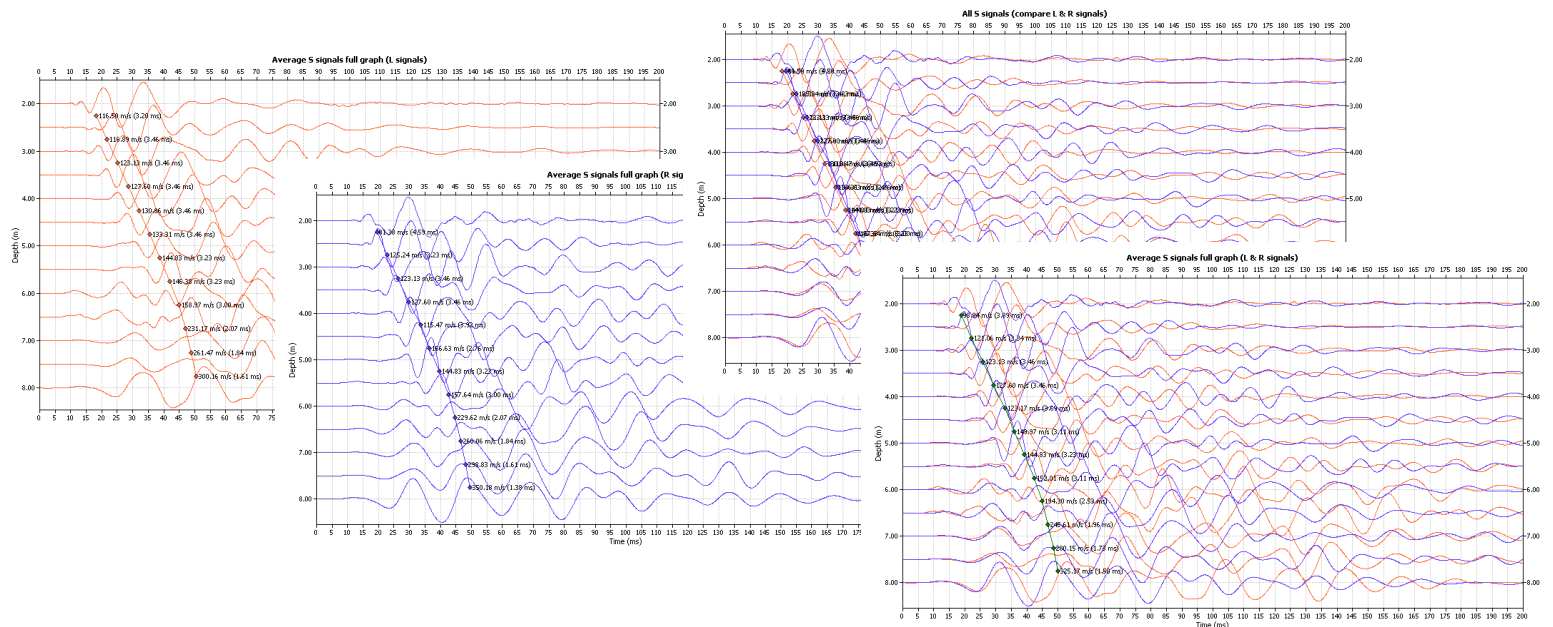


Provning av K/C-djupstabilisering med seismisk CPT

SBUF Rapport 13324

Per Lindh





Uppdragsledare: Per Lindh
Granskare: Torbjörn Edstam
Handläggare: Per Lindh
Diariernr: 2.1-1509-0585
Uppdragsnr: 17 050

Förord

Detta projekt kommer från en projektidé utarbetad av Helen Åhnberg och Rolf Larsson.

Författaren vill härmed tacka Trafikverket, Skanska och SBUF för det finansiella bidraget till detta projektet. Vidare vill författaren tacka Stockholms Hamnar, NCC och Geomind för att de varit behjälpliga med data och support i samband med undersökningarna. Författaren vill också tacka Cemex och SMA för bindemedel och annan support i samband med projektet. Som stöd vid simuleringar har Roger Wisén (Ramböll) och Nils Rydén (LTH/Peab) varit behjälpliga.

Tackar även Torbjörn Edstam, Skanska för granskning och värdefulla kommentarer.

Per Lindh
Uppdragsledare

Torbjörn Edstam
Granskare

Innehållsförteckning

Sammanfattning	8
1. Bakgrund och syfte.....	9
1.1 Val av undersökningslokal.....	9
2. TIDIGARE UTFÖRDA UNDERSÖKNINGAR.....	10
2.1 Utförda laboratorieundersökningar	10
2.2 Seismisk CPT	16
3. Resultat.....	22
3.1 Resultat från K/C pelar recepten	22
3.2 Fältundersökningar	32
4. SLUTSATSER	49
Referenser	52

Bilaga/or

1. Bilaga 1. FE-simulering av resultat från seismikmätningar i lab
2. Bilaga 2. Standard utvärdering CPT med Conrad
3. Bilaga 3. Utvärdering P- och S-vågshastighet

Sammanfattning

I detta projekt har seismisk CPT utvärderats som en testmetod för att bestämma egenskaperna hos KC-pelare. Anledningen till att använda seismisk CPT är att där erhålls både seismikvärde i form av P-våg (kompressionsvåg), S-våg (skjuvvåg) och ett spetsstryck. De seismiska bestämningarna i fält kan jämföras med seismiska värden uppmätta i laboratorier. Vidare finns en koppling mellan sonderingsmotstånd och hållfasthet i den stabiliserade pelaren. Seismikmätningarna i laboratoriet baserades på resonansfrekvensmätningar där provkroppen exciterades med ett slag och den dämpade resonansfrekvensen mättes både i axiell och transversell riktning. Detta är en enkel teknik som oftast ger ett entydigt svar på resonansfrekvensen. Provkroppens homogenitet kan undersökas visuellt och relationen mellan P- och S-våg visar på kvaliteten hos provkroppen. I fält finns inte denna möjligheten att visuellt kontrollera kvaliteten utan här måste den insamlad mätdata vara tillräckligt bra. Då det gäller seismisk CPT har det visat sig vara kritiskt dels med att utvärdera om CPTn befinner sig i eller utanför pelaren. Ett lågt spetsmotstånd kan betyda att sonden är utanför pelaren eller att pelaren är dålig. Dels behöver man kunna exitera en väl definierad P- och/eller S-våg för de seismiska mätningarna.

Alternativa seismiska metoder såsom Up-hole teknik e.t.c. bör utvärderas.

1. Bakgrund och syfte

Bakgrunden till projektet är behovet att på ett adekvat sätt utvärdera kvaliteten hos KC-pelare i form av hållfasthet och homogenitet. Syftet är att bättre koppla laboriemätningar och fältmätningar för att erhålla en bättre och säkrare optimering av bindemedel och bindemedelstyper. I detta delprojekt är syftet att utvärdera seismisk CPT för att utvärdera kvaliteten hos KC-pelarförstärkt jord. De angränsande projekten har varit baserade på användande av böj-element (bender elements) och resonansfrekvensmätning i laboriet BIG projekt ”Seismisk testning av stabiliserad jord med bender element vid triaxialförsök” (Lindh, 2016a)

1.1 Val av undersökningslokal

Vid valet av undersökningslokal för en test som den nu utförda är det önskvärt att lokalen är väl undersökt och dokumenterad både vad gäller fältundersökningar och laborieundersökningar. Vidare är det önskvärt att seismiska mätningar är utförda i laboriet som referens till mätningarna i fält.

I detta projekt föll valet på Norviks hamn där området var väldokumenterat vad gäller in situ förhållanden på naturlig jord samt att laboriemätningarna på stabiliserad jord hade utförts med mätningar av P-våg och flex-våg (~skjuvvågen). Lindh (2016b)

Området Norvik utgjordes fram till början på 80-talet av en havsvik. Denna var omgiven av en kuperad, bergig landremsa samt en bergig ö. Vid byggande av ett gaslager i Nynäshamn fylldes viken igen med sprängsten från byggnationen. Utfyllnaden utfördes genom ändtippning av massor från flera fronter, vilket innebar att stora volymer lera inneslöts i sprängstensfyllningen. Två stora områden, norra och södra, har identifierats, med upp till 30 m lera.

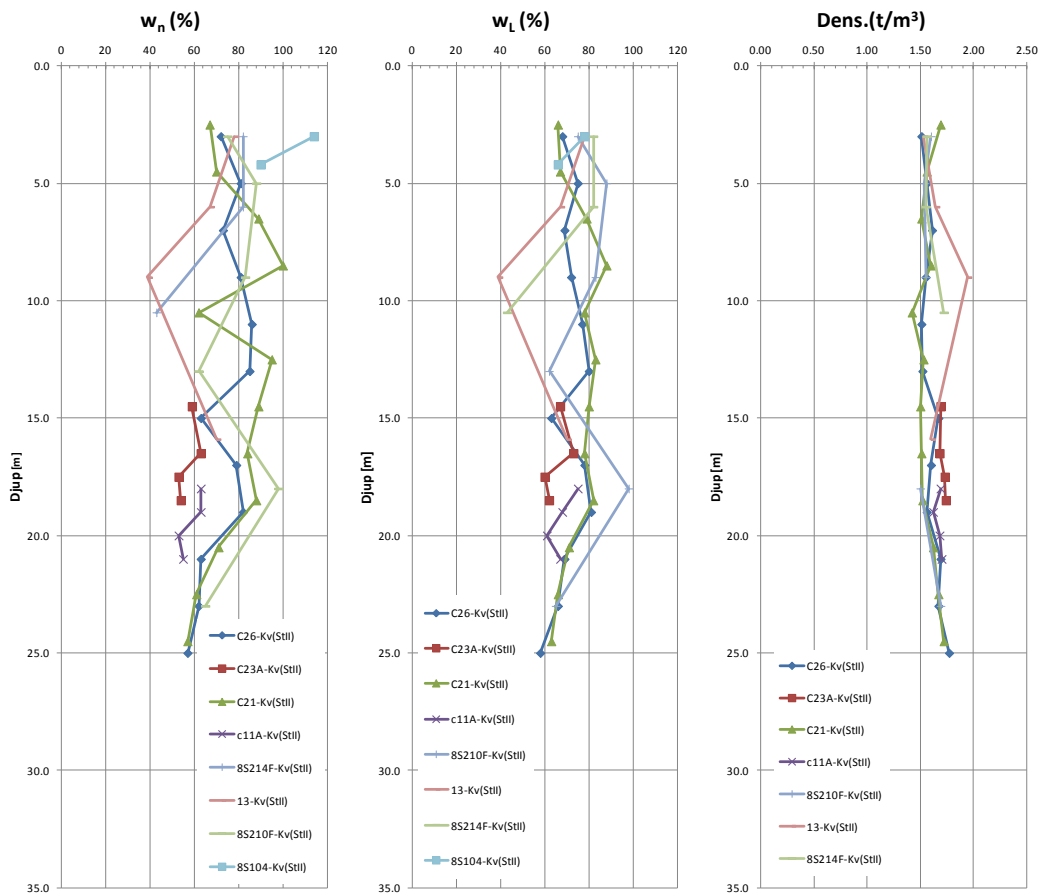
Ett flertal geotekniska fältundersökningar inom lerområdena har utförts under åren 1982, 2008, 2010 och 2011. Geomind 2015

