



## Seismik - metodblad

I Sverige har användningen koncentrerats till att bestämma djup till fast berg, identifiera svaghets och krosszoner i bergmaterialet samt att bestämma jordlagrens sammansättning och grundvattenytans läge.

### Metodbeskrivning

Den refraktionsseismiska mätmetoden introducerades på 1920-talet och uppstod ur resultaten från försök att med gångtidmätning lokalisera saltdomer och spricksystem i jakten på olja.

Den fortsatta utvecklingen av metoden har styrts av vilken information man önskat få och vilka geologiska förutsättningar som funnits på den aktuella platsen.

Metoden bygger på att en skapad energipuls rör sig med olika hastigheter i olika material. Hastigheten beror av materialets elastiska egenskaper och dess densitet och karakteriserar alltså ett material utifrån dessa parametrar. Som tur är utgör skillnader i dessa egenskaper ofta även skillnader i materialets praktiska egenskaper såsom de definieras i geologiska och geotekniska termer.

Genom bestämning av materialets gånghastighet går det att skilja mellan t.ex. sand, lera, morän och berg.

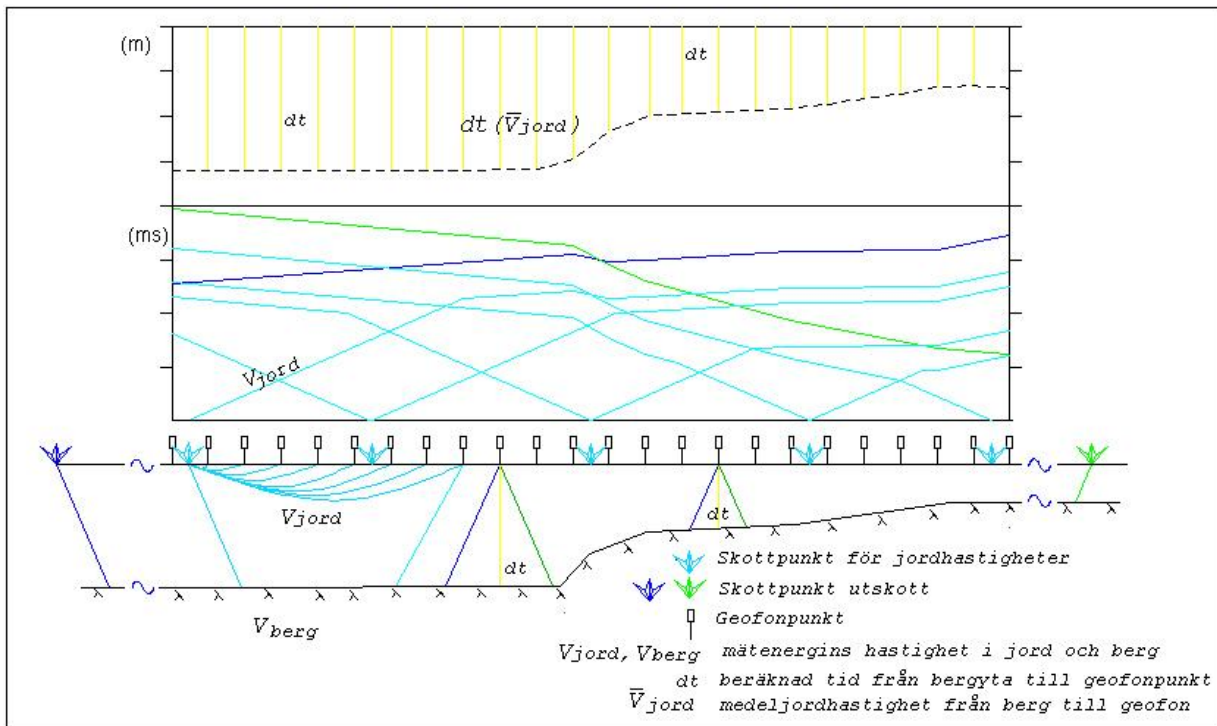
Syftet med metodblad för de geofysiska metoderna och tillämpningar är att skapa ett hjälpmedel som ger en översiktlig bild av metoderna och deras tillämpning samt ge exempel på redovisning. Beställare av geofysiska undersökningar har ofta att välja mellan olika metoder och varianter på deras tillämpning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

### Svenska Geotekniska Föreningen

Fältkommittén i samarbete med Björn Toresson.

Kontaktperson

Aqne Gunnarsson, [aqne.gunnarsson@vv.se](mailto:aqne.gunnarsson@vv.se)



Figur 1. Principskiss vågutbredning (refraktionsseismik) och tolkning.

