično upornost (produkt gostote in hitrosti), so kontrasti zelo vidni in karakteristični za posamezne materiale. Ne sme se pa zanemariti anizotropija materiala, ker lahko ta zelo vpliva na rezultate, to je lepo razvidno iz laboratorijskih preizkusov, kadar se meritve izvedejo v dveh različnih smereh.

Preglednica 1. Karakteristične vrednosti hitrosti v_p , v_s in gostote

Material	v_p (m/s)	v_s (m/s)	gostota (g/cm ³)
Površinska plast	300-700	100-300	1.7-2.4
Suhi pesek	400-1200	100-500	1.5-1.7
Zasičen pesek	1500-2000	400-600	1.9-2.1
Zasičena glina	1100-2500	200-800	2.0-2.4
Lapor	2000-3000	750-1500	2.1-2.6
Peščenec	2000-3500	800-1800	2.1-2.4
Apnenec	3500-6000	2000-3300	2.4-2.7
Dolomit	3500-6500	1900-3600	2.5-2.9
Granit	4500-6000	2500-3300	2.5-2.7
Voda	1450-1500	-	1
Olje	1200-1250	-	0.6-0.9

- **Poroznost**

Hitrost širjenja valov v materialu se manjša če se večja njegova gostota. Med vsemi lastnostmi, je poroznost tista karakteristika, ki najbolj vpliva na elastične module. Običajno je hitrost elastičnih valov v drobnozrnatih zemljinah večja od hitrosti v grobozrnatih. Poleg poroznosti, ima na hitrost velik vpliv tudi stopnja zasičenosti in vrsta porne tekočine (voda, olje, plin).

- **Globina in diferenčni pritiski**

Praviloma hitrost narašča z naraščanjem globine, vendar niso redki primeri, ko je v določenih plasteh hitrost manjša, čeprav leže te plasti globlje. Teoretične in eksperimentalne študije sp pokazale, da je hitrost širjenja valov proporcionalna diferenčnim pritiskom (razlika med geostatičnim pritiskom in pornim pritiskom).

Akustični parametri

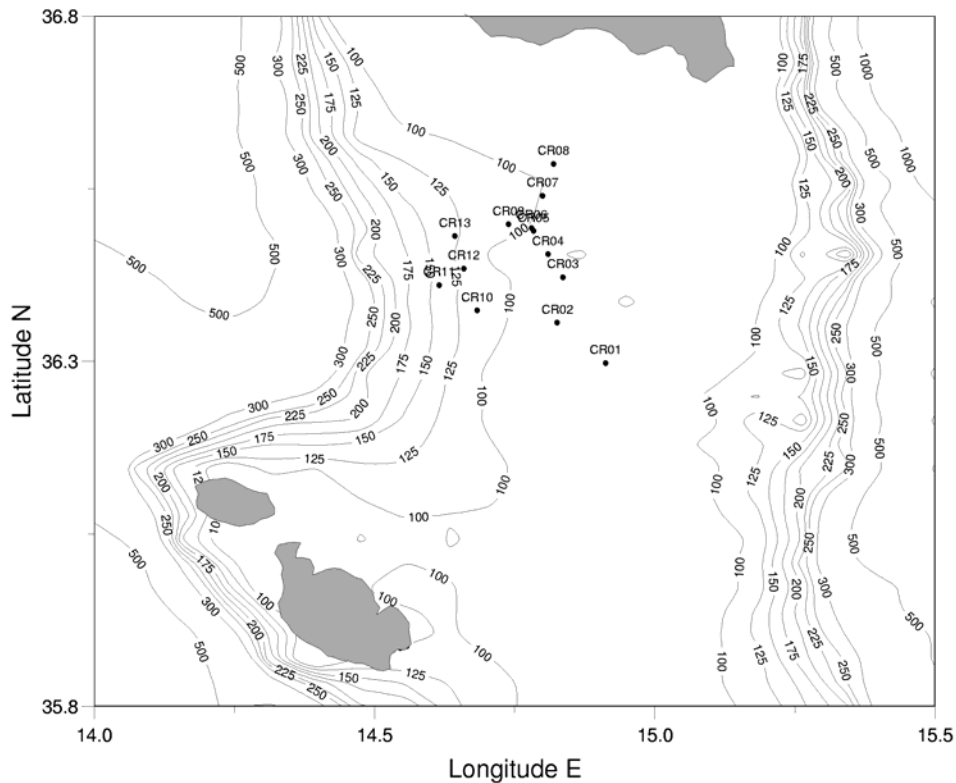
Matematične in fizikalne osnove širjenja elastičnega vala je poda Biot [1, 2]. Dušenje in hitrost širjenja elastičnega vala so odvisne od frekvence kar je posebno pomembno. Velikost zrn in poroznost lahko vplivajo na dušenje. Dušenje je sorazmerno velikosti zrn in obratno sorazmerno z poroznostjo. Močno dušenje je značilno za grobozrnate zemljine z nizko poroznostjo. Različnost preiskovanih vzorcev je pokazala različen vpliv litologije na obliko vala akustičnega signala. Primerjava med količnikom dušenja, določenim z akustičnimi meritvami, in krivuljami dobljenimi z modelom Biota, kaže, da je mehanizem glavnega dušenja globalni viskozni tok porne vode. Uporabljena frekvenca je sorazmerna poroznosti in na krivuljah teoretičnega dušenja prikaže prehod odvisnosti koeficienta dušenja od f^2 na \sqrt{f} [3]. Torej za večino merjenih koeficientov dušenja se uporabi pravilo frekvence sorazmerno f^n , in n je med 0.5 in 1.5.

