GEOFYSIK 3 (5)

Seismik – SÅ FUNKAR DET
Refraktionsseismik

Roger Wisén

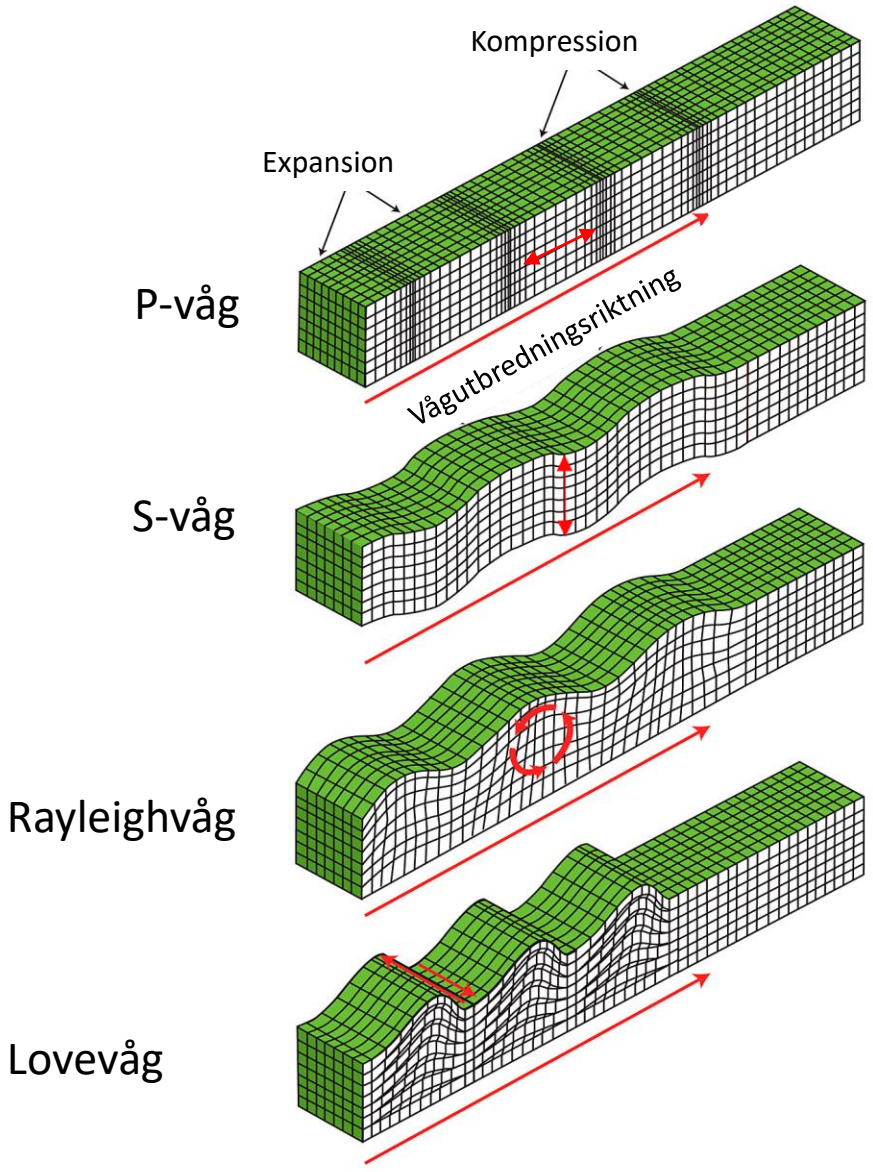
11 februari kl 10

Geofysik – serie i 5 delar

Detta är geofysik	14 jan kl 10
Markradar och Resistivitet (DCIP) – så funkar det	28 jan kl 10
Seismik – så funkar det	**11 feb kl 10**
Riskreducering baserad på geofysiska undersökningar	25 feb kl 10
Samtolkning och framtagning av 3D-modell	24 mar kl 10

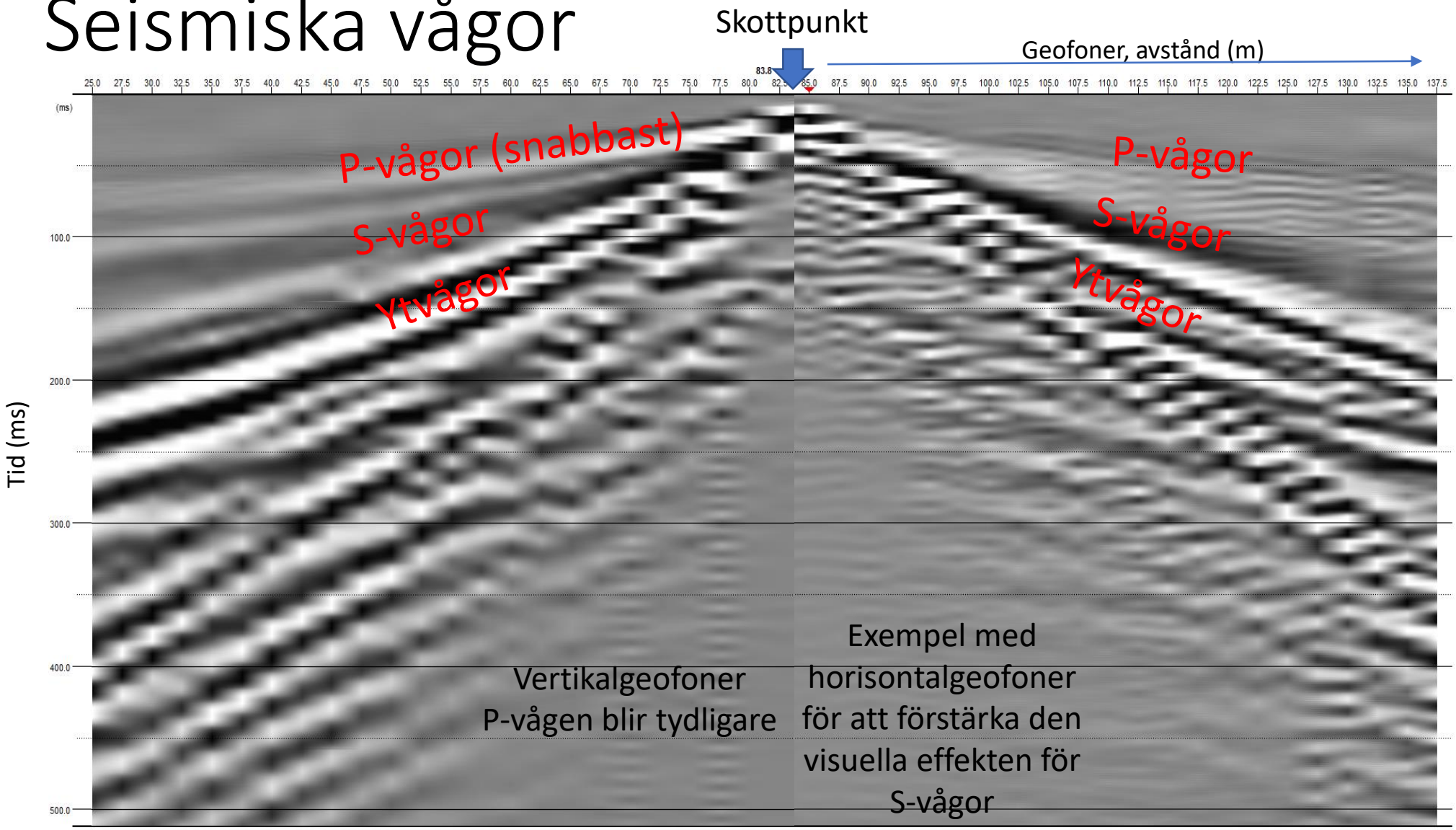
Seismiska vågor

- Volymvågor
  - P-våg/Primär våg/Kompressionsvåg
  - S-våg/Sekundär våg/Skjuvvåg
- Ytvågor
  - Rayleighvåg
  - Lovevåg
  - …



Baserad på
Shaw, Rod; McMahon, Glenda; Davey, Kay (2018): Types of seismic waves. figshare. Figure. https://doi.org/10.17028/rd.lboro.7309127.v1
https://doi.org/10.17028/rd.lboro.7309127.v1