2. TIDIGARE UTFÖRDA UNDERSÖKNINGAR

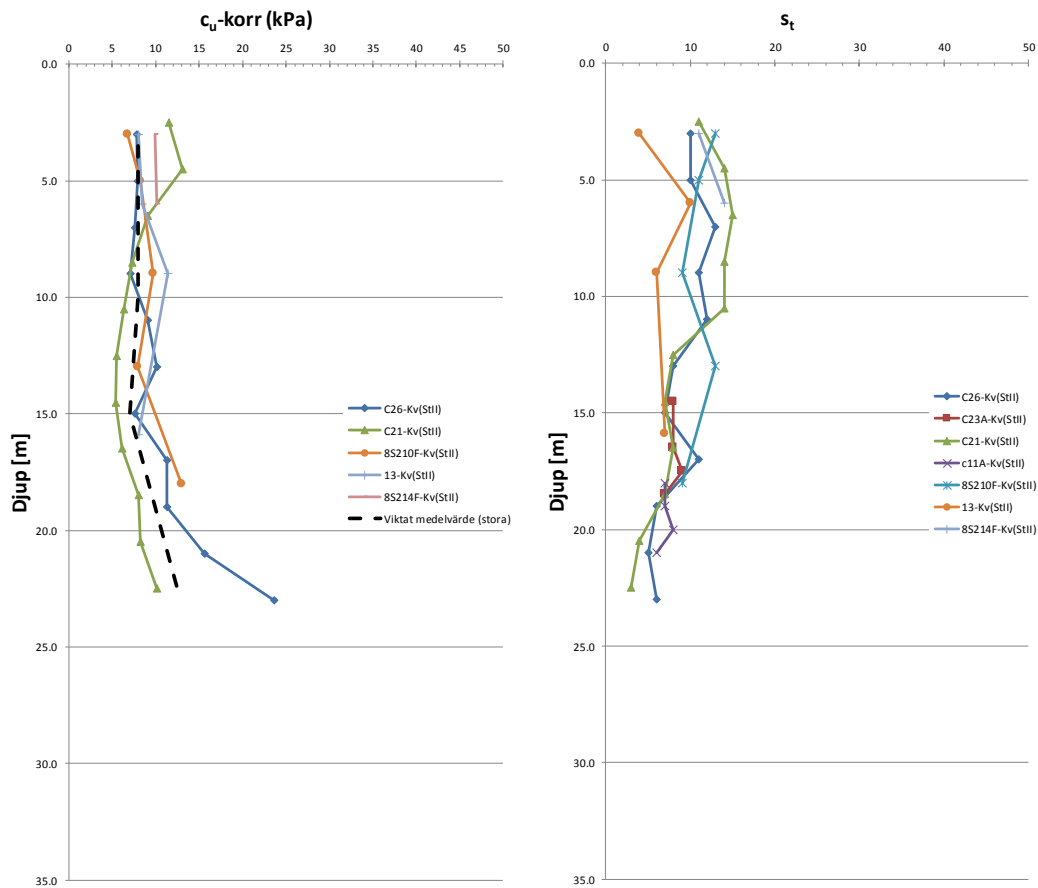
2.1 Utförda laboratorieundersökningar

2.1.1 Bestämning av den naturliga lerans materialparametrar

Den naturliga lerans materialparametrar finns redovisade i Figur 1 och Figur 2. Den naturliga vattenkvoten, w_N , varierar mellan 40 och 100 % och flytgränsen, w_L , varierar även den mellan 40 och 100 %. Densiteten varierar mestadels mellan 1,5 till 1,7 ton per kubikmeter. Den korrigerade skjuvhållfastheten, $c_{u,korr}$, ligger huvudsakligen mellan 5 och 15 kPa och leran är låg till mellansensitiv.



Figur 1. Grafer visande den naturliga lerans med djupet variation i vattenkvot, flytgräns och densitet.



Figur 2. Grafer visande skjuvhållfasthet och sensitivitet med djupet för stora lerområdet.

2.1.2 Utvärdering av bindemedel

Provning av bindemedel och bindemedelsmängd utfördes på lera från provgrävningar som utfördes på Norvik.

För att utvärdera bindemedelskombinationer för djupstabilisering användes en försöksuppställning kallad simplex centroid design (Montgomery, 1996, Myres and Montgomery, 1995). En försöksuppställning enligt simplex centroid med tre bindemedel innebär att försöksrummet består av en triangel med rena bindemedel i hörnen och en blandning av två bindemedel längs triangelns ränder. Inuti triangeln finns en kombination av alla tre bindemedlen, totalhalten bindemedel är konstant. Varje punkt på triangeln representerar 100 % bindemedel men det inbördes förhållande mellan bindemedlen varierar beroende var på triangeln som försökspunkten befinner sig.

Försöken utfördes enligt SGI:s kvalitetshandbok laboratorium, dokument 29a, rev c. Tre olika bindemedel har använts, cement, kalk och kalkugnsstoff (Engelska; lime kiln dust, LKD). Cementet som använts i försöken har varit en CEM II/A och kalken är en bränd kalk, benämnd Q1 i figurerna (från engelskans Quick lime).

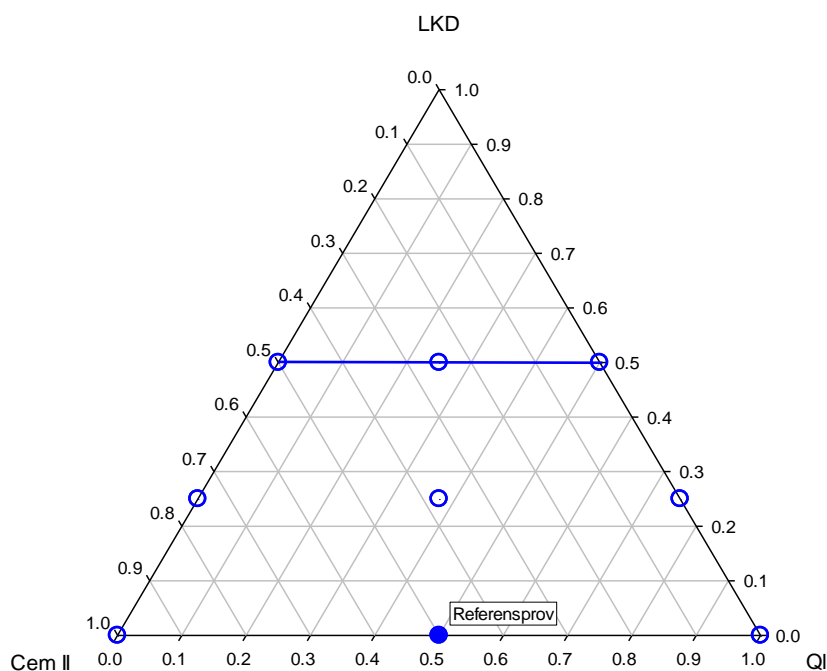
Från dessa tre bindemedel har nio olika bindemedelskombinationer testats. Inblandningsmängderna motsvarade 80, 100 och 120 kg bindemedel per kubikmeter

lera. Härdningstiderna för proverna (cement/kalk 50/50) var bestämda till 7, 14, 21 och 28 dygn. Några extraprovkroppar tillverkades för tryckning vid 80 dygn.

Försöksuppläggningsen utfördes som en tre faktors Simplex centroid med en begränsning av LKD-innehållet. Begränsningen innebar att LKD-innehållet var maximerat till 50 %. Försöksytan i en tre faktors Simplex centroid är uppbyggd som en triangel. Syftet med att använda denna typ av statistisk försöksplanering är att dels minimera antal försök med bibehållen statistisk signifikans samt att säkerställa att både positiva och negativa samspel mellan bindemedelskomponenterna upptäcks.

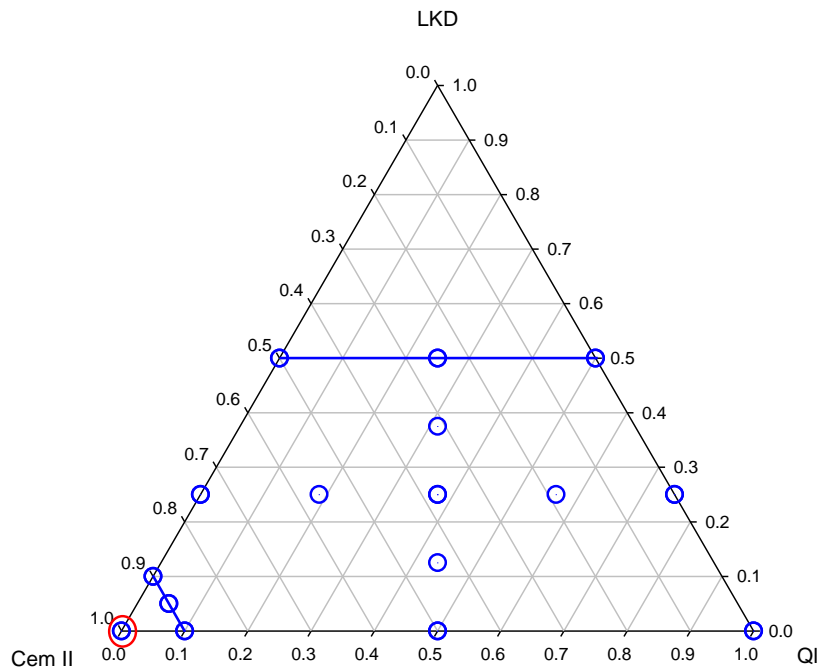
Varje punkt på ytan motsvarar 100 % bindemedel. De valda försökspunkterna är i detta fallet markerade med blåa cirklar, se Figur 3. Varje försökspunkt utfördes som ett dubbelförsök. Hörnen på triangeln representerar 100 % av endast ett bindemedel. Mitten på triangeln motsvarar 33 % av de tre olika bindemedlen. Punkterna på triangelns nedre rand motsvara antingen ett rent bindemedel, (jmf CEM II eller QI) alternativt en blandning av 50 % CEM II och 50 % QI.

Tre olika Simplexförsök utfördes. Dessa var motsvarande 80, 100 och 120 kg bindemedel per kubikmeter lera.



Figur 3. Försöksdesign enligt en begränsad simplex centroid. Begränsningen består i en maximering av andelen LKD till 50 %. Designen användes för de olika bindemedelsmängderna 80, 100 och 120 kg bindemedel per kubikmeter lera. De blåa ringarna motsvarar testade bindemedelskombinationer. Den helfyllda cirkeln representerar både försökspunkt och extra referens prover.

Till detta utfördes extra referensprov som skulle användas för kalibrering av seismikmätning i förhållande till tryckhållfasthet vid 7 och 14 dygn, se Figur 4.



Figur 4. Försöksdesign för bindemedelsmängden 100 kg bindemedel per kubikmeter lera kompletterades med inre punkter, jmf Figur 3, en så kallad "augmented design". De inre punkterna ökar upplösningen hos responsytan. Försöket designades så att punkten med röd ring kan utgå ur analysen. Detta för att enbart ren cement ger en sämre homogenitet.

