



Ytvågsseismik - metodblad

Ytvågsseismik är en av de yngsta geofysiska metoderna som idag används. De första mätningarna enligt de principer som nu används gjordes under 1950-talet (Van der Poel, 1951). Praktiskt användbar har metoden varit sedan mitten av 1980-talet (Stokoe II et al, 1994), och kommersiellt gångbar sedan mitten av 1990-talet (Park et al, 1999).

Metodbeskrivning

Då en seismisk våg alstras på markytan, t ex genom ett släggslag eller en sprängladdning, utbreder sig ett flertal olika vågor genom jord/bergvolymen – kompressionsvågor, skjuvvågor och ytvågor. Kompressionsvågen är snabbast och benämns därför ofta P-våg (Primary). Den innehåller ca 6 % av den energi som alstras. Skjuvvågen är långsammare och brukar kallas S-våg (Secondary), och innehåller ungefär lika mycket energi som P-vågen. Den tredje vågtypen är Ytvågen och innehåller betydligt mer energi – ca 2/3 av den alstrade energin – än de övriga vågtyperna. Ytvågen benämns ofta Rayleigh-vågen, efter dess "upptäckare". Ytvågen skiljer sig i övrigt från P- och S-vågorna genom

att dess utbredning är dispersiv, om jord- eller bergmassan består av olika lager, se Figur 1. Ytvågor är vad som i vissa seismiska sammanhang (främst reflektionsseismik) kallas för ground roll.

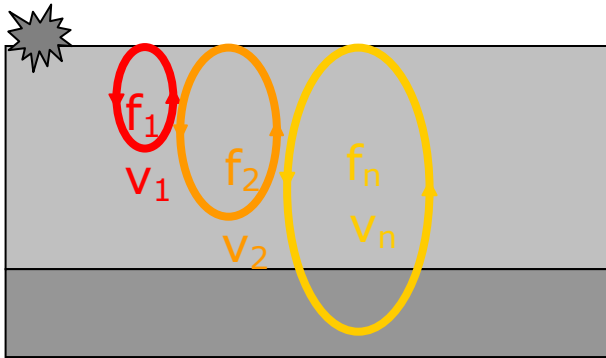
Syftet med metodblad för de geofysiska metoderna och tillämpningar är att skapa ett hjälpmedel som ger en översiktlig bild av metoderna och deras tillämpning samt ge exempel på redovisning. Beställare av geofysiska undersökningar har ofta att välja mellan olika metoder och varianter på deras tillämpning för samma uppdrag vilket kan göra metodoalet svårt.

Svenska Geotekniska Föreningen

Fältkommittén i samarbete med Mats Svensson.

Kontaktperson

Agne Gunnarsson, agne.gunnarsson@v.se



Figur 1 Ytvågor och dispersion.

Dispersion innebär att vågens olika frekvenser utbreder sig med olika hastighet. Det innebär också att olika frekvenser penetrerar olika stora volymer av undergrunden, enligt principen att låga frekvenser (lång våglängd) når större djup än högre frekvenser (kort våglängd). Det innebär att förutsättningarna för att uppnå en högre upplösning än med traditionella seismiska tekniker är goda. Vågtypens höga energiinnehåll medför att relativt enkla energikällor kan användas, samt att metoden är mindre störningskänslig än traditionella seismiska tekniker.

Utförande

Kapaciteten beror av områdets tillgänglighet och terrängens beskaffenhet. En avgörande faktor är också närheten till och styrkan på yttre störningar som t ex trafikvibrationer. Med geofonerna placerade i marken, öppen terräng, inga yttre störningar, och 25-50 m flytt mellan skott/slag-punkterna är kapaciteten ca 20-30 punkter per fältdag.

Ytvågens signalstyrka medger vid tillräckligt plan markyta och låg växtlighet – väg, grus- och gräsyta o dyl, - att geofonerna med tillräckligt god signalkvalité kan monteras på stålplattor, en sk landstreamer, som kan bogseras av ett fordon, se Figur 4. Kapaciteten kan då ökas till 50-100 punkter per fältdag.