Seismiska vågor



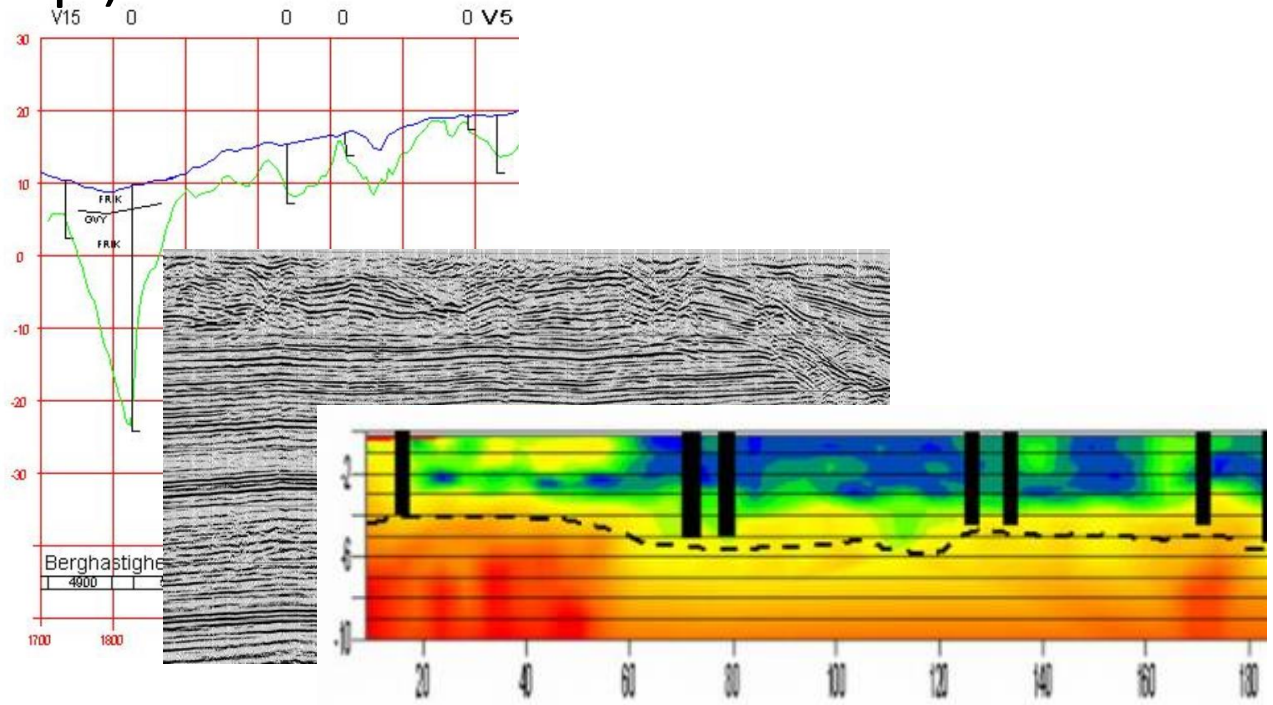
Seismiska hastigheter i material

Material	P-vågs hastighet (m/s)	S-vågs hastighet (m/s)
Luft, temperaturberoende	310-360	-
Vatten, temperatur/densitet (salinitet)-beroende Färskvatten	1430-1590 1480	-
Jordlager, ovanför grundvattenytan	300-1200	100-500
Vattenmättad sand	1200-2000	400-600
Lera under grundvattenytan	1100-2500	200-800
Morän under grundvattenytan	1500-2700	900-1300
Sandsten	1500-6000	800-4000
Kalksten (skåne)	2400-3400	1100-1500
Is	3400-3800	1700-1900
Granit	4000-5700	2500-3300
Metamorfa bergarter	4500-6800	2700-3600

- Typiska värden från en enkel sammanställning av några tillgängliga referenser
- Variationen beror på vad materialen varit utsatta för
  - Sprickighet och vittring påverkar bergmaterial mycket
    - Granit kan t ex ha hastigheter ner mot 2500m/s om den är sprickrik
  - Konsolideringsgrad påverkar jordmaterial

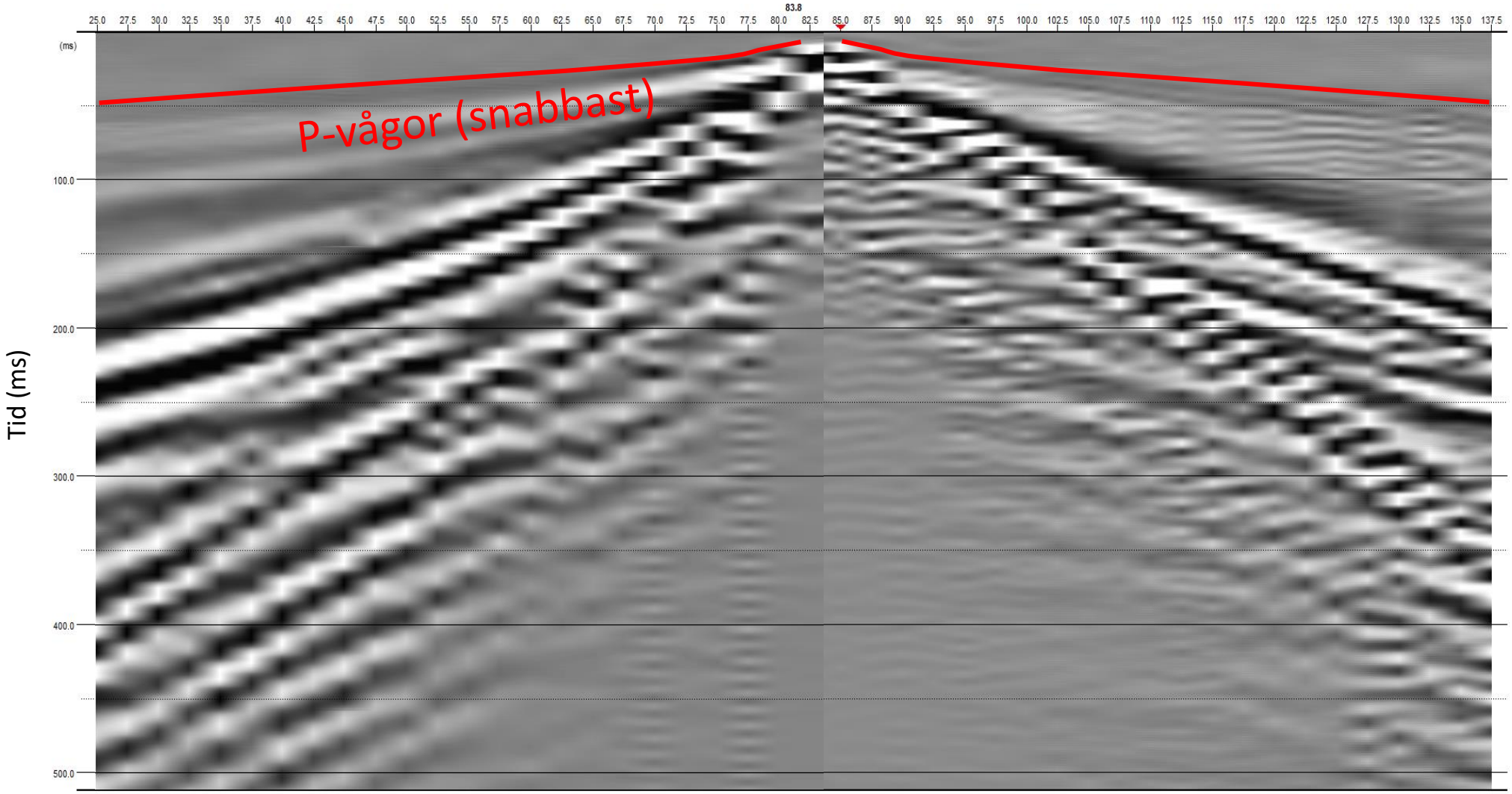
Typer av seismik för ytnära undersökningar (några till omkring 100m djup)

- Refraktionsseismik
  - ~~Strukturer, djup till berg~~ etc.
  - P-vågs hastighet
- Reflektionsseismik
  - Strukturer, djup till berg etc.
- Ytvågsseismik
  - Strukturer, djup till berg etc.
  - S-vågshastighet
- Andra specialfall som marin seismik av olika slag
- Borrhålsseismik, mellanhålsseismik etc.