2.1.3 Seismikmätning i laboratorier

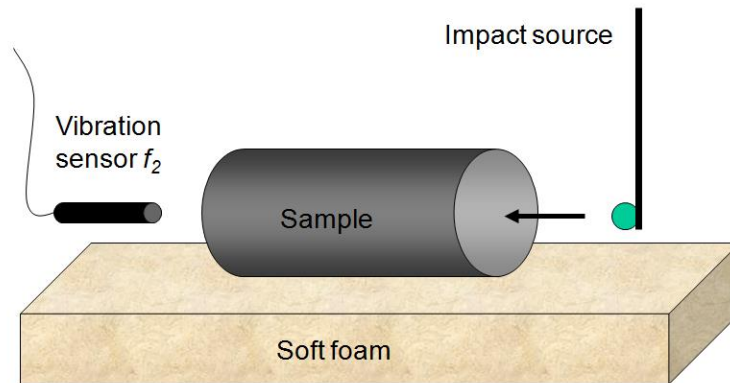
Naturlig resonansfrekvens (f_n) (även kallat naturlig egenfrekvens) är antalet svängningar per sekund (Hz) i en provkropp som får svänga fritt utan dämpning. Den lägsta resonansfrekvensen kallas den fundamentala moden eller grundmoden. Alla naturliga resonansfrekvenser kan fysikaliskt relateras till de elastiska konstanterna, E-modul (E) och tvärkontraktionstal (ν) eller seismiska hastigheter som primärvåg (P-våg) och sekundärvåg (S-våg eller skjuvvåg).

För provkroppar med en längd som är två gånger större än diametern ($L/D \geq 2$) kan den endimensionella (1D) vågutbredningshastigheten beräknas som

$$V_{P1D} = 2Lf_d \quad \text{Ekvation 1}$$

där f_d är den dämpade resonansfrekvensen (Rydén, 2013).

Seismikmätningarna utfördes som en resonansfrekvensmätning av P-våg och flexvåg, se Figur 5 och Figur 6.

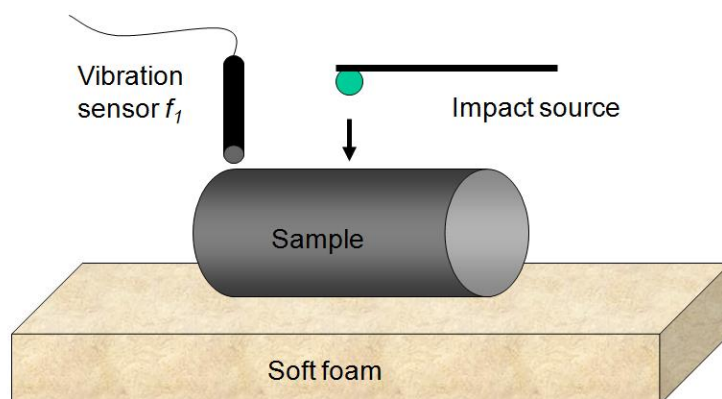


Figur 5. Försöksuppställning för att mäta P-vågsfrekvensen på en provkropp enligt resonansfrekvensmätning (free free resonant column).

Fördelen med P-vågsmätningar är att dessa kan utföras på provkroppar under tiden de härdar i hylsan utan att hylsan påverkar mätningarna i någon större utsträckning. Nackdelen med att mäta P-vågen är att den är starkt påverkad då jorden börjar bli vattenmättad, då S_r går mot ett. Då jorden är vattenmättad mäts inte enbart jordens P-vågshastighet utan även vattnets P-vågshastighet som är ca 1500 m/s vilket innebär felaktiga resultat. Detta är oftast inte några problem i laboratorietillverkade provkroppar då dessa inte går att vattenmätta utan väldigt höga tryck.

Genom att i stället mäta skjuvvågen då denna inte påverkas av höga vattenmättnadsgrader kommer man förbi detta problem. Mätningen av den äkta skjuvvågen är däremot svårare med en free-free resonant column uppställning. Ett vanligt, men dock inte helt korrekt, sätt att utvärdera skjuvvågen är att mäta böjmoden även kallad flexmoden eller transversell mod (Verástegui-Flores *et al*, 2015). Enligt denna artikel underskattas skjuvvågshastigheten med ca 5 % för en provkropp med slankhetstalet 2 (=längd/diameter) och ett $\nu = 0,2$.

Uppställningen för att mäta flexmoden visas i Figur 6.

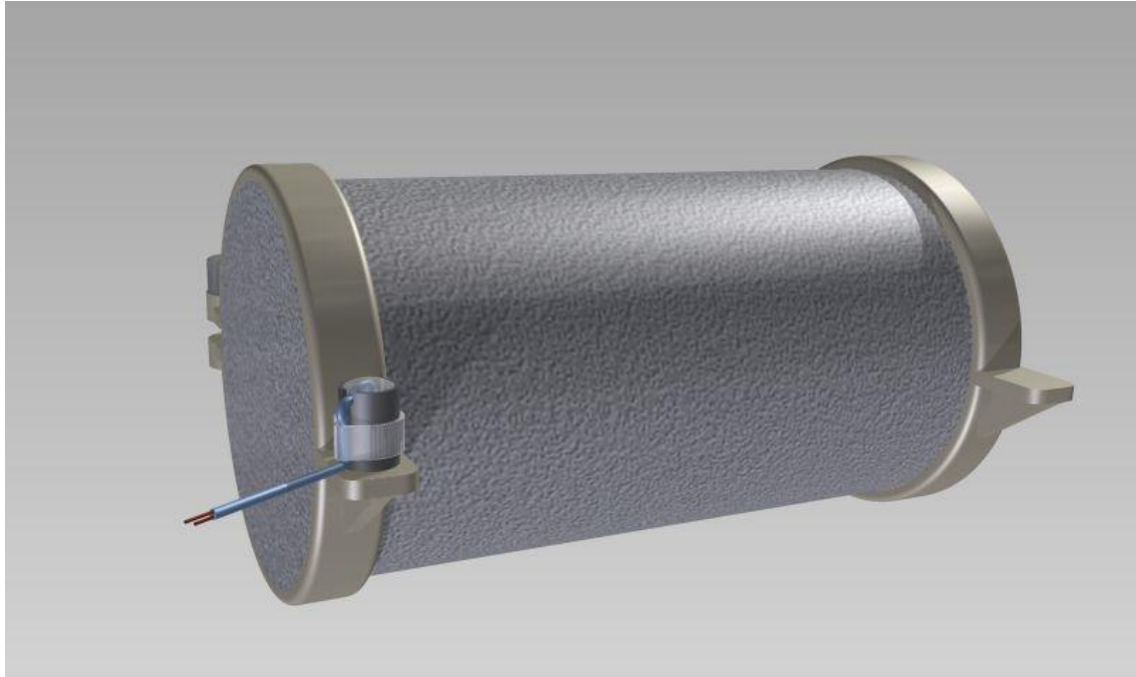


Figur 6. Försöksuppställning för att mäta flex-vågsfrekvensen (f_f) på en provkropp enligt resonansfrekvensmätning (free free resonant column).

Utvärderingen av skjuvvågshastigheten beräknas enligt ekvation 2.

$$V_s = 2Lf_f \quad \text{ekvation 2}$$

För att mäta äkta skjuvvåg i laboratorier måste man använda böjelement (s.k. bender elements) denna metodik är omständlig och tar lång tid. För att komma runt detta har en ny metodik provats på SGI för att utvärdera torsionsmoden och därmed bättre kunna beräkna skjuvvågen, se Figur 7.



Figur 7. Skiss över försöksuppställning för att mäta torsionsmod enligt free-free resonant column principen.

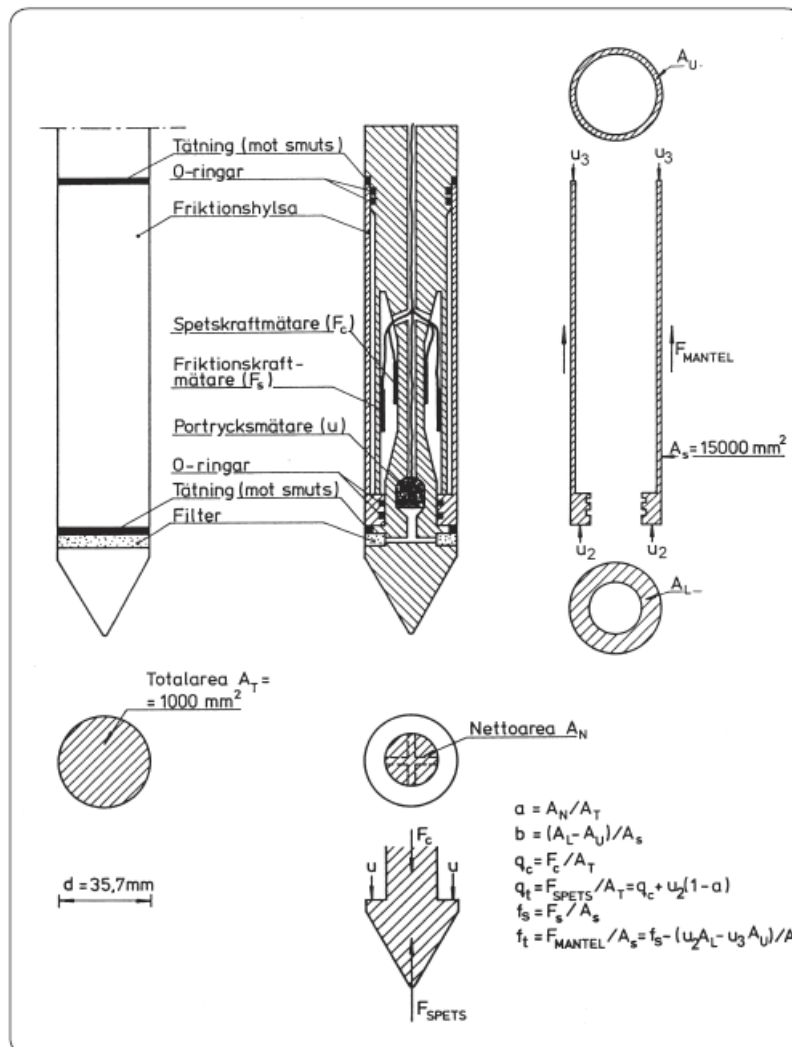
Denna metodik är dock ännu inte tillräckligt utprovad utan måste verifieras med fler mätningar men även analyseras med hjälp av FEM för att kontrollera att rätt moder utvärderas.

För att utvärdera hur både P-vågshastighet och skjuvhållfasthet utvecklas med tid tillverkades referensprover. Valet av P-vågshastigheten i laboratorieundersökningarna är att denna går att mäta även på prover som lagras i hylsor. Dock måste hylsornas längd vara lika med provets längd. I annat fall uppmäts hylsans resonansfrekvens, se Bilaga 1. Referensproverna bestod av ett standardrecept bestående av 50 % cement och 50 % bränd kalk. Bindemedelsmängderna valdes motsvarande 80, 100 och 120 kg/m³. Efter 7 dygn utvärderades P-vågshastighet och därefter skjuvhållfasthet på två prover från varje bindemedelsmängd. Detta upprepades vid 14, 21, 28 och 80 dygn. Denna typ av korrelation har tidigare använts för ytstabiliserade provkroppar med bra resultat (Rydén *et al*, 2006).