Pri peskih je učinek dušenja maksimalen, kar pa ni skladno z modelom Biota.

PRIMER UPORABE MERITEV

V Malteškem kanalu, so julija 2003, v okviru raziskovalnega projekta BOUNDARY 2003, izvedli 13 vrtin do povprečne globine 150m. Lega posameznih vrtin je prikazana na sliki 7. Sonde teh vrtin so v Undersea Research Centre SACLANT-NATO preiskali z instrumentom V-MSCL.

Vrtine-sonde so bile odvzete in shranjene tako, da se je ohranil kontakt sedimenta z morskovo vodo. Plašč sonde je standardiziran in ima zunanji premer 110 mm in notranji premer 104 mm ter maksimalno dolžino 1200 mm.



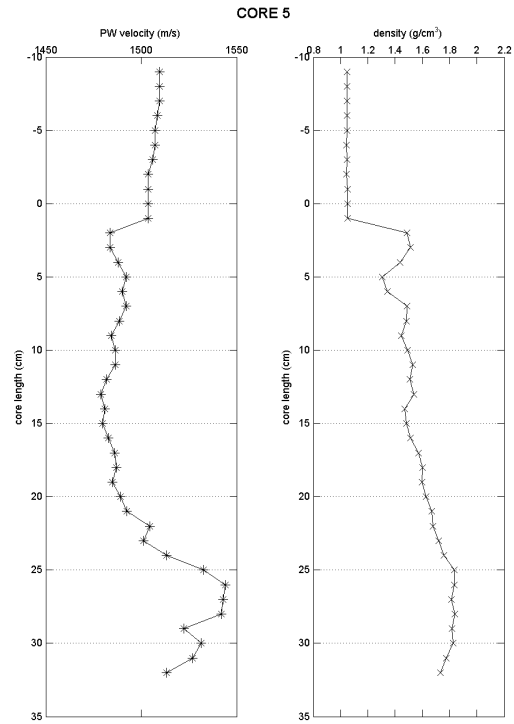
Slika 7. Malteški kanal, lega vrtin.

Na sliki 7 so vrisane izolinije morskih globin v Malteškem kanalu tudi določene z eno izmed geoseizmičnih metod (bathymetry) z natančnostjo 5' sredozemskega morja. Od vseh preiskanih in analiziranih vrtin, so v članku podani samo rezultati vrtine 5, ki je najbolj karakteristična.

Na sliki 8 je sonda vrtine 5, kjer se lahko vidi tudi prehod sediment-morska voda. Diagram hitrosti vala P in gostote vzdolž vrtine je prikazan na sliki 9. Razdalja med merskimi točkami je 10 mm. Hitrost je bila določena na osnovi prve zaznave vala, gostota pa z radioaktivnim izvorom.