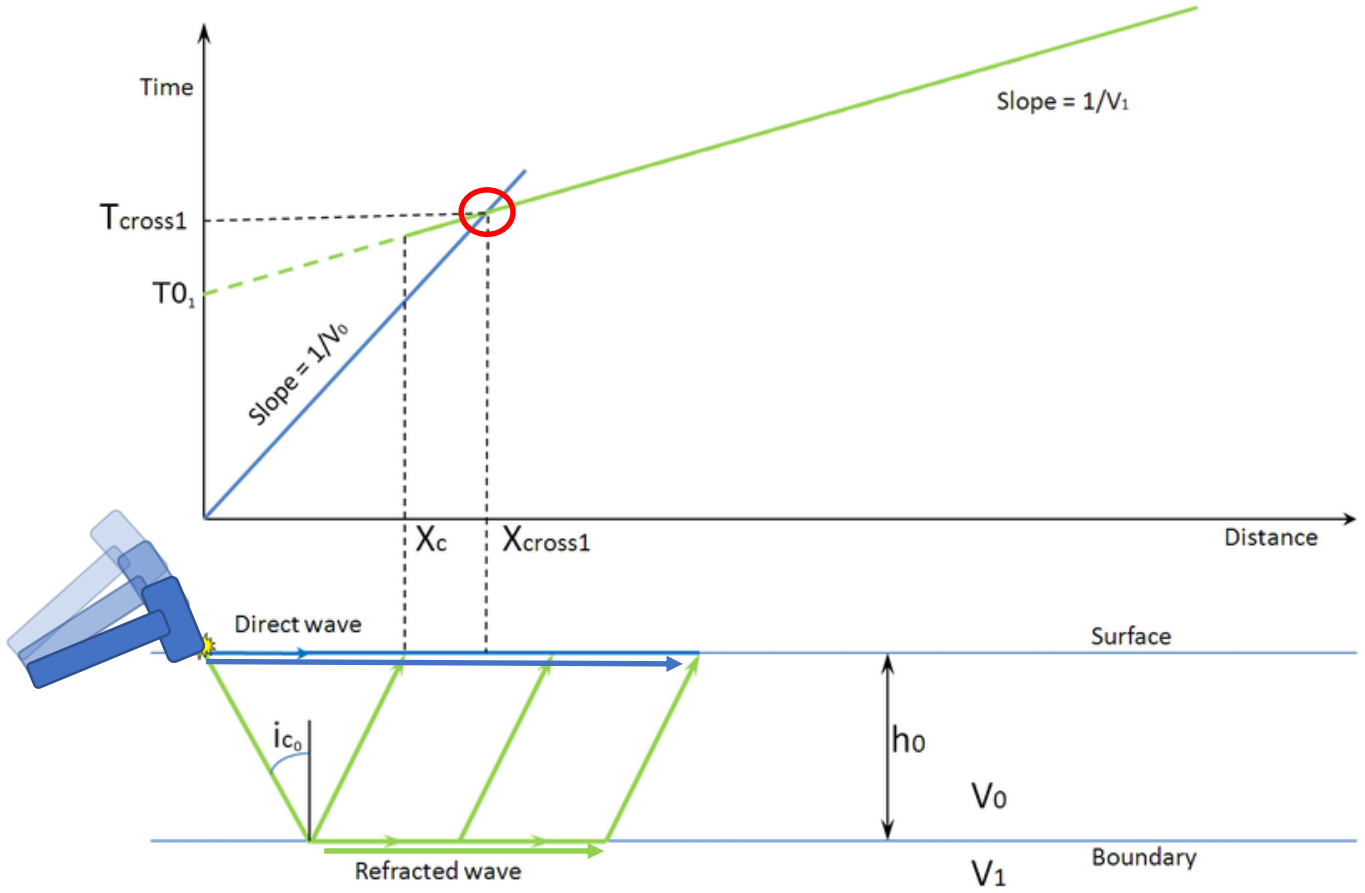


- Refraktionsseismik har använts i snart 100 år och är en av de geofysiska metoder som varit etablerade för geotekniska undersökningar i längst tid

Refraktionsseismik – första ankomst



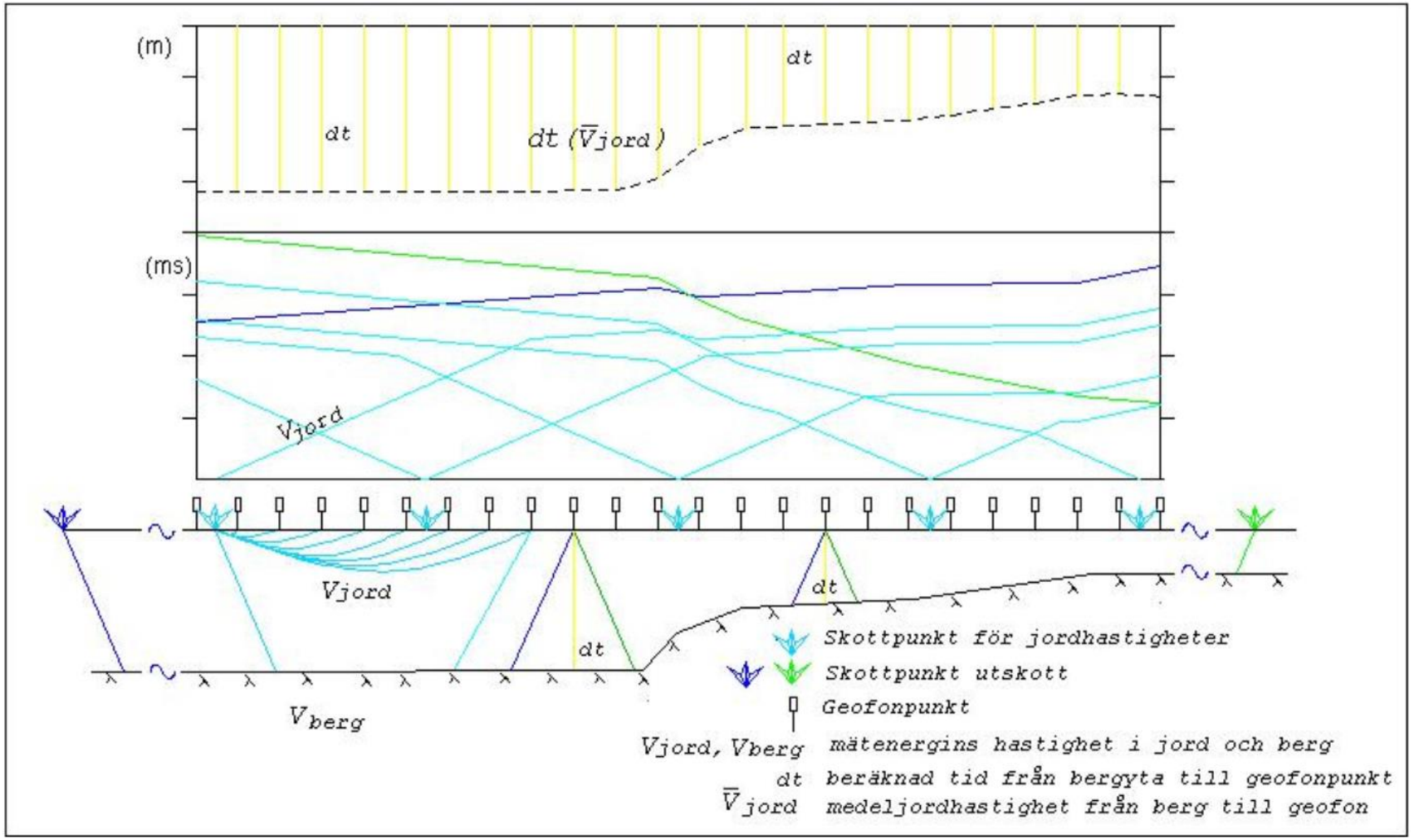
Refraktionsseismik – princip 1
Direktvåg och refrakterad våg



https://en.wikipedia.org/wiki/Seismic_refraction

Refraktionsseismik – princip 2 – lagerbaserad tolkning

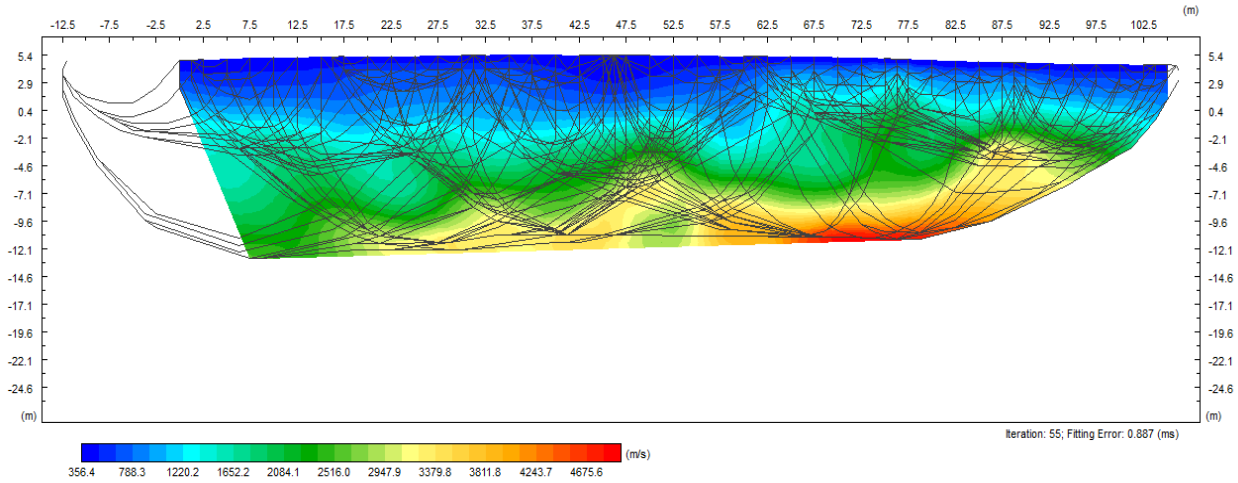
- T.ex. plus/minus metoden
- Antagande om
  - ett visst begränsat antal lager
  - Hastigheten ökar konsekvent mot djupet
- Ger djup till lagergränser och variation i hastighet i lagren