Valet av 80 dygn baserades graddygn för att jämföra med 28 dygnshållfasthet för prover lagrade vid 20 °C. Ett bättre förfarande hade varit att använda mognadstal (M_T) i stället för graddygn, se SGI Rapport 30, j.m.f. avsnitt 3.1.2.

2.2 Seismisk CPT

CPT sonderingen är utförd enligt standarden SS-EN ISO 22476-1:2012. Vid en CPT-sondering drivs en cylindrisk sond med tvärsnittsarean 1000 mm^2 där sonden har en spetsvinkel på 60 grader. Nerdrivningen sker med en konstant hastighet av 20 mm/s . Vid sondspetsen mäts kraften som krävs för att driva ner sonden. Genom en glappkoppling mäts mantelfriktionen som därmed kan särskiljas från spetstrycket. Vidare mäts portrycket som genereras vid neddrivningen via ett filterssystem precis bakom sondspetsen. Figur 8 visar uppbyggnaden hos en CPT sond.



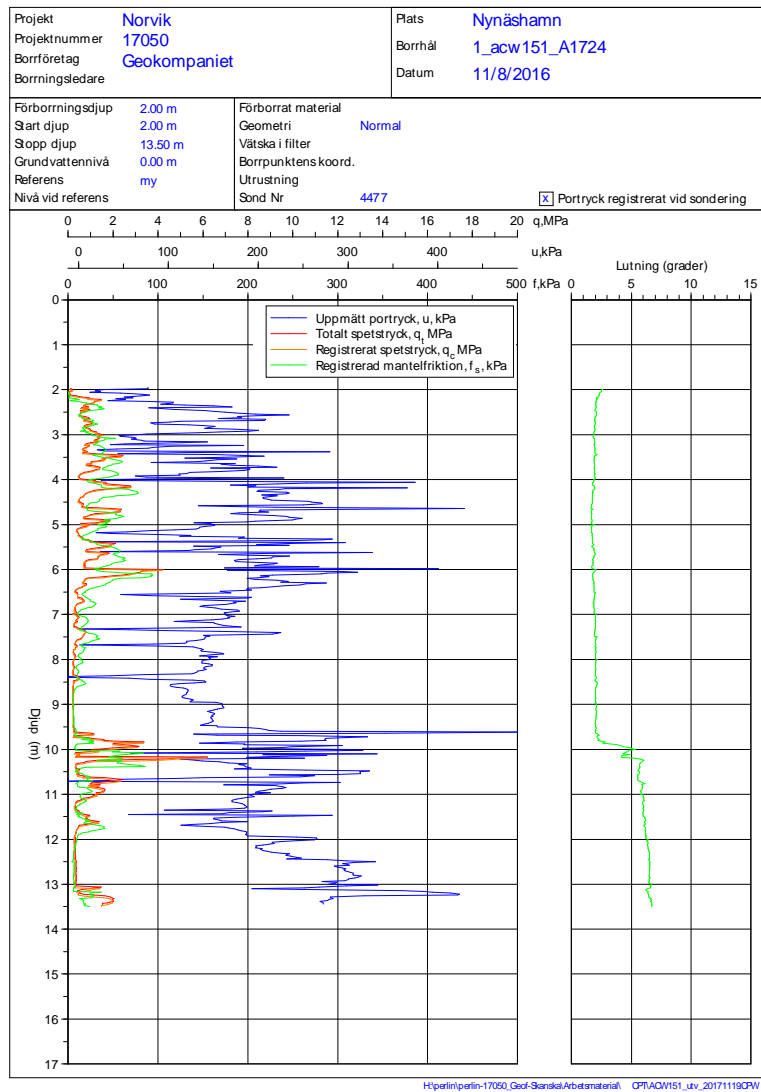
Figur 8. Schematisk skiss över en CPT sonds uppbyggnad. Från SGI Information 15.

Vid sonderingen registreras spetsmotståndet vilken är den kraft per ytenhet som erhålls genom att dividera den uppmätta kraften med spetsens tvärsnittsarea. Detta spetstryck betecknas q_c om ingen hänsyn tas till portrycket och q_t om värdet korrigeras med hänsyn till felkällor från portrycksinverkan. I specialfallet då $u \approx 0$ eller

är försumbar blir $q_c \approx q_t$. Spetsmotståndet anges i MPa eller kPa. CPT sonderingen kan redovisas enligt Figur 9.

2017-12-07

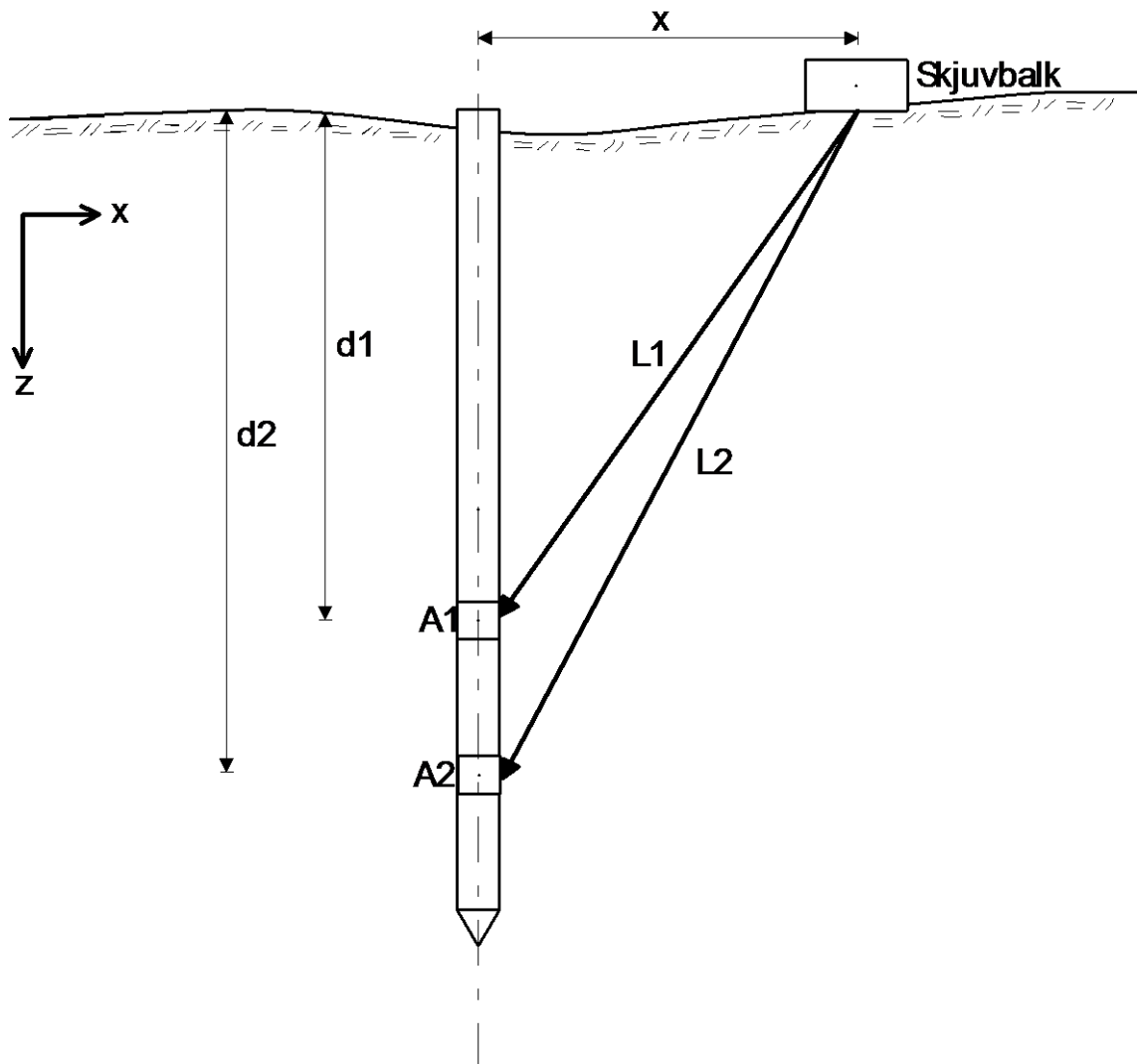
CPT-sondering utförd enligt EN ISO 22476-1



Figur 9. Figuren visar ett protokoll med standardskalor utvärderat med Conrad version 3.1.

Seismisk CPT innebär förutom en vanlig CPT sondering även en mätning av skjuv- och kompressionsvågor. Mätningarna utförs med en seriekopplad enhet som placeras mellan CPT sonden och sonderingsstängerna. Mätningarna utförs oftast genom att CPT sonderingen stoppas på den nivå man vill mäta på och mätningen utförs. Där finns dock system med kontinuerlig mätning men denna måste trots allt stoppas vid skarvning av stänger.

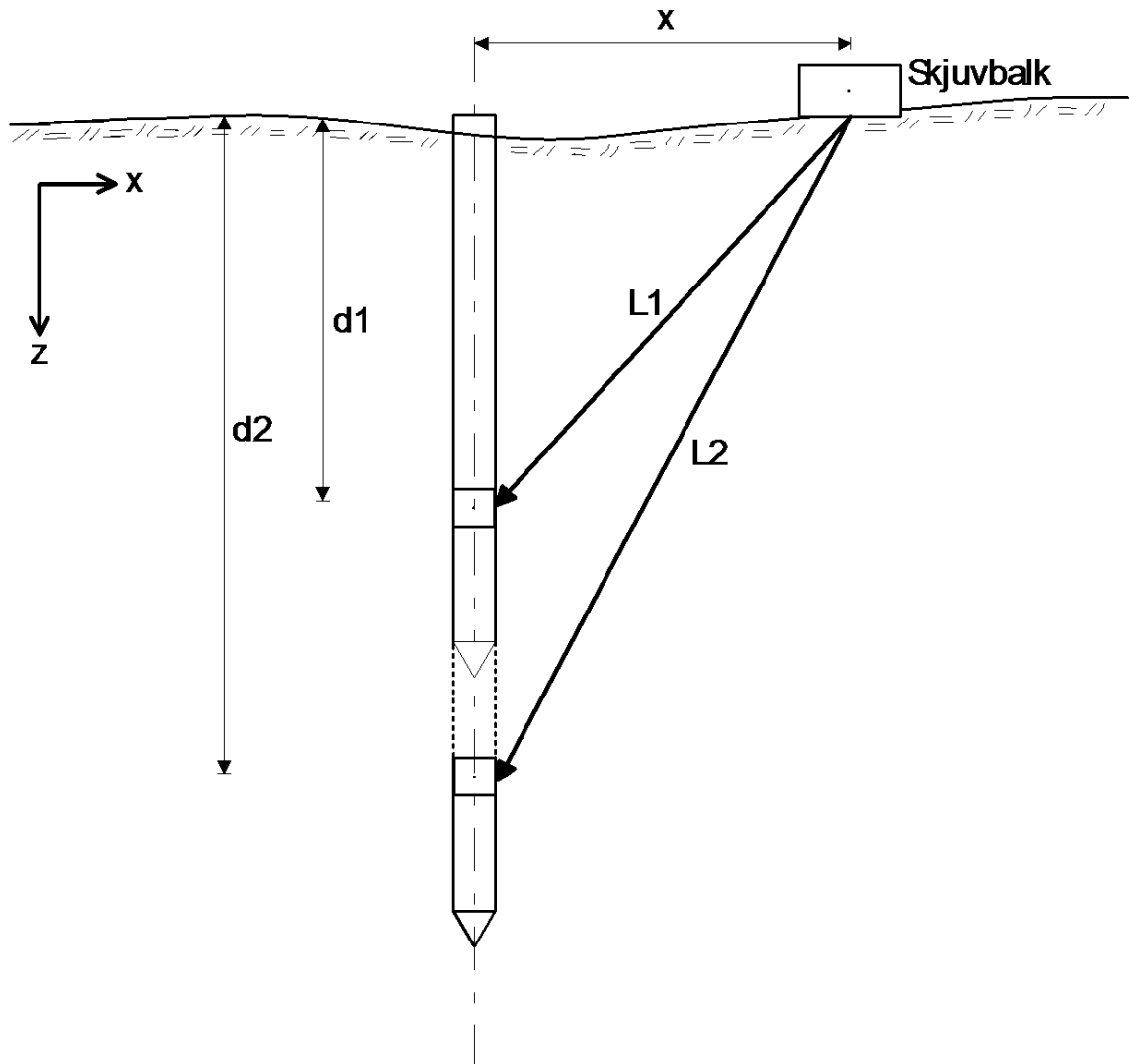
Där finns två olika principer, det ena principen bygger på två omgångar med accelerometrar med ett fast avstånd emellan accelerometrarna, se Figur 10. Accelerometrarna mäter i x-, y- och z-led.