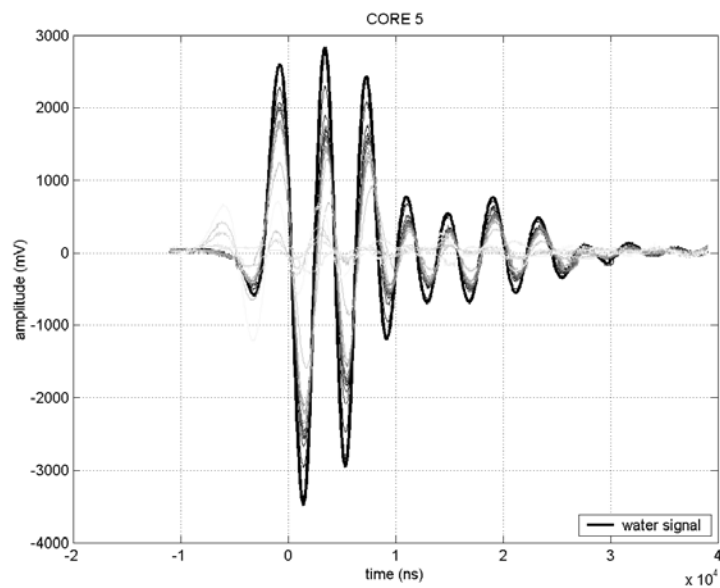


Slika 8. Sonda 5.



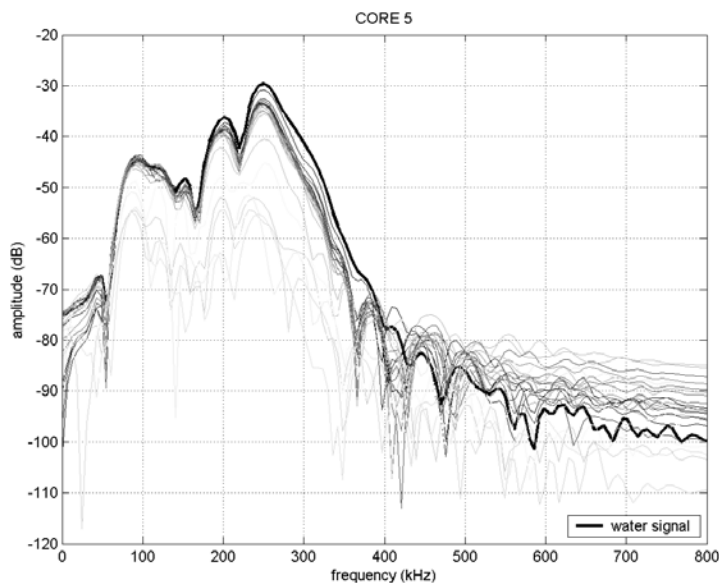
Slika 9. Hitrost in gostota.

Potek oblike vala vzdolž sonde 5, merjene vsakih 10 mm, je prikazan na sliki 10. Signal vode, ki ima največjo amplitudo tvori ovojnico vsem ostalim signalom.



Slika 10. Oblike valov v časovnem prostoru.

Rezultati analiz v frekvenčnem prostoru so prikazani na sliki 11.



Slika 11. Spektri v frekvenčnem prostoru.

Ta metoda, pri kateri sta hitrost kompresijskega vala in koeficient dušenja funkciji poroznosti, gostote in srednje velikosti zrn, omogoča določitev parametrov za klasifikacijo sedimentov. Za določitev litologije je dominanten koeficient dušenja. Po teoriji Biot, sta hitrost kompresijskega vala in koeficient dušenja značilna parametra za volumen por v sedimentu. Sprememba volumna por je povezana s spremembo razporeditve dimenzij zrn. Oba akustična parametra (hitrost kompresijskega vala in koeficient dušenja) sta bistvena za določitev srednje velikosti zrn.

Za nadaljnji razvoj je potrebno razviti statistične analize, določiti model za klasifikacijo sedimentov in uporabljati frekvence večje od 500 kHz zavedajoč se, da se s tem zelo oslabi signal.

LITERATURA

- (1) Biot, M.A. (1956a). Theory of propagation of elastic waves in a fluid-saturated porous solid, I, Low frequency range. *J. Acoust. Soc. Am.*, 28, 168-178.
- (2) Biot, M.A. (1956b). Theory of propagation of elastic waves in a fluid-saturated porous solid, II, Higher frequency range. *J. Acoust. Soc. Am.*, 28, 179-191.
- (3) Breitzke M., Grobe H., Kuhn G., Muller P. (1996). Full waveform ultrasonic transmission seismograms: a fast new method for the determination of physical and sedimentological parameter of marine sediment cores. *J. Geophysical Research*, 101/B10, 22123-22141.
- (4) Simmons, G. (1964). Velocity of compressional waves in various minerals. *Geoph. Res.*, 69.