SGF's metodblad

Refraktionsseismik – princip 3 – Tomografi med iterativ invers modellering

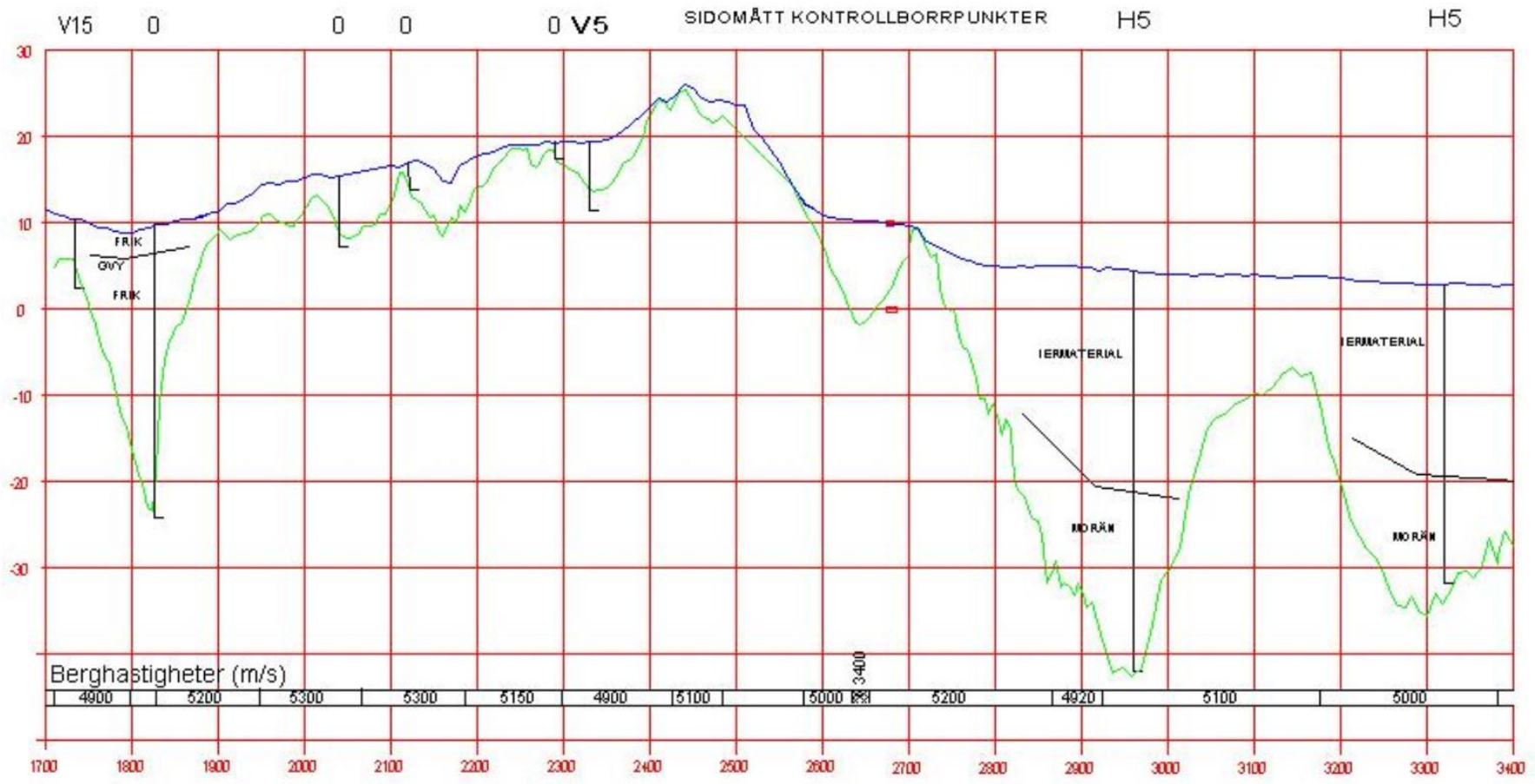
- På ungefär samma sätt som vi utför invers modellering på resistivitetsdata
- Innebär att man inte behöver göra några antagande om
  - Indelning i specifika lager
  - Konsekvent ökning av hastighet mot djupet
- Nackdelen jmf. lagerbaserad tolkning är större svårighet att beskriva skarpa lagergränser och svaghetszoner



Då bör refraktionsseismik användas

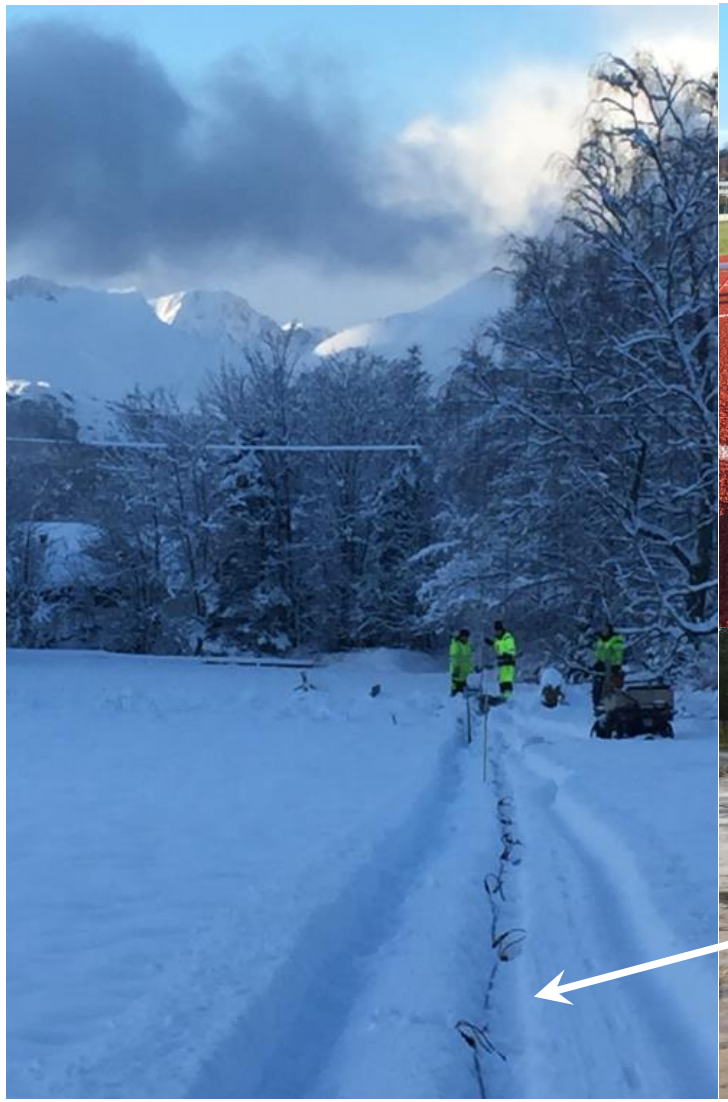
- Djup till berg och bergkvalitet
  - Mycket robust metod för bestämning av djup till berg
  - Svaghetszoner - Sprick- och krosszoner i berg
- Grundvatten – djup till grundvatten och vattenförande sprickzoner

Exempel 1 – klassiskt exempel på lagerbaserad tolkning av djup till berg



SGF's metodblad

Refraktionsseismik – utrustning/fältarbete













- Seismograf
- geofoner
- Kablar – oftast med 5m avstånd

Refraktionsseismik – seismisk källa

- Sprängmedel
- Accelererad fallvikt
- Slägga







Då kan det vara problem att använda refraktionsseismik

- Dolda lager på grund av material i ytan med högre hastighet
  - Relativt tunna höghastighetslager i ytan kan ibland, men långt ifrån alltid, ge problem
    - kraftig tjäle
    - Kraftig överbyggnad, betong i väg etc.
    - Men det finns en avvägning mellan vilka frekvenser man behöver analysera och hur det ytliga lagret påverkar dessa och ofta kan man samla in refraktionssesmik även vintertid eller i stadsmiljö
  - Mäktiga lager med högre hastighet i ytan, då får man definitivt ett blindlager
- Blindlager på grund av mellanliggande lager med för liten mäktighet/hastighetskontrast
- Man behöver kunna alstra tillräckligt kraftiga vibrationer – begränsningar i typ och storlek av källa kan ge problem
  - begränsningar i användande av sprängmedel i vatten, t.ex. i lekperioder för fisk
  - begränsningar att använda sprängmedel i urban miljö
  - Begränsningar på grund av ljudstörningar i närheten av bostadsområden/skolor etc.

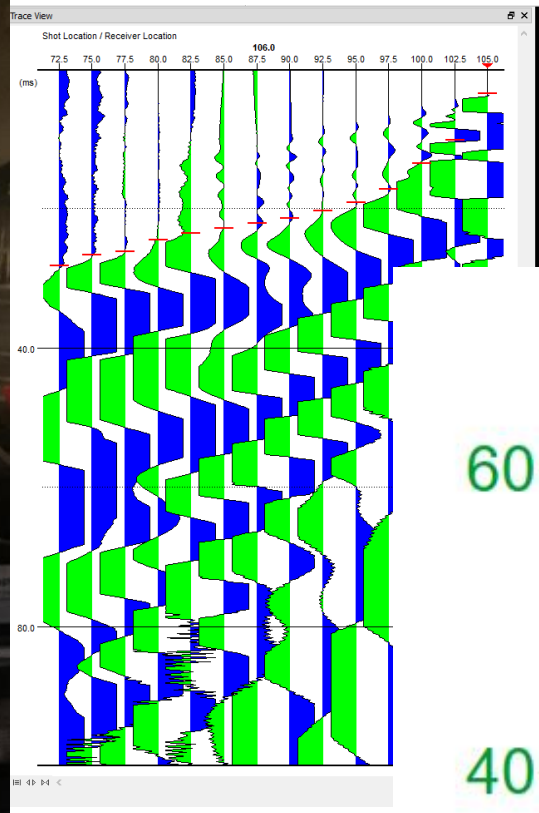
KVALITET

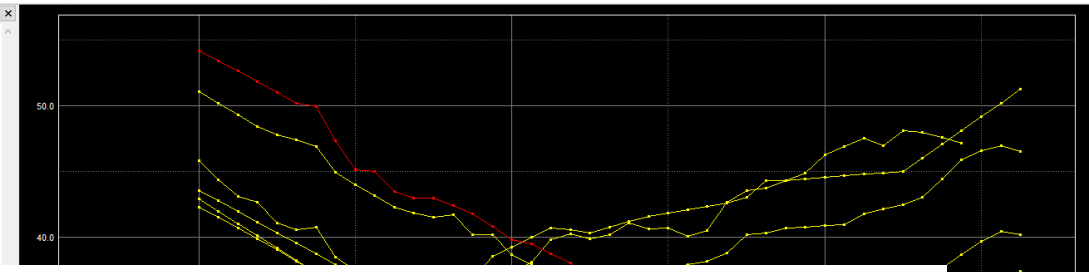
- Förutom kvaliteten på den seismiska signalen etc. kan man som utförare, och även beställare, behöva tänka på hur geofonavstånd och längd på linjer påverkar kvaliteten t ex vid material i markytan med mycket låga hastigheter där geofonavståndet behöver reduceras eller vid stora jorddjup som kräver fjärrskott långt ut
  - Kan vara svårt att veta i förväg men måste tas hänsyn till vid mätning