Figur 10. Principskiss över en seismisk CPT sond med dubbla accelerometrar. Accelerometrarna i figuren beskrivs med A1 och A2. Accelerometrarna mäter i x-, y- och z-led, där y led är in i figurens plan. Denna metod kallas ibland för "true-time" då det fixa avståndet mellan accelerometrarna ger en säkrare bestämning av tidsskillnaden och därmed en bättre bestämning av gånghastigheten i jorden.

Denna princip kallas för "true-time" då beräkning av gånghastighet bygger på tidmätningen mellan första vågutbredning till accelerometer 1 och 2. Då avståndet mellan accelerometrarna är konstant kan hastigheten beräknas direkt.

Den andra principen bygger på att man utför mätningarna med enbart en omgång accelerometrar med registrering i tre led (x-, y- och z-led). Mätningen utföres först på en nivå varefter CPT sonderingen fortsätter och en ny mätning utföres på nästa nivå, se Figur 11.



Figur 11. Principskiss över en seismisk CPT sond med en accelerometer. Accelerometern mäter i x-, y- och z-led, där y led är in i figurens plan. Denna metod kallas ibland för "Pseudo-time" då avståndet mellan de olika mätningarna baseras på två olika mätningar där skillnaden i djup hämtas från CPT logningen. Här utförs först en mätning på djupet d1 varefter sonden trycks ner till djup d2 där nästa mätning utförs.

2.2.1 Utvärdering av CPT

Utvärderingen av CPT sonderingen har utförts med hjälp av Conrad version 3.1. I en finkornig jord utvärderas skjuvhållfastheten främst ut nettospetstrycket. En alternativ metod för leror är använda det genererade porövertrycket. De empiriska samband som är framtagna för svenska förhållanden är baserade på en mängd fält- och laboratedata från en mängd olika jordtyper. I en naturlig lerjord är relationen mellan nettospetstryck och skjuvhållfasthet känslig för jordens flytgräns w_L och till viss del även av överkonsolideringsgraden OCR, vilket ofta beskrivs enligt sambandet.

$$c_u = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{13,4 + 6,65w_L} \left(\frac{OCR}{1,3} \right)^{-0,2} \quad \text{Ekvation 3.}$$

I de fall då ett mått på lerans flytgräns saknas används i stället sambandet.

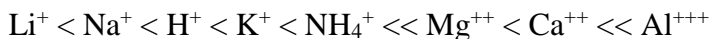
$$c_u \approx \frac{q_t - \sigma_{v0}}{N_{kt}} \quad \text{Ekvation 4}$$

Där N_{kt} (empirisk konfaktorn) brukar sättas till 16,3 för en lera. I utvärderingsprogrammet Conrad betecknas N_{kt} med N_{11} .

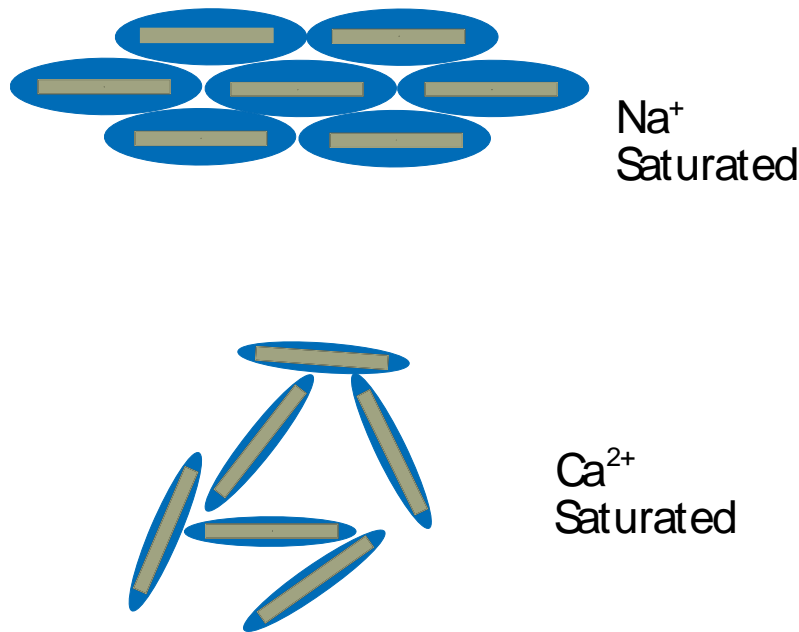
För en bindemedelsstabiliserad jord finns inte samma mängd empiri och därför inte heller mycket litteratur kring vilket värde på N_{kt} som bör användas. Där finns vissa rekommendationer att N_{kt} skall sättas till någon stans mellan 17 och 20 för en stabiliserad jord (Makusa, 2013; Larsson, 2017).

Vidare finns begränsningar med att utvärdera fastheten i olika lager hos mycket skiktad jord då spetstrycket påverkas av ovan som underliggandelager på ett avstånd av 5 till 20 spetsdiametrar. För att metoden skall kunna utvärdera ett fastare lager i en lös jord skiktets mäktighet vara 4,4 till 0,7 meter. I det omvända förhållandet med ett lösare skikt i en fastare jord bör skiktets mäktighet vara 0,2 till 0,4 meter. Detta innebär att svaghetszoner i en KC-pelare lätt kan missas i en CPT utvärdering. Detta får störst betydelse för utvärderingen av en KC-pelarförstärkning i den skjuvade zonen.

I en bindemedelsstabiliserad jord pågår pozzolana reaktioner under många månader varför en stabiliserad jords egenskaper dels förändrats över tid men även genomgått en förändring vad gäller textur etc. Förändringen av lerans textur bygger på jon byte i leran och på en förändring av vattenkvoten. Jonbytet beskrivs av den lyotropiska serien enligt nedan (Andersson, 1960).



Förändringen av strukturen hos lermineralen visas i Figur 12.



Figur 12. Förändring av lerans textur och vattenhållning när den går från ett natriummättat system till ett kalciummättat system. Efter Little (1997).

Detta medför att den stabiliserade lera får en förändring i plasticitet, flytgräns etc. Graden av förändringar beror både på typ av lermineral men också på typ av bindemedel. Dessa förändringar av den stabiliserade lerans struktur medför att de empiriska sambanden som finns mellan spetstryck och lerans skjuvhållfasthet inte stämmer på en stabiliserad lera.

För att kunna utvärdera prover lagrade vid olika temperaturer t.ex. prover lagrade i klimatrums vid 7 °C och prover som är tillverkade in situ med en annan temperaturutveckling och avsvälning jämfört med laboratorielagrade prover kan mognadstalet användas. Mognadstalet definieras enligt ekvation 5.

$$M_T = [20 + (T - 20) * K]^2 * \sqrt{t} \quad \text{Ekvation 5}$$

Där

T = temperatur (°C)

t = tid (dagar)

K = materialberoende empirisk konstant

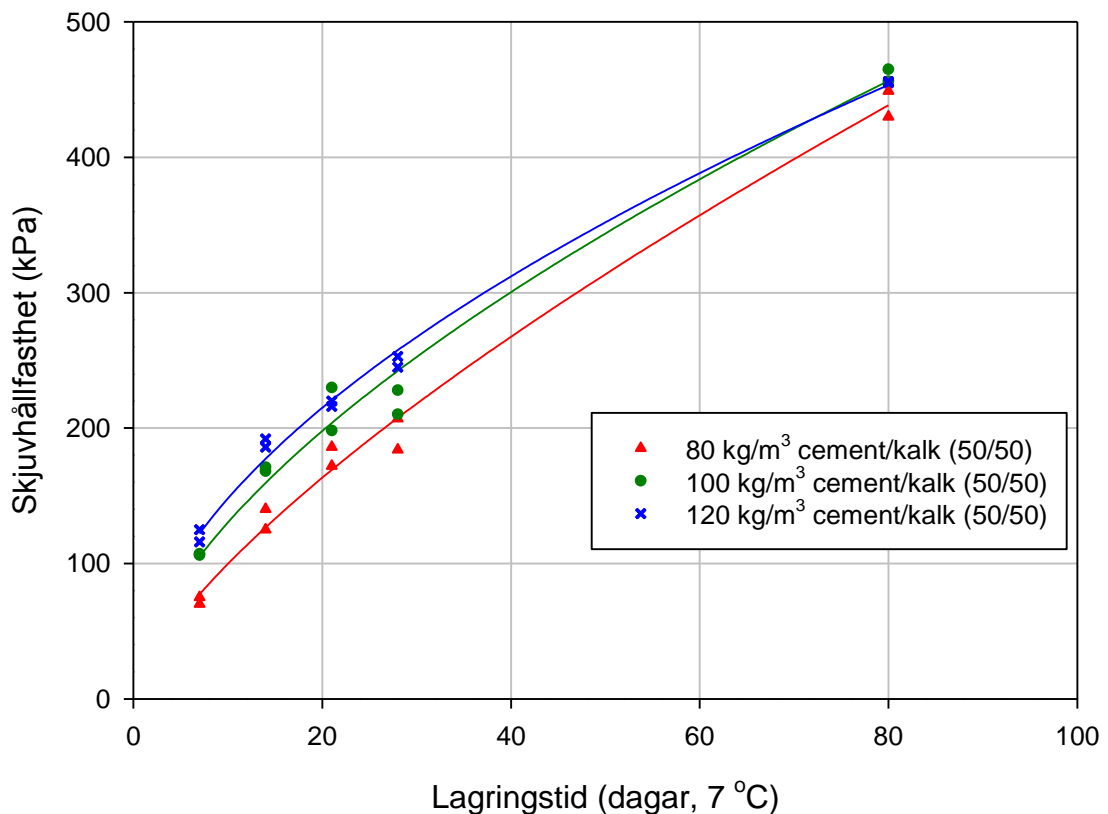
Den materialberoende empiriska konstanten, K, beräknas lättast genom att lagra provkroppar vid olika temperaturer t.ex. 7 och 20 °C. Proverna mäts sedan med resonansfrekvensmätning vid olika tidsintervall. Resultaten från seismikmätningarna används sedan för att passa in kurvorna så att de sammanfaller, d.v.s. olika värden på K ansätts varefter kurvorna jämförs. Ett vanligt värde på K är 0,5 men litteraturen har även visat på $K \approx 1$ (Åhnberg och Holm, 1987).