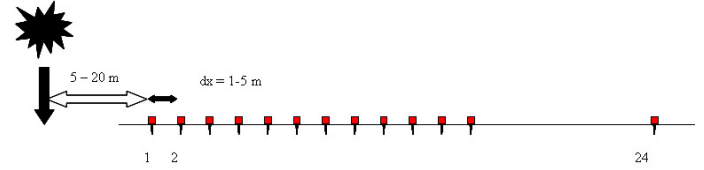
Vid ytvågsseismiska mätningar används traditionell seismisk utrustning, som t ex normalt används för refraktionsseismik. En seismograf med minst 12 kanaler digital datainsamling, geofonkabel, samt minst 12 geofoner, är nödvändigt. Geofonerna bör ha låg resonansfrekvens, ca 4-5 Hz är lämpligt.



Figur 4 Geofonerna monterade på stålplattor, sk landstreamer, dragen av mc. Till höger detalj på geofon på stålplatta.

Som energikälla används av praktiska skäl normalt slägga, men ytvågor alstras med de flesta energikällor, varför även sprängladdning, shotgun eller vibrationskällor kan användas. Även passiva energikällor som t ex vibrationer från trafik används.

Vid mätning används normalt ett slag/skott-punkt per uppställning, se Figur 1b nedan.



Figur 1b Fältuppställning vid ytvågsseismisk mätning.

Utvärdering

Utvärderingen görs i flera steg, se Figur 2. De tre stegen är:

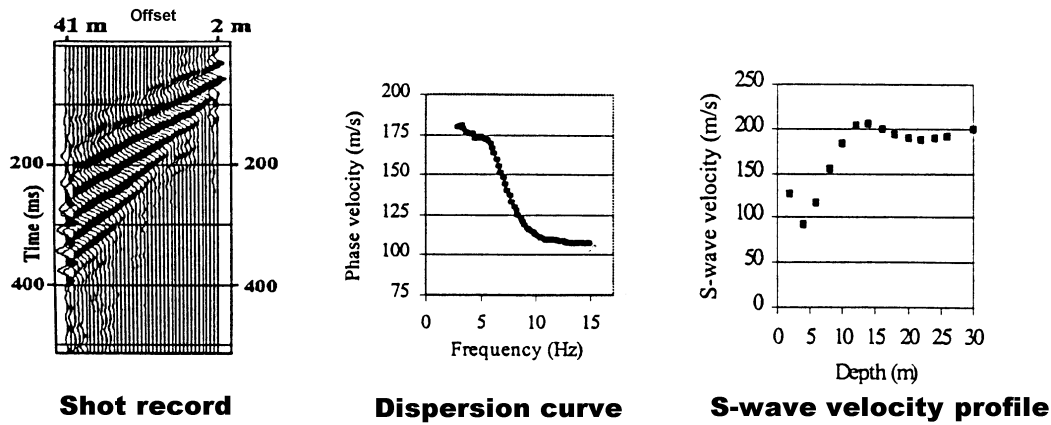
1. Insamling av shot record
2. Framtagning av dispersionskurva ($v_R - f$ -plot)
3. Överföring av $v_R - f$ -plot till $v_S - \text{djup}$.

Steg 3 kan göras på två principiellt olika sätt - manuellt eller med någon form av modellering. Överslagsmässigt (manuellt) kan den i steg 2 erhållna dispersionskurvan, ytvågens hastighet fördelad mot frekvens, överföras till skjuvvågshastighet och verkligt djup med sambanden $v_S = v_R / 0.92^*$ och $\text{djup} = \lambda / 2$; $\lambda = \text{våglängd} = v / f$.