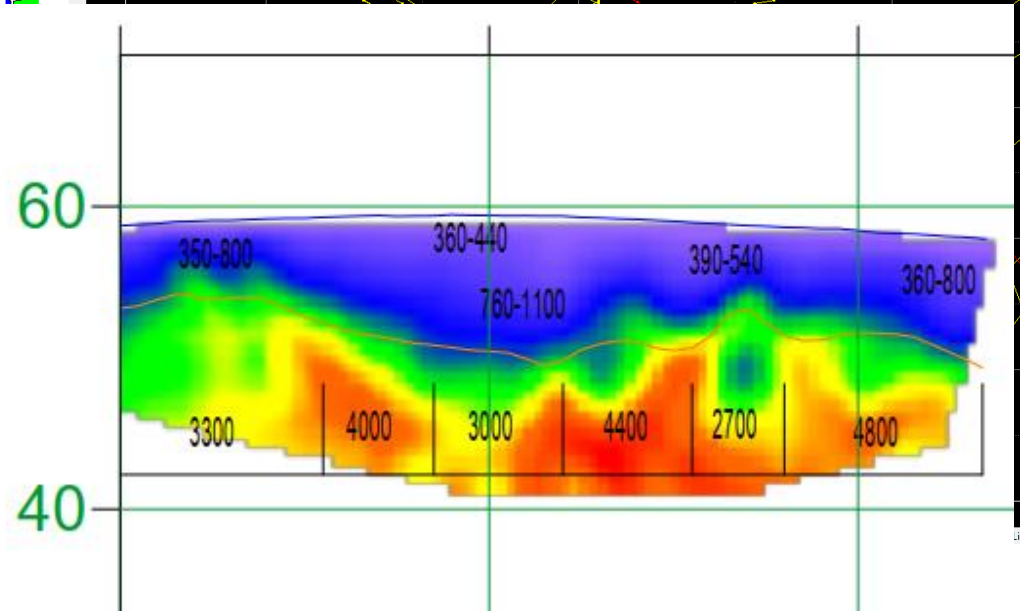
Exempel 2 - stadsmiljö - geofonsläp

ett tunt lager hårdgjort material i ytan är **här** inte något problem då frekvensen och amplitud på denna signal skiljer sig mycket från den som går i geologin