3. Resultat

3.1 Resultat från K/C pelar recepten

3.1.1 Hållfasthetsbestämning

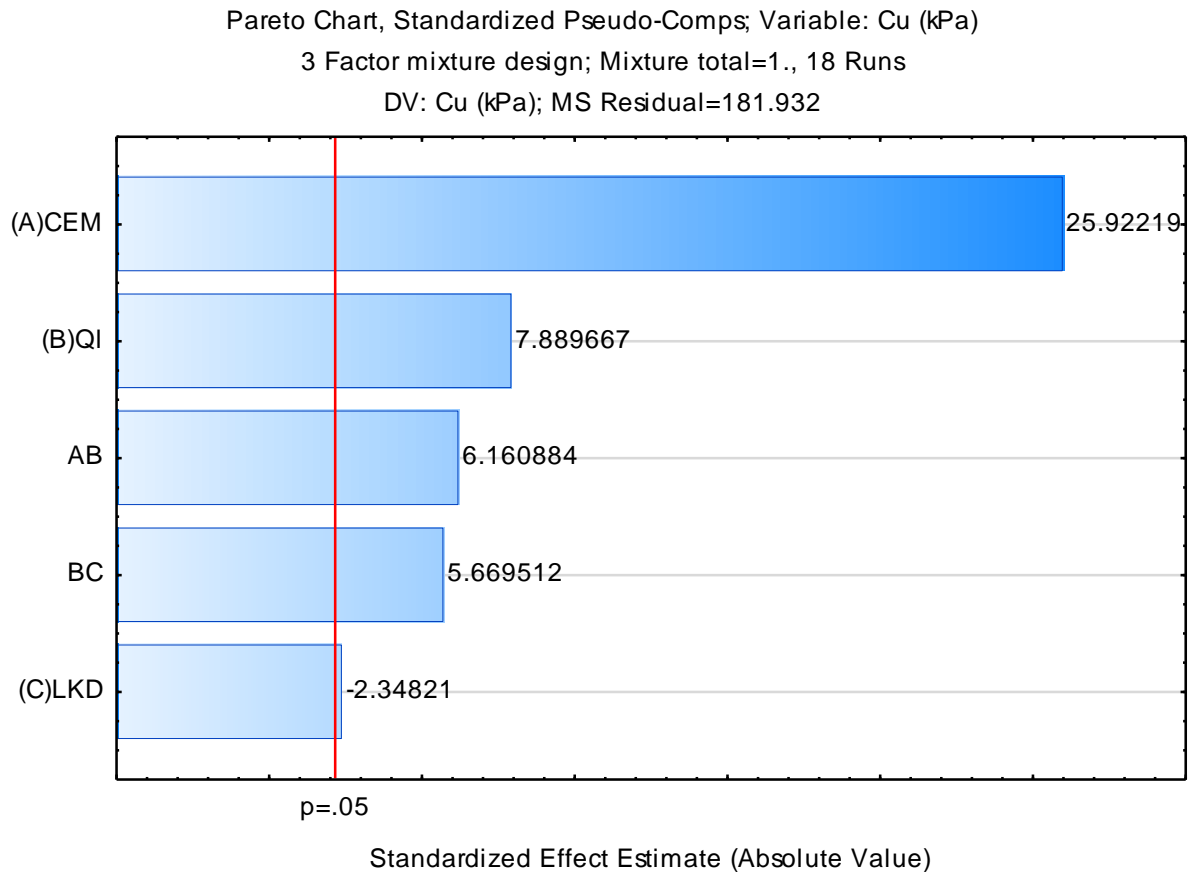
Vid utprovningen av bindemedelskombinationer användes ett referensrecept med CEM II och bränd kalk med ett inbördes förhållande på 50/50. Utvärderad skjuvhållfasthet för referensproverna vid olika härdningstider finns redovisad i Figur 13.



Figur 13. Skjuvhållfasthet som funktion av lagringstid för provkroppar stabiliserade med en bindemedelskombination av CEM II/A och bränd kalk (50/50). Bindemedelsmängderna motsvarade 80, 100 och 120 kg bindemedel per kubikmeter lera. Proverna lagrades i klimatrum med en temperatur på 7 °C.

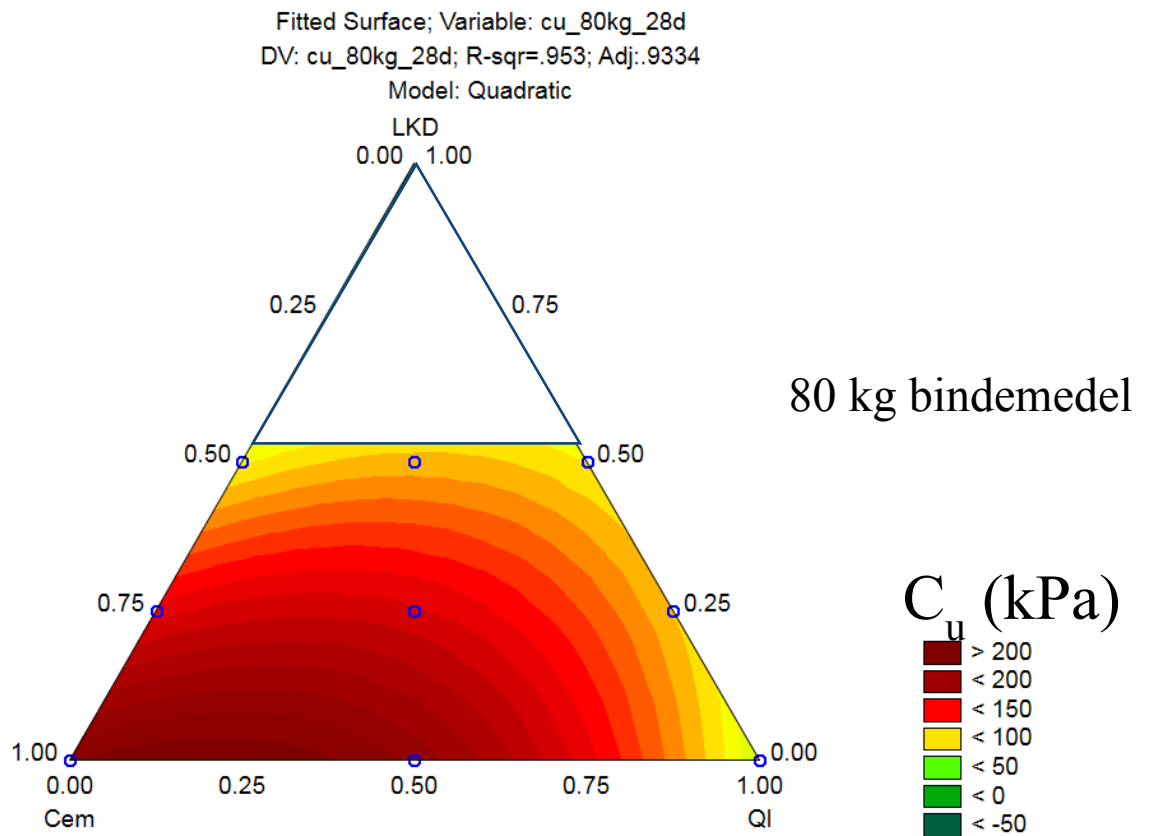
För att utvärdera effekterna av olika bindemedelskombinationer på det stabiliserade materialets skjuvhållfasthet användes en försöksuppläggning enligt Simplex Centroid. Resultatet presenteras som en responsyta. För utvärderingen användes paretdiagram. Detta visar på de olika komponenternas effekt på resultatet. En signifikansnivå på 0,05

användes, se Figur 14. För en bindemedelsmängd motsvarande 80 kg/m^3 redovisas resultatet i Figur 15. Resultatet visar på ett tydligt positivt samspel mellan de olika komponenterna (Cement, bränd kalk och LKD) i en bindemedelskombination, se Figur 14.



Figur 14. Paretodiagram visande signifikanta effekter på signifikansnivån 0,05 för en inblandning av 80 kg bindemedel per kubikmeter jord.

Positivt samspel innebär att komponenterna genererar en högre hållfasthet tillsammans än vad som kan förväntas vid en linjär regression mellan effekterna av de enskilda bindemedlen. Modellen har en förklaringsgrad på 95 %, d.v.s. modellen förklarar 95 % av variationerna i skjuvhållfasthet.

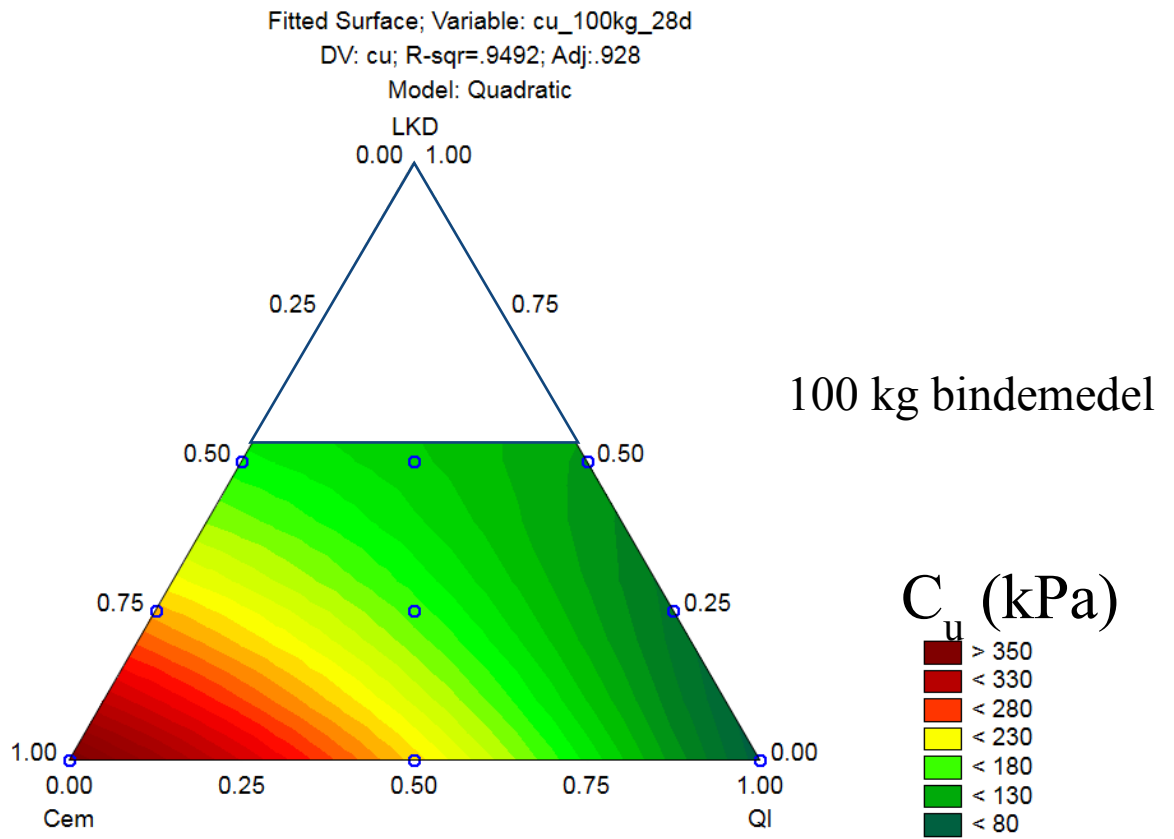


Figur 15. Responssyta visande skjuvhållfasthet efter 28 dagns härdning i 7 °C. Bindemedelsmängden motsvarande 80 kg/m³, jmf Figur 3.