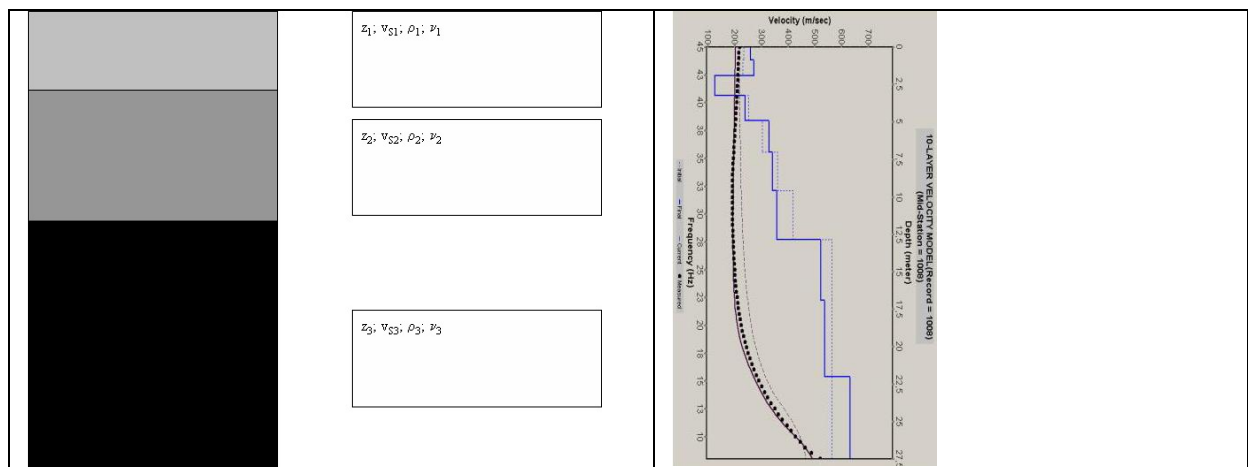
En mer avancerad form av utvärdering (överföring av dispersionskurvan till verkligt djup) kan göras med sk inversmodellering. Det innebär att man antar att jordprofilen består av ett visst antal lager (normalt är 3-5 lager praktiskt användbart) med vissa egenskaper – tjocklek, v_S , densitet, Poisson's tal, se Figur 3. En teoretisk dispersionskurva för denna lagerföljd beräknas. Denna teoretiska dispersionskurva jämförs med den dispersionskurva som har uppmätts i fält. Om överensstämmelsen inte är tillräckligt bra förändras någon av egenskaperna i lagerföljden och en ny teoretisk dispersionskurva beräknas. Denna procedur itereras till dess att överensstämmelsen mellan de två dispersionskurvorna är tillräckligt bra. De egenskaper som lagerföljden då har kan antas vara de mest sannolika.

*) Förhållandet mellan v_S / v_R är beroende av Poisson's tal, men är normalt 0.89-0.94. 0.92 är ett praktiskt användbart värde för t ex en översiktlig utvärdering i fält.





Figur 2 Utvärderingssteg vid ytvågsseismik. 1. I fält erhålls ett sk shot record, dvs en tid-avståndsplo. 2. Ytvågens hastighet för olika frekvenser. 3. Skjuvvågens hastighet fördelat mot det verkliga djupet.



Figur 3 Principen för inversmodellering.

Tillämpningsområden

Liksom för övriga geofysiska metoder återspeglar de ytvågsseismiska resultaten egenskaperna i hela den volym som har penetrerats av vågorna. Metoden bör därför i huvudsak ses som ett komplement till traditionella geotekniska sonderings- och provtagningsmetoder. Metoden bör i traditionell mening användas i ett tidigt skede. Senare i projekt eller i projekt av speciell karaktär kan dess ickeförstörande karaktär vara mycket användbar.