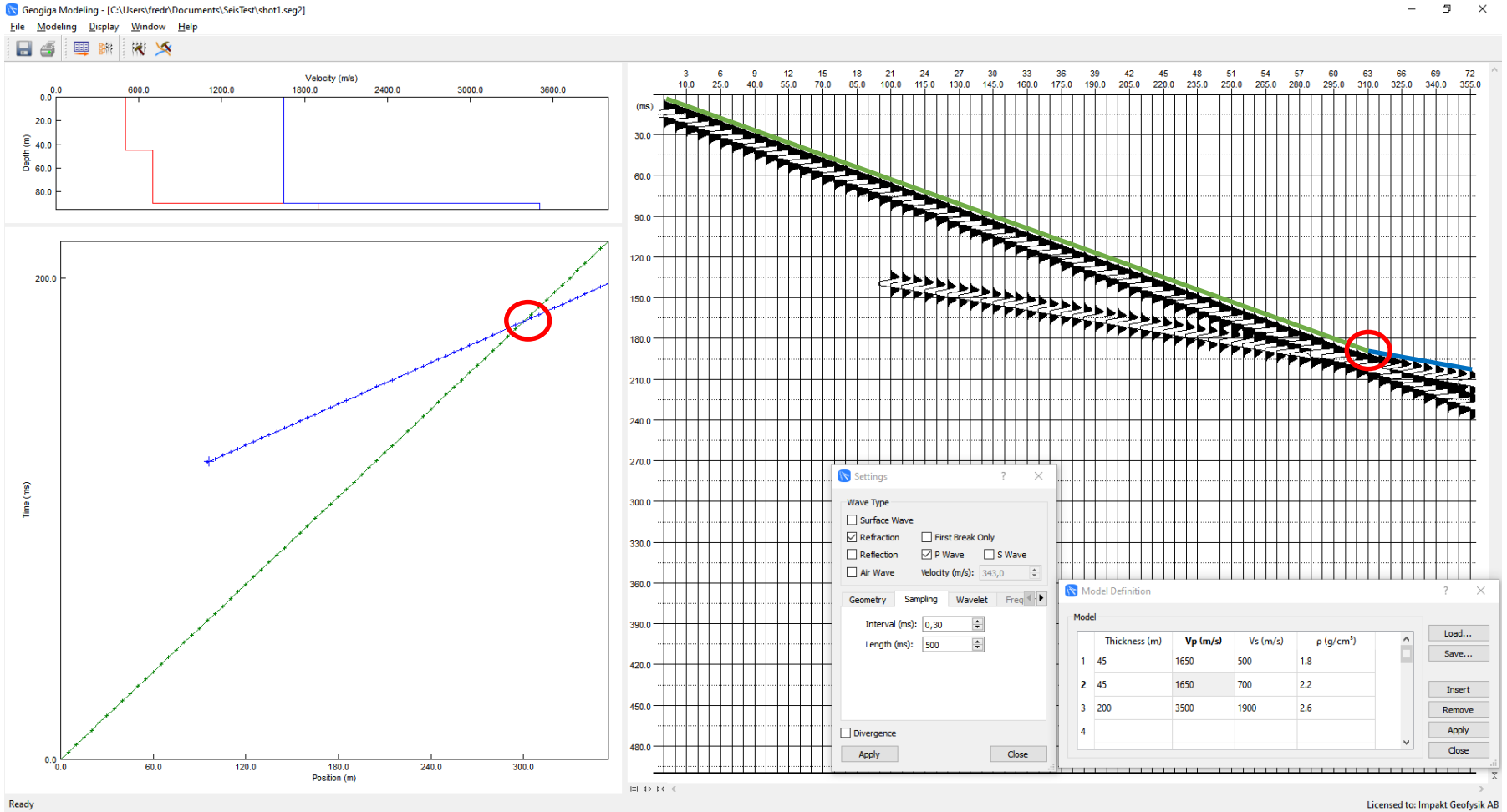






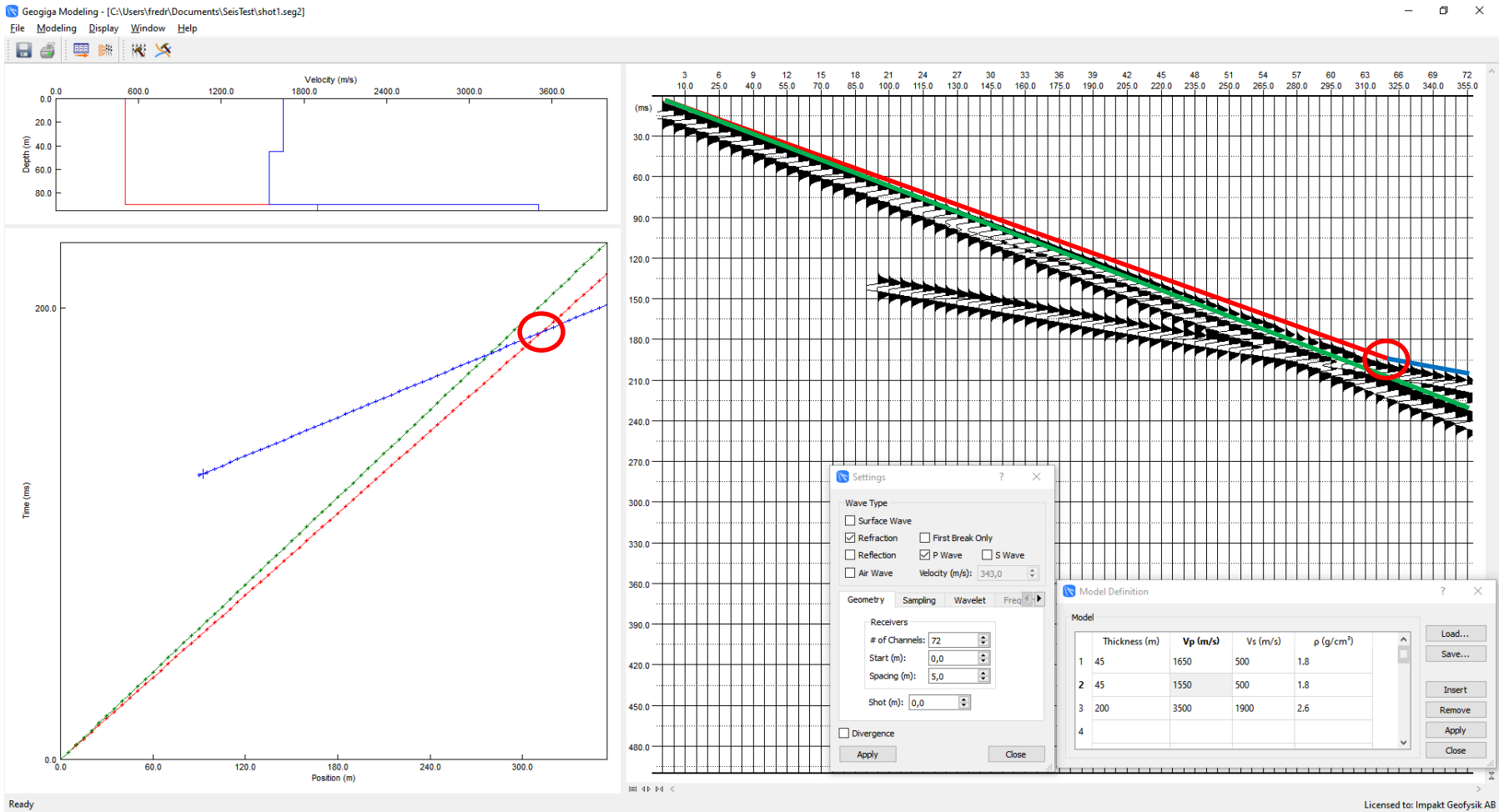
Dolda lager

- exempel med 90m jord på berg – två lager, tydlig knäckpunkt



Dolda lager

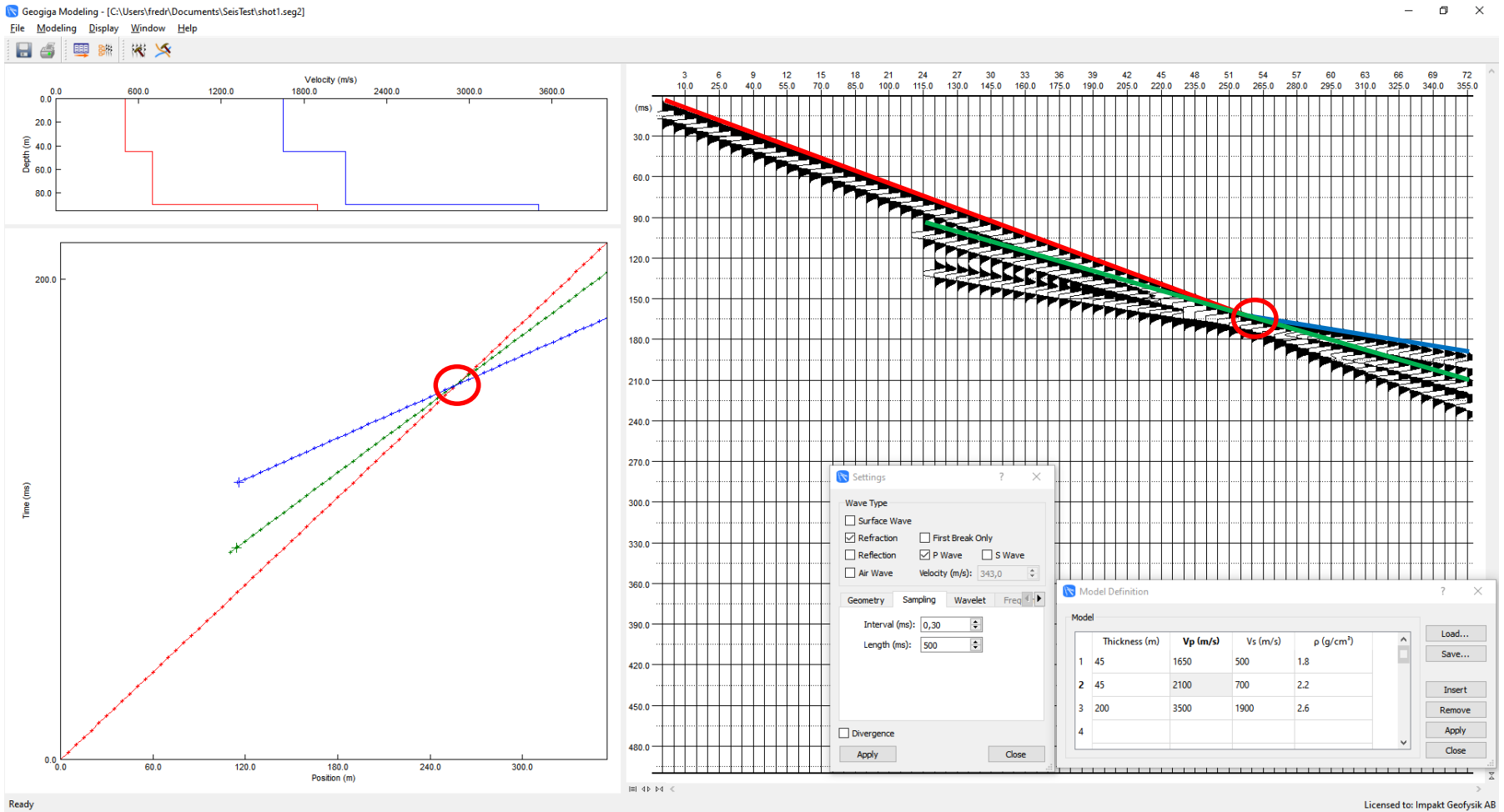
- Mellanliggande lager med lägre hastighet – blir ett dolt låghastighetslager



Ger ett fel som ungefär
Motsvarar felet i hastighet
I detta fall överskattas djup till berg med några procent

Dolda lager

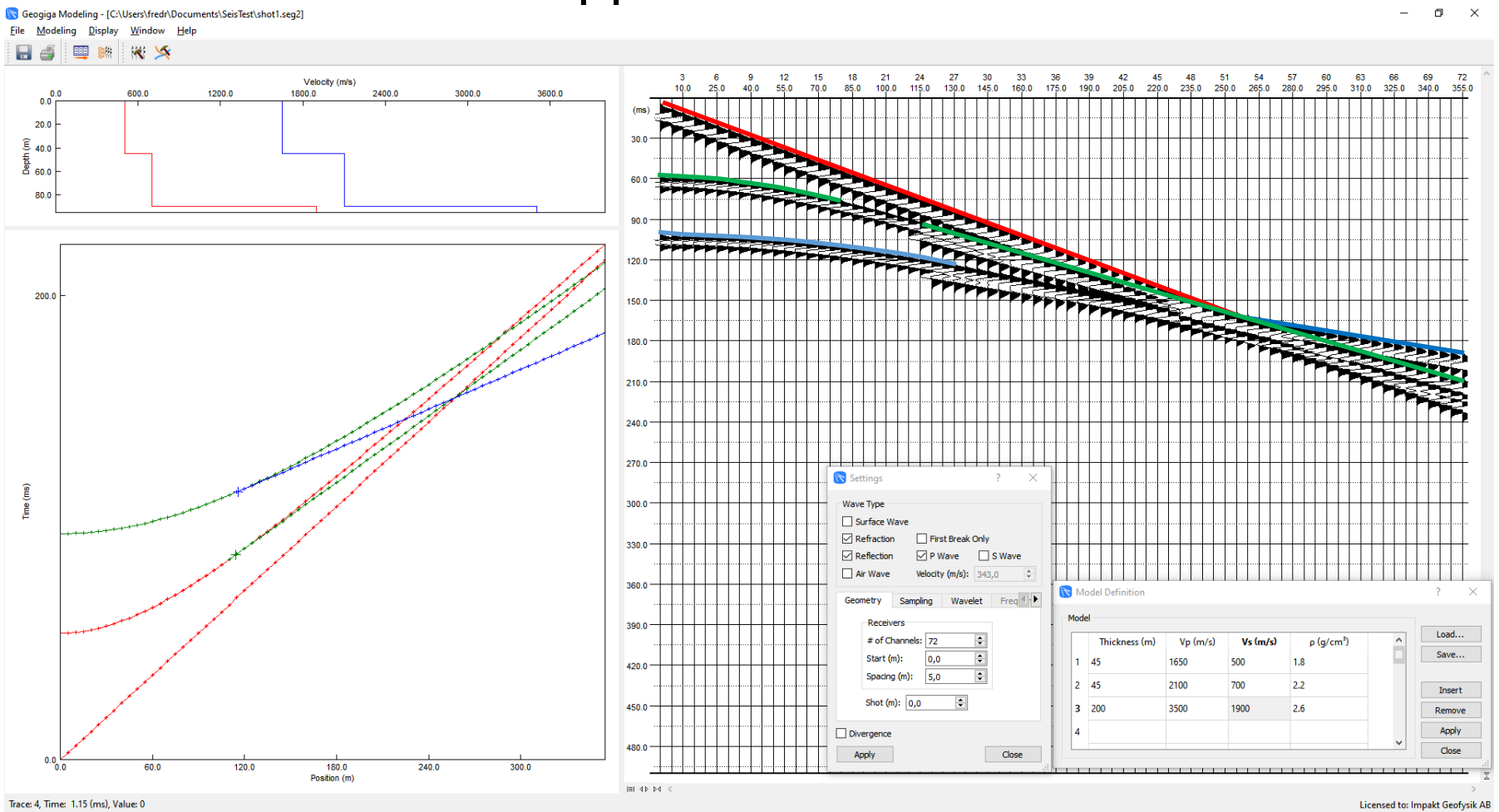
- Mellanliggande lager med högre hastighet – blir ett dolt höghastighetslager