## Utrustning

Vid refraktionsseismiska mätningar registreras hur en alstrad mätpuls utbreder sig i marken. Mätpuls kan skapas genom slag med slägga, fallande vikter, eller vilket är överlägset bäst vid normal mätning, genom små sprängladdningar, som placeras i hål i marken.

Energivågans utbredning registreras av sensorer, geofoner, som placeras utefter en rät linje på markytan. Geofonerna består av induktionsgivare, inneslutna i ett kraftigt hölje försett med ett kort spett som möjliggör god förankring till marken. Geofoner, avsedda för refraktionsseismik, är konstruerade för att registrera energivågans vertikalkomponent.

Varje geofon ansluts till en geofonkabel med specialanpassade anslutningar och med ett separat kabelpar per geofon. Geofonkabeln kopplas till en mät dator där signalen från varje geofon digitaliseras, och sparas på en intern hårddisk. Tack vare utvecklingen på elektronik och datorsidan har man idag möjlighet att tillgodogöra sig betydligt mer information om jord och bergmaterials mekaniska egenskaper. Vid refraktionsseismisk mätning med omfångsrika A-D omvandlare (>20 bitar) kan t ex ytvågor, skjuvvågor och amplitud och frekvensfördelning ge ytterligare information vid beskrivning av materialets egenskaper.



Figur 2. Hjulgående fordon med mätutrustning.

## Mätning

Det praktiska mätförandet i fält inleds med att geofoner placeras utefter aktuell mätlinje, avståndet mellan geofonerna bestäms främst av det aktuella jorddjupet. Vid jorddjup på mindre än 20 meter är det vanligast med geofonavstånd på runt 5 m. Vid ökande jorddjup får geofonavståndet ökas för att erhålla optimal mätgeometri. Vid mycket stora djup (70-100m) och därmed långa geofonavstånd är det ofta nödvändigt att kompletteringsmäta, med korta geofonavstånd, för att få tillräcklig information om hastighetsfördelningen i jordmaterialets övre delar. Geofonavståndet måste också anpassas till eventuella hinder i terrängen och varierar därför ofta även inom samma mätutlägg.



Figur 3. Mätutlägg med geofoner och geofonkabe på asfaltva.

Efter det att geofonerna är utplacerade och anslutna till geofonkabeln placeras signalskottens laddningar ut. Vanligtvis används sprängmedel, typ dynamex, med mindre mängd än 30 g per skott, dessa detoneras med elektriska säkerhetsändare av VA-typ med en inbyggd tidsfördröjning för undvikande av störningar från den elektriska tändpuls.



Figur 4. Mätning på vintern med mätutlägg med geofoner och geofonkabe på is.

Antalet skott beror på mätområdets egenskaper, men principen är att två "utskott" placeras i mätlinjens förlängning, ett åt varje håll. Utskotten placeras så långt ut att en sammanhängande bergvåg kan registreras utefter hela mätlinjen dvs att varje geofon registrerar energipuls som gått i bergmaterialet från båda håll.

För att bestämma den vertikala hastighetsfördelningen i jordmaterialet, ned till berget, skjuter man även skott inne i utlägget. Eftersom det oftast finns hastighetsvariationer utefter mätlinjen skjuter man flera skott, oftast 5-6 stycken för varje mätutlägg.

Med det kombinerade resultatet från de två utskotten kan berghastigheter bestämmas, dessutom kan tiden för pulsen att gå från bergytan upp till varje geofon beräknas. Genom att använda hastighetsanalysen från skotten inne i utlägget kan denna tid omräknas till djup utefter utlägget. (figur 1)

Mätkapaciteten i fält ligger på 500-1000 m/dag beroende mest på praktiska omständigheter som framkomlighet.

Vid mätning i stadsmiljö och vid sjömätning blir produktionsstakten något lägre, med ett högre meterpris som följd.

## Tillämpningsområden

### Användning

Refraktionsseismiska mätningar har lång tradition i Sverige. De har använts som hjälpmedel för bestämning av bergläge och bergkvalité, främst vid väg, järnvägs, tunnel och dammprojektering. Metoden har sin självklara fördel när förutsättningarna för konventionell sondering är begränsade på grund av svår terräng och stora block. Men genom att ge en mer sammanhängande bild av berg och jord är metoden ett ekonomiskt alternativ för att optimera konventionella borrhinsatser till avsnitt där de är byggtkniskt mest motiverade, även vid alla typer av markförhållanden.

Pga av metodens relativa snabbhet och att man alltid når ner till berget är metoden också lämplig att använda i ett tidigt utredningsskede när man fortfarande har fler alternativa sträckningar. Mätningarna kan då göras översiktligare och sedan kompletteras vid behov.