Jordlagergränser och mekaniska egenskaper

Utöver traditionell möjlighet till bestämning av jordlagergränser möjliggör den utvärderade parametern skjuvvågshastigheten en direkt koppling till de undersökta materialens mekaniska egenskaper, främst skjuvmodulen ($G_{max} = \rho \cdot v_s^2$). Därmed utgör den ytvågsseismiska tekniken en direkt länk mellan geofysik och geoteknik. Jämförelser kan göras med mer detaljerade metoder som t ex moduler utvärderade från CPT. För vissa jordar finns samband mellan G_{max} och τ_{fu} framtagna.

Profilerande mätning

Vid de tillfällen som det är möjligt att använda sk landstreamer och slägga som energikälla, är profilerande mätningar, dvs mätningar med kort avstånd mellan slagpunkterna (5-10 m), en mycket användbar teknik för att snabbt bedöma de laterala variationerna längs en sträcka, se Figur 5. Möjligheten att

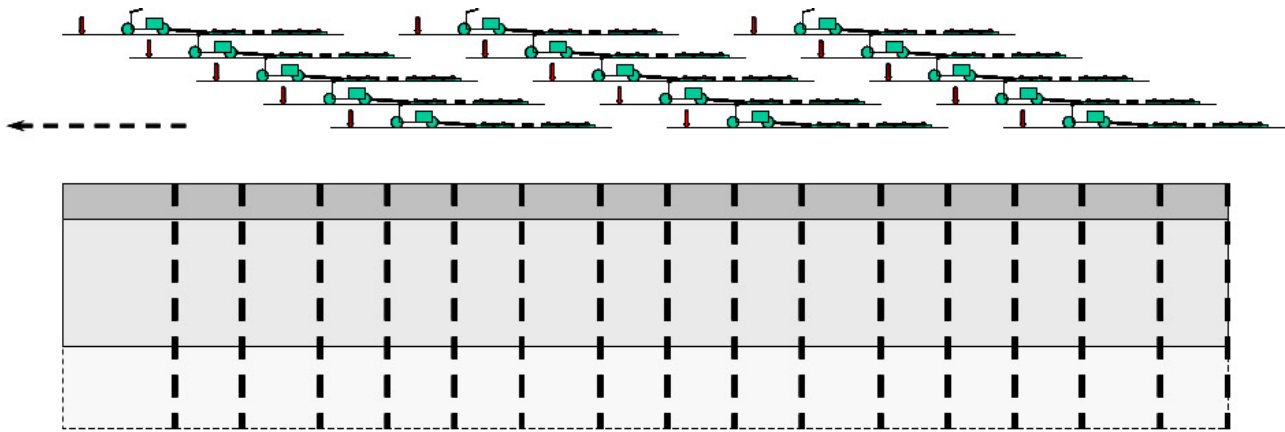
automatisera utvärderingsrutinerna gör metoden tids-kostnadseffektiv.

Kontrollmetod

Skjuvvågens koppling till de mekaniska egenskaperna, t ex skjuvmodul och skjuvhållfasthet, gör metoden användbar för kontroll av t ex stabiliserade jordvolymmer.

Kvalitet

Den djupnerträngning som kan uppnås är beroende av de geologiska och geotekniska förutsättningarna, vilken energikälla som används, och hur geofonuppställningen görs i fält. I naturlig medelfast jord är normal djupnerträngning med slägga som energikälla 10-15 m. Stor betydelse förefaller fastheten i markytan ha. Med en fast överyta genereras en bra signal, vilket förbättrar djupnerträngningen. Med shotgun och 5 m geofonavstånd har egenskaper till djupet ca 25 m utvärderats med tillräcklig säkerhet.



Figur 5 Profilerande mätning med ytvågsseismik.

En svårighet är att mäta egenskaperna i de allra yttligaste jordlagren. Med geofoner och de ovan nämnda energikällorna kan inte tillräckligt höga frekvenser genereras eller mätas, varför egenskaperna till djupet 0,5-1,0 m ofta är svårbestämt. För att kunna mäta upp egenskaperna i denna del bör accelerometrar användas.