Ger ett fel som ungefär
Motsvarar felet i hastighet
I detta fall underskattas djup till berg med knappt 10%

Dolda lager

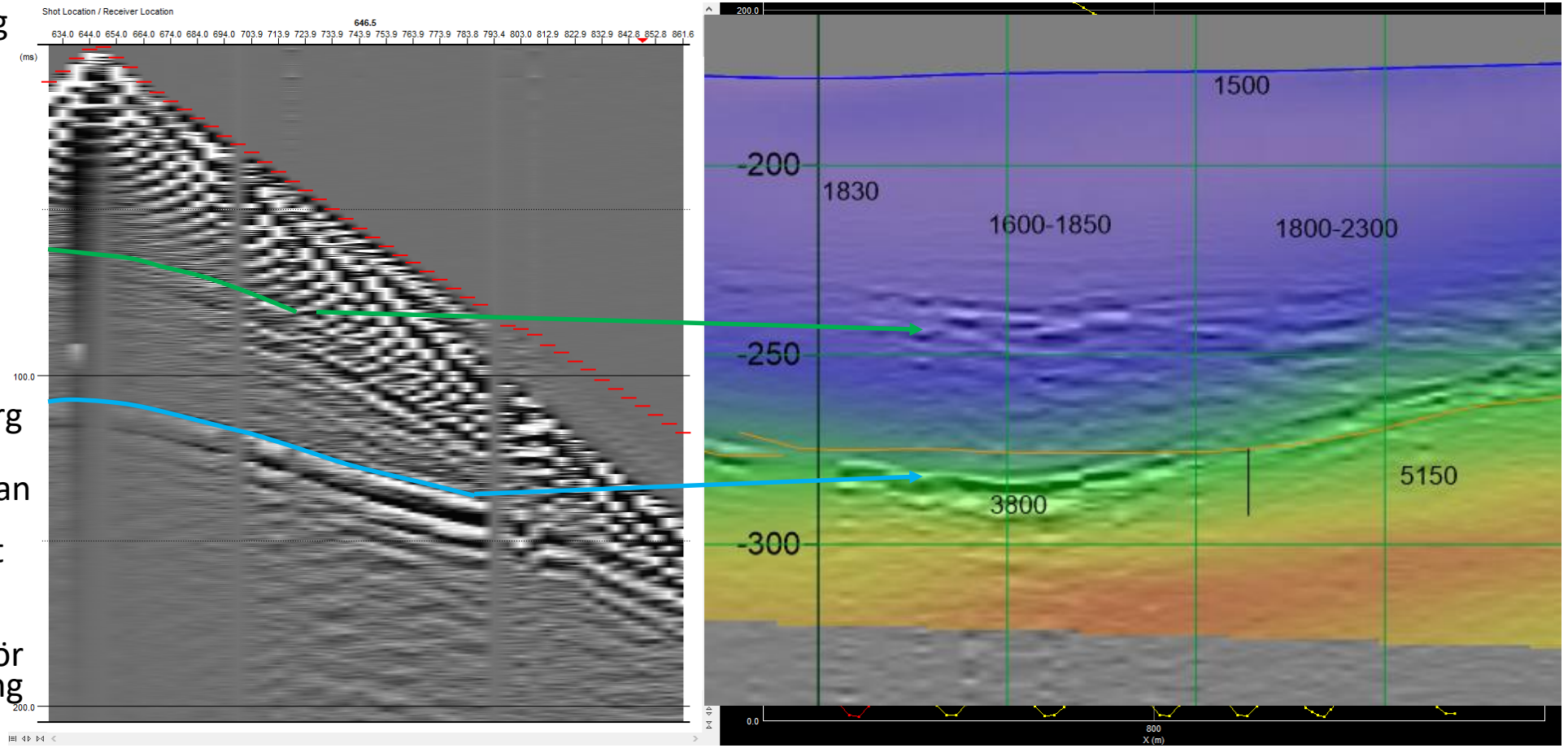
- Mellanliggande lager med högre hastighet – blir ett dolt höghastighetslager som teoretiskt kan upplösas med reflektionsseismik



Hyperbler från reflektioner kan ge information om den korrekta hastigheten i lagren
Detta kan användas för korrigering av djup

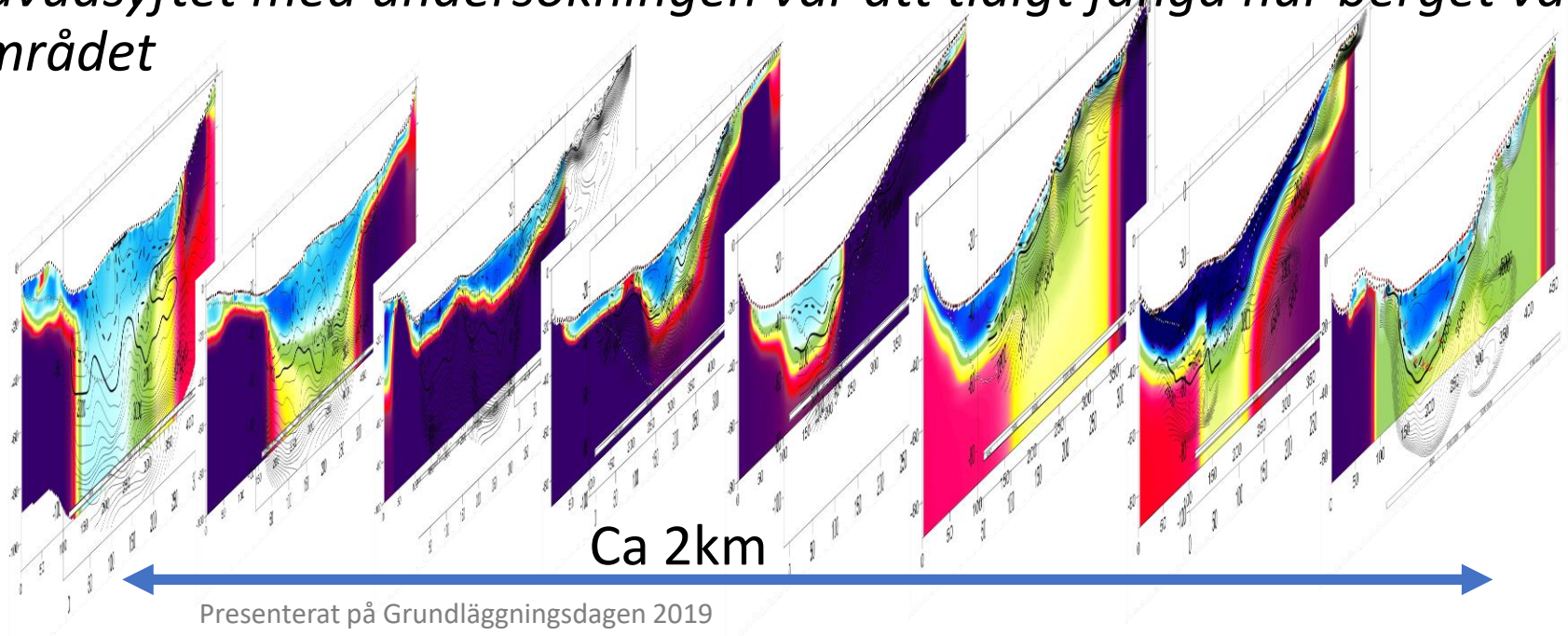
Exempel 3 Refraktionsseismik – Stora jorddjup med dolt lager i lagerbaserad tolkning

- Lagerbaserad tolkning underskattar djup till berg
- Tomografin kan bitvis hantera det mellanliggande dolda lagret
- Reflektionsseismiken visar tydligt hastigheten i mellanliggande lager och möjliggör att uppskatta djup till berg
- Ovanligt att se så fina reflektioner så man kan inte räkna med att kunna lösa problemet så här
- Borrning/sondering kan också användas för kontroll och kalibrering