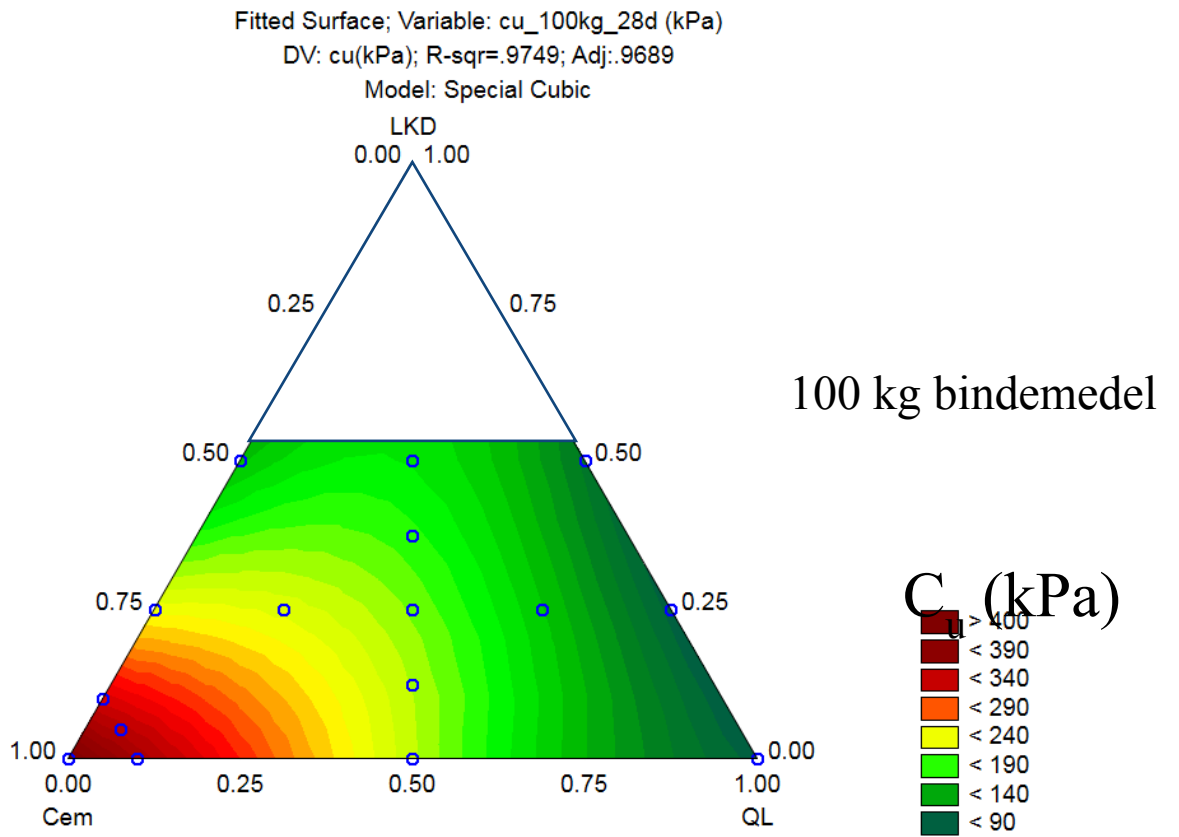
Försöksuppställningen för bindemedelsmängden 100 kg/m³ lera innehåller ett utökad antal försök. För jämförelse med de andra bindemedelsmängderna utfördes även en analys med samma antal försökspunkter som för 80 respektive 120 kg bindemedel, se Figur 16. Resultatet från denna analys visar på en något lägre positivt samspel mellan bindemedlen.

Detta skall dock jämföras med resultatet från analysen av det utökade försöket som redovisas i Figur 17. I försöksuppställningen med fler inre försökspunkter ökar upplösningen och modellens förklaringsgrad ökar från 95 % till 97,5 %¹. Den utökade modellen visar på ett större samspel mellan de olika bindemedelskomponenterna. En tre dimensionell presentation av responssytan finns redovisad i Figur 18. En utökad modell hade förmodligen påverkat resultatet även i de övriga modellerna.

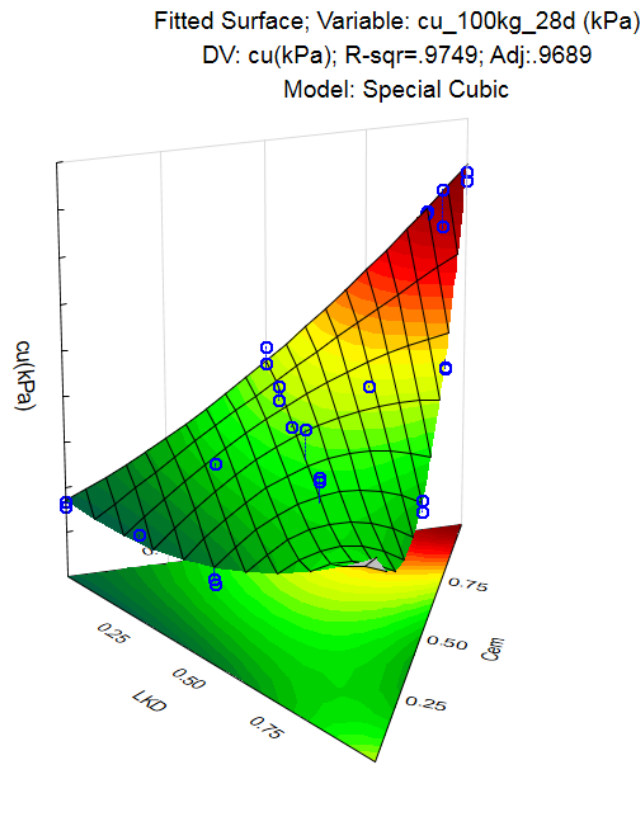
¹ Här hänvisas till litteratur inom statistik för skillnaden mellan R² och justerad R².



Figur 16. Responstyta visande skjuvhållfasthet 28 dygns härdning i 7 °C. Bindemedelsmängden 100 kg/m³, jmf Figur 3.

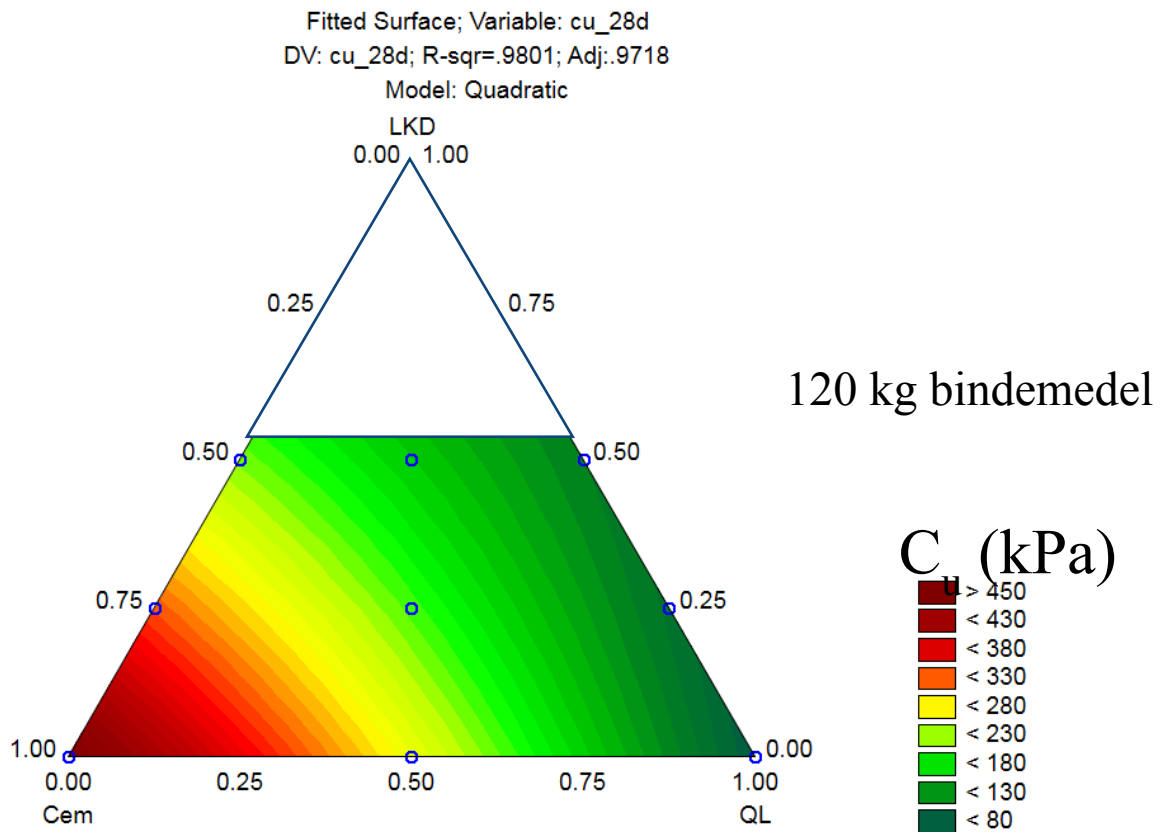


Figur 17. Responssyta med inre punkter visande skjuvhållfasthet efter 28 dagns härdning i 7 °C. Bindemedelsmängden 100 kg/m³, jmf Figur 4 och Figur 16.



Figur 18. 3-D presentation av responsyta med inre punkter visande skjuvhållfastheten efter 28 dygns härdning i 7 °C. Bindemedelsmängden motsvarande 100 kg/m³, jmf Figur 17.

För inblandningsmängden motsvarande 120 kg bindemedel per kubikmeter lera erhöles responsytan enligt Figur 19. Vid denna inblandningsmängd var bindemedelskomponenternas positiva samspel litet. Responsytans förklaringsgrad var 98 %.