En allmän tumregel är att lager med tillräckligt stora förändringar jämfört med omkringliggande lager måste ha en mäktighet av 1/5 av mätdjupet för att kunna detekteras.

Mätnoggrannhet

För att med kunna särskilja ett lager med avvikande hastighet (>20%) från omgivande lager måste det aktuella lagret ha en mäktighet som är >10-20 % av det aktuella djupet. Avståndet mellan geofonerna och det aktuella frekvensinnehållet i signalen bestämmer detekterbart djup och upplösning. Grundvatten har försumbar inverkan på mätningarna.

Handhavande

Det är viktigt att avstånd inbördes mellan geofoner och mellan geofoner och skottpunkter mäts noggrant, cm-noggrannhet eftersträvas vid c/c-avstånd > 1 m och +/- 5 cm vid c/c-avstånd > 2 m. Avvägning och inmätning är mycket viktig för samtolkning med andra geotekniska data.

Kalibrering

Seismograf och geofoner kalibreras enligt respektive tillverkarens rekommendationer. Någon standard eller generell rekommendation förekommer ej. Kalibrering utförs av tillverkare.

Dokumentation och redovisning

Det förekommer i dagsläget ingen standardiserad form för redovisning av utvärderade data. För enstaka punkter redovisas varje mätpunkt som enstaka sonderingar med lagerföljd enl Figur 3 (höger). Profilerande mätningar redovisas normalt uppritade med program av typ Surfer.

För tolkning är uppritning av ytvågsseismiska data i samma skala som geotekniska data, ofta Höjd 1:100, Längd 1:1000, en rekommendation. I väntan på en standard är det lämpligt att lägga in de ytvågsseismiska sonderingarna eller profilerna som bilder, i t ex jpg- eller png-format, i AutoCAD-redovisningarna av geoteknikdata. Både gråskala och färgskala bör användas med linjär fördelning.

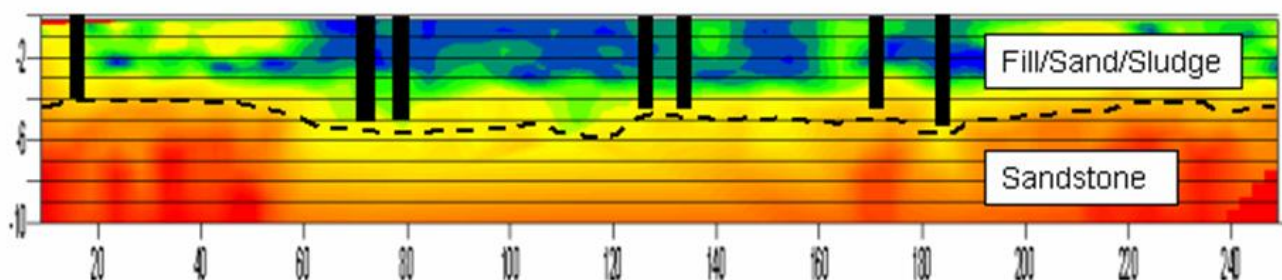
Då både geotekniska data och ytvågsseismiska data förekommer inom samma område bör de i t ex en RGeo redovisas tillsammans för att till fullo utnyttja den samtolkningspotential som det medför.

Litteratur och referenser

Van der Poel, C., 1951, Dynamic testing of road constructions, Journal of applied chemistry, 1, 281-290

Stokoe II, K. H., Wright, S. G., Bay, J. A. and Roesset, J. M., 1994, Characterization of geotechnical sites by SASW method: in Geophysical characterization of sites, ISSMFE Technical committee #10, edited by R. D. Woods, Oxford Publishers, New Dehli

Park, C. B., Miller, R. D., and Xia, J., 1999, Multichannel analysis of surface waves, Geophysics, 64, 800-808



Redovisning av profilerande ytvågsseismisk mätning med landstreamer och slägga som energikälla, tillsammans med sonderingsdjup till sedimentärt berg. Exempel från Helsingborgs hamn.