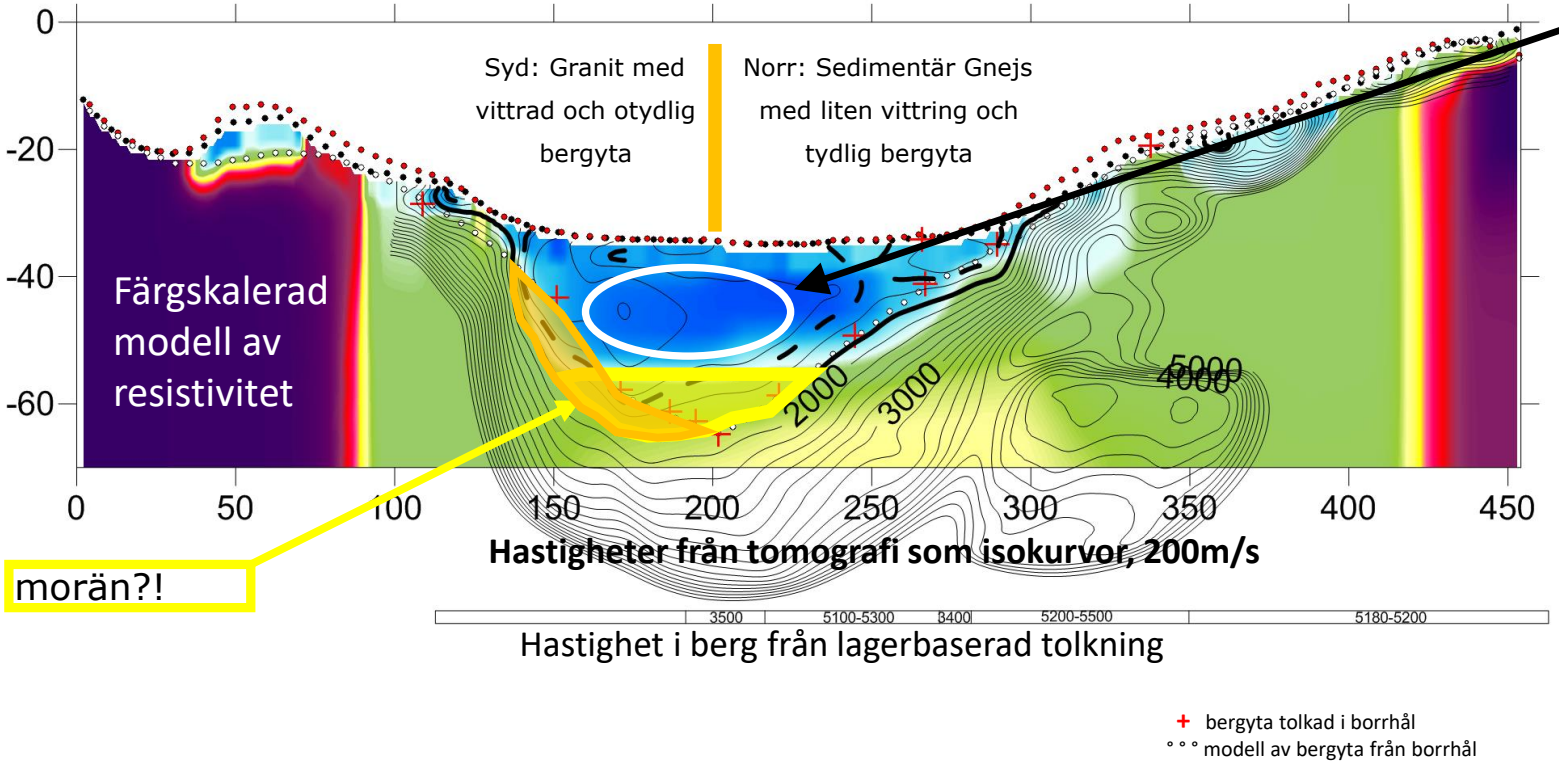
Exempel 4 Refraktionsseismik i kombination med resistivitetsmätning – i vatten

- *Undersökning i vattenpassage vid projektet Östlig Förbindelse i bräckt vatten, Saltsjön i Stockholm*
- *Dyrt att undersöka med borrning, geofysik ger en kostnadseffektiv bild av variationer i området. Här utfördes kombination av refraktionsseismik och resistivitetsmätning*
- *Huvudsyftet med undersökningen var att tidigt fånga hur berget varierar i området*



Exempel 4

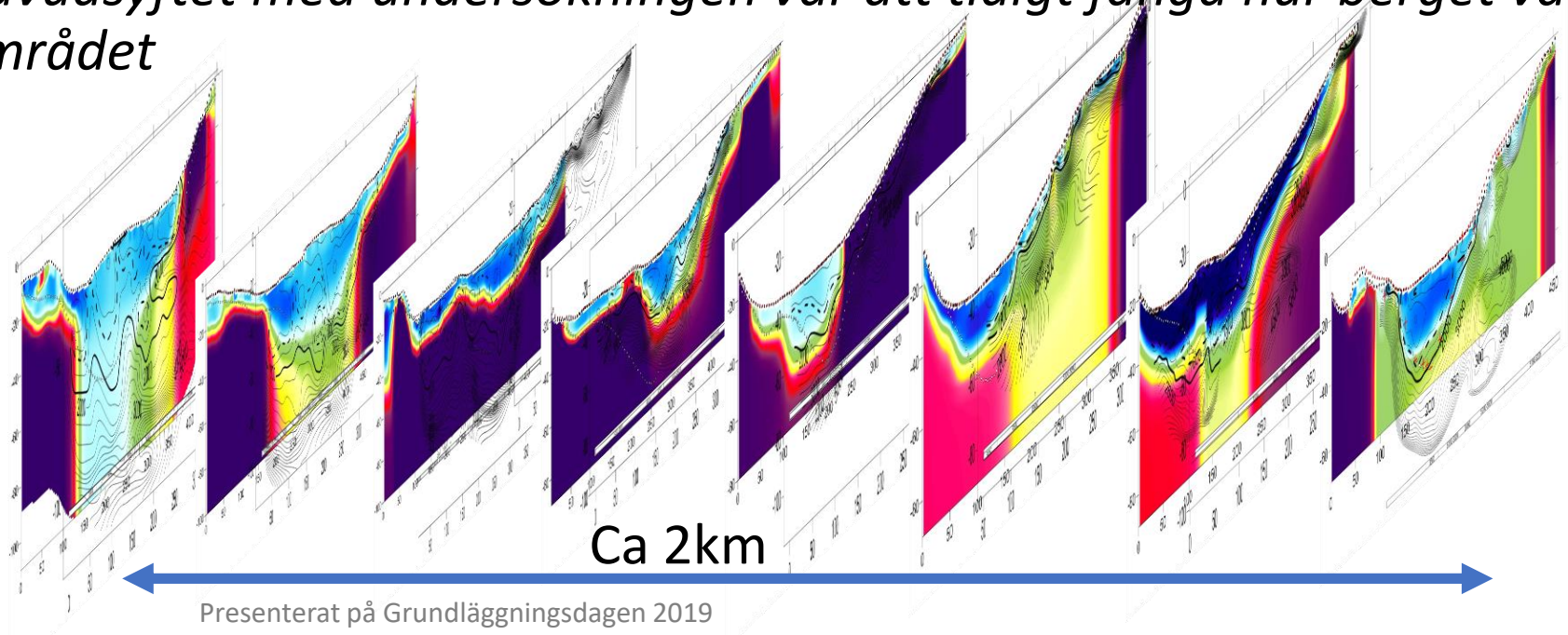
Line 11/2018 Geofysik i östra borrade linjen



Område med mkt. låga hastigheter på grund av gas har medfört att djup till bergytan från den lagerbaserade tolkningen blev kraftigt överdriven, men hastigheterna från denna tolkning var till stor nytta för att tolka svaghetszoner
Tomografi av refraktionsseismiken modellerar djupet korrekt

Exempel 4 Refraktionsseismik i kombination med resistivitetsmätning – i vatten

- *Undersökning i vattenpassage vid projektet Östlig Förbindelse i bräckt vatten, Saltsjön i Stockholm*
- *Dyrt att undersöka med borrning, geofysik ger en kostnadseffektiv bild av variationer i området. Här utfördes kombination av refraktionsseismik och resistivitetsmätning*
- *Huvudsyftet med undersökningen var att tidigt fånga hur berget varierar i området*



Refraktionsseismik – kostnader – inte färdig

- Tumregel men avvikelser finns naturligtvis
  - Öppen mark 0,5-2 km/dag
  - Skog, besvärlig terräng 0,3-1 km
  - 50 000 kr/dag inkl. tolkning och rapport => 50-150 kr/m
- Produktion i fält
  - Beror mycket på behov av geofonavstånd och svårighet att alstra bra skott
  - Terräng
    - Öppet fält/åkermark, skog, tät skog, våtmark, kraftig topografi (med tät skog ☺)
    - Urban miljö (en egen kategori av svårigheter med trafik, byggnader etc.)
- Datakvalitet/tolkning
  - Störningsfria data är ofta snabba att tolka/sämre datakvalitet ger mer arbete och större osäkerhet
  - Komplicerade hastighetsstrukturer kräver mer arbete

VÄRDEN som skapas med Refraktionsseismik

- Fånga de stora dragen tidigt
- Optimera borrprogram
  - Var finns extrempunkter
- Tidsbesparing/undvika förseningar
  - Relativt snabb och kostnadseffektiv metod
- Trygghet i att man har koll på hela volymen
  - interpolera mellan borrning/sondering
- Information som kan användas för att tolka material
  - Seismisk hastighet kopplat till mekaniska parametrar

Refraktionsseismik – Sammanfattning

- Ger information som tillsammans med förväntningsmodell och referensdata kan tolkas till specifika material
  - Djup till berg, sprick- kross-zoner, grundvatten
- Bra metod att använda tidigt
- Robust, fungerar i de flesta situationer
- Relativt kostnadseffektivt
- Koll på stora volymer,

  information mellan borrhål



GEOFYSIK 4 (5)

- Riskreducering baserad på geofysiska undersökningar I olika skeden
- Mats Svensson
- 25 februari kl 10-11