Vid Hydrogeologiska och miljö tillämpningar används refraktionsseismik för att följa grundvattenytans läge, lokalisera eventuella vattenförande kross- eller sprickzoner i berget, bestämma hydrologiska gradienter utifrån bergytans höjdförhållanden och hitta eventuella vattendelare.

### Begränsningar

Vid bestämning av bergytans läge använder man den beräknade medelhastigheten för den vertikala jordprofilen. Svårigheter vid hastighetsanalysen som medför felaktig medelhastighet ger alltså motsvarande fel i djupbestämningen.

Korrekt hastighetsbestämning bygger på att man har en med djupet konstant eller ökande hastighetsfördelning. Detta är också en, för metoden, lycklig omständighet i många geologiska miljöer, inte minst i Sverige. Trots inlandsisars härjningar på jord och bergmaterial är den naturliga lagerföljden sådan att det oftast finns förutsättning för goda resultat vid seismiska undersökningar. Undantag är t ex lerlager i eller överlagrande friktionsmaterial. Underliggande lager med högre hastighet men med så begränsad tjocklek att de inte registreras kan utgöra en felkälla vid djupbestämning. Den högre hastigheten i tjälad mark har också en skärmande effekt och gör resultatet osäkrare vad gäller bestämning av jordmaterialets sammansättning och mäktighet.

### Kvalitet

Det redovisade resultatet från en refraktionsseismik underökning har en statistisk felmarginal på mindre än 10 %. Vid grunda djup kan svårigheter att bestämma korrekt medelhastighet för de övre jordlagren påverka resultatet så att felmarginalen nedtill 5 meters jorddjup kan öka till 1 m. Speciellt vid mätningar på asfalt, vid tjäle eller vid nära liggande betongkonstruktioner är det viktigt att få extra information från borrar.

Det är i detta sammanhang viktigt att ansvarig mätledare är väl införstådd med mätteori och tolkningsmetodik så att han kan optimera mätförfarandet utefter rådande förutsättningar. Dessutom är det viktigt att genom hela projektet identifiera felkällor och eventuella tvetydigheter för att sätta in lämpliga kalibreringsåtgärder.

### Dokumentation och redovisning

Resultatet av refraktionsseismisk underökning redovisas oftast som profilritning med 5-10 gångers överförhöjd höjdskala. Profilritningen visar markyta, bergyta, ev. jordlagergränser, grundvattenyta och uppmätta gånghastigheter.

Dessutom redovisas allt oftare resultaten i en databas. T ex pxy-fil eller StenoGRAF-fil för import till aktuellt behandlingsprogram. I databasen anges koordinater för markyta, bergyta, identifierade jordlager och uppmätta gånghastigheter.

En fördel med redovisning i databas är att databasen är en god grund för dokumentation och arkivering, denna bör då kompletteras med uppgifter om koordinatsystem, metod och noggrannhet för inmätning. För att möjliggöra full bakåtkompabilitet måste den utförande konsulten dessutom i sin arkivering och dokumentation innefatta rådata och alla delsteg i tolkningsarbetet. Normalt sker en preliminärredovisning i nära anslutning till mätningarnas utförande.

I denna ingår inte kalibreringsinformation och denna utgör det fristående resultatet från den seismiska mätningen. Därefter bör i samarbete med beställarens projektörer en plan för kalibreringsboring utarbetas. Resultaten av borrhinformationen jämförs med de redovisade preliminärresultaten, orsaker till eventuella avvikelser utreds, och om avvikelserna medför underlag till en omtolkning sker detta.

För att möjliggöra utvärdering och utveckling av metoden är det dock viktigt att den ursprungliga tolkningen som skedde utan tillgång till kalibreringsinformation finns bevarad och hålls tillgänglig tillsammans med eventuell felanalys.

Den seismiska rapporten sk RGeo bör innehålla:

- Full dokumentation över mätningarnas genomförande, omfattande uppgifter om instrumentering, mätgeometrier, ansvarig personal.
- Yttre faktorer som påverkat mätningarna redovisas t ex förekomst av tjäle.

- Sammanställning över alla datafiler och redovisade resultat före och efter kalibreringsåtgärder.
- Redogörelse för eventuella avvikelser i resultat eller mätomfattning.
- Förslag till eventuella kompletteringar.

I den grafiska redovisningen redovisas även geotekniska fältundersökningar tillsammans med de tolkade undersökningsresultaten.

### Litteratur och Referenser

*Grant & West, Interpretation theory in applied Geophysics, McGraw-Hill 1965.*

*Parasnis DS. Principles of applied geophysics, Chapman and Hall 1997*

*Sjögren B, Shallow refraction seismics Capman and Hall 1984*

## REFRAKTIONSSEISMISK MÄTLINJE KM 1/700 - 4/900 CL (MED KONTROLLBORRNINGAR)