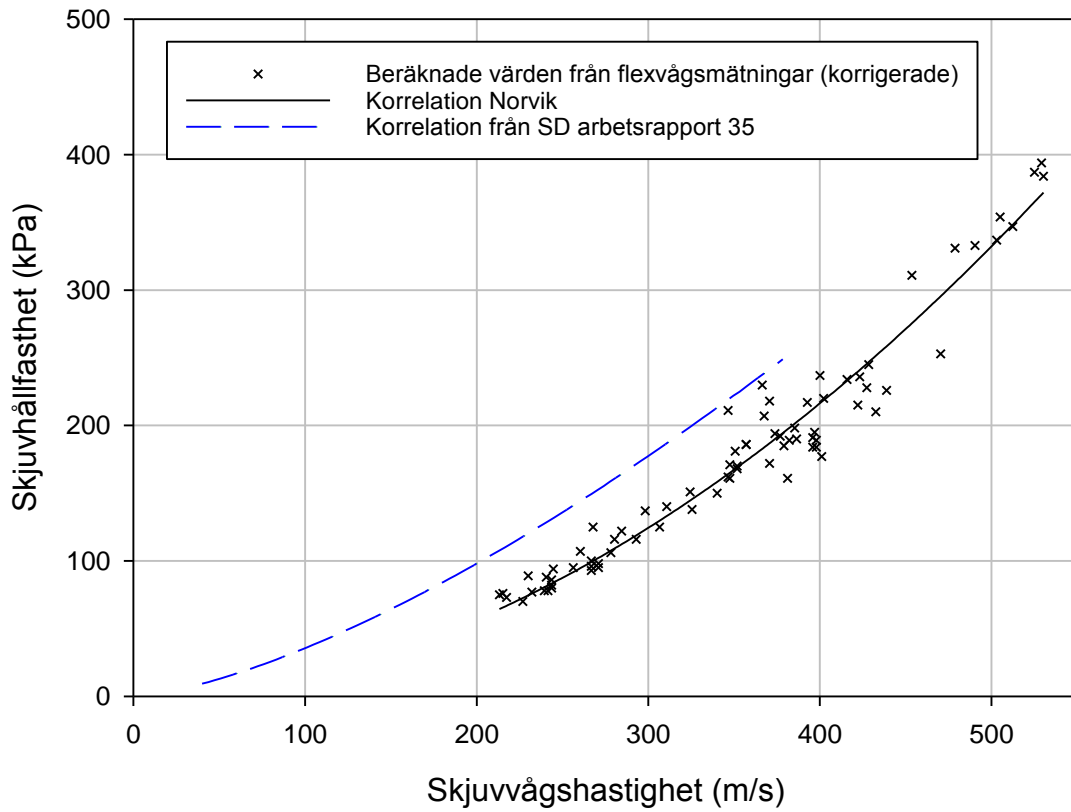
Figur 19. Responssyta visande skjuvhållfasthet efter 28 dagns härdning i 7 °C. Bindemedelsmängden motsvarande 120 kg/m³, jmf Figur 3.

3.1.2 Seismikmätningar

Seismikmätningarna utfördes som P-vågsmätningar enligt resonansfrekvens metoden. P-vågen är den axiella vågen genom den cylindriska provkroppen. I detta fall har P-vågen korrelerats mot det stabiliserade materialets skjuvhållfasthet.

För dimensionering av K/C pelare används materialets skjuvhållfasthet. Detta innebär att de olika bindemedelsrecepten bedöms efter erhållen skjuvhållfasthet efter en viss lagringstid. Kopplingen mellan P-vågshastigheten och tryckhållfastheten är indirekt och materialberoende, d.v.s. beror på jordmaterialets sammansättning.

En korrelation mellan S-vågshastighet och skjuvhållfasthet för den stabiliserade jorden redovisas i Figur 20. Skjuvvågshastigheten är justerad enligt en artikel av Verástegui-Flores *et al*, (2015).



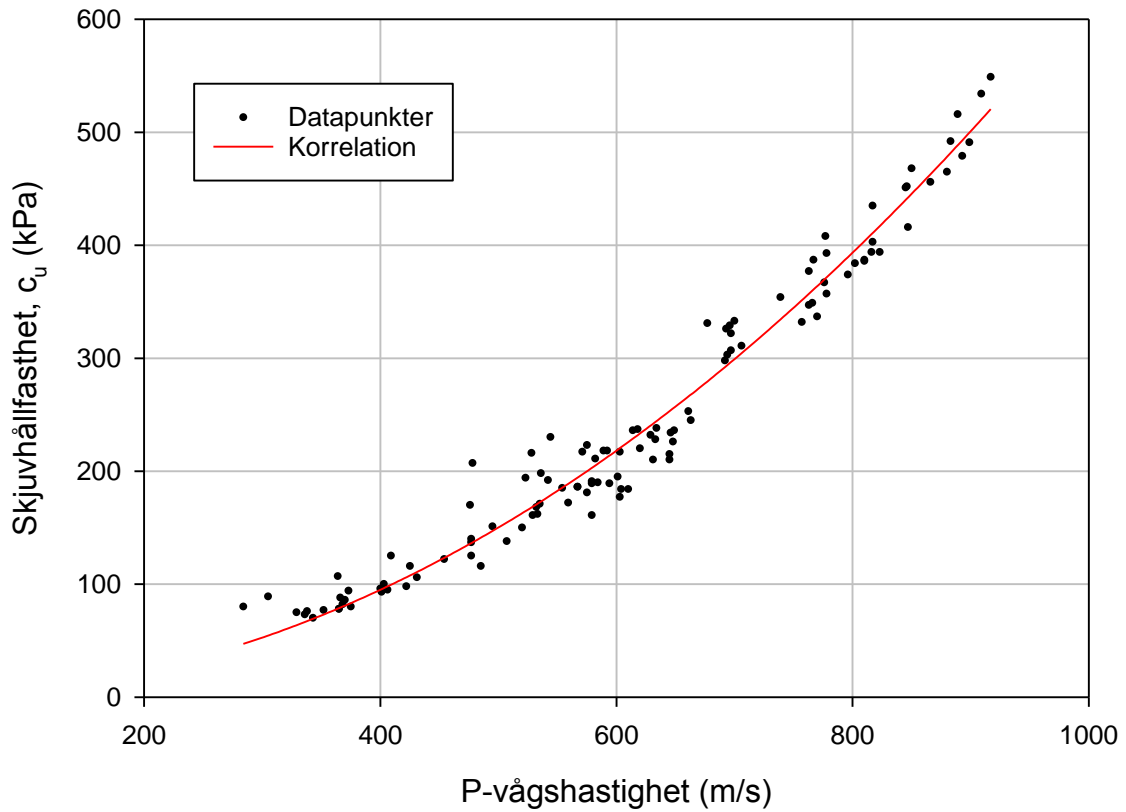
Figur 20. Skjuvhållfasthet som funktion av skjuvvågshastighet för stabiliserad lera från Norvik. I grafen finns även inritat korrelationen från SD Arbetsrapport 35.

$$\tau_{fu} = 0,0424V_s^{1,462} \quad \text{Ekvation 6}$$

$$\tau_{fu} = 0,0021V_s^{1,9244} \quad \text{Ekvation 7}$$

Resultaten från ovanstående mätningar kan användas för prediktering av skjuvhållfasthet baserat på uppmätt P-och S-vågshastighet från in situ mätningar t.ex. med down hole mätningar.

För Norviksprojektet utfördes mestadels P-vågsmätningar. Korrelationen mellan P-våg och skjuvhållfasthet finns redovisad i Figur 21.

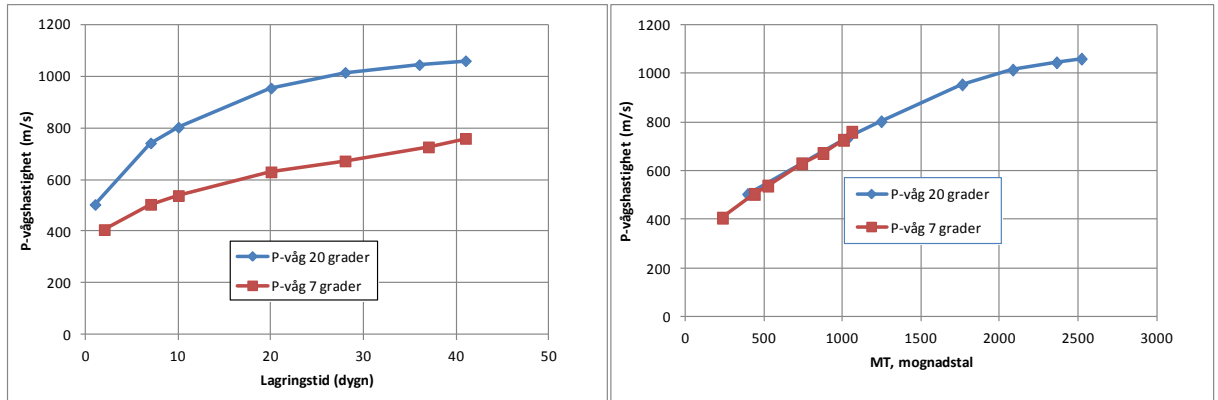


Figur 21. Graf visande skjuvhållfasthet som funktion av P-vågshastigheten för stabiliserade prover från Norvik.

$$\tau_{fu} = 0,0004V_p^{2,0497}$$

Ekvation 8

För att kunna göra en korrekt jämförelse mellan olika stabiliserade provkroppar/prover med olika ålder måste omgivningstemperaturen beaktas. I laboratorieförsöken lagras provkropparna oftast i klimatrium med en konstant temperatur på 7 °C där den exoterma energin från proverna kyls bort vilket påverkar hållfasthetsutvecklingen. I fält är temperaturen oftast betydligt högre beroende en minder avkyllning. Temperaturen i fält är också beroende på mängd och typ av bindemedel. Jämförelsen mellan prover härdade i olika temperaturer görs lämpligast med hjälp av mognadstal. I Figur 22 redovisas P-vägs mätningar som funktion av lagringstid och omräknat till mognadstal på prover lagrade i 7 resp. 20 °C.



Figur 22. Graf visande P-vågshastighet som funktion av lagringstid respektive P-vågshastighet som funktion mognadstal, M_T . I beräkningen av mognadstalet, ekvation. 5, har K faktorn bestämts till 0,55 genom passning.

Utvärderingen av K faktorn utfördes genom passningsräkning. Ovanstående figurer visar på svårigheterna att jämföra hållfastheter mellan laboratorieinpackade prover med resultat från fältmätningar innan sluthållfastheten är uppnådd. I Norviksprojektet utfördes inga temperaturmätningar i fält. Vidare användes graddygn som ett mått på härdningsförloppet. Graddygn bör ersättas med mognadstal.

3.2 Fältundersökningar

I projektet utfördes fältundersökningarna mellan den 7/11 och den 10/11 – 2016. Sonderingarna utfördes med en Geotech 607 som förankrades med en skruv för att uppnå tillräcklig mothållande kraft, se Figur 23.



Figur 23. Foto från CPT sondering i Norvik. Foto Per Lindh.

Själva sonderingen utfördes som en traditionell CPT sondering med den skillnaden att vid det djup där de seismiska mätningarna skulle utföras pausades själva CPT sonderingen och P- och S-vågsmätningarna tog vid. Mätningarna startades genom att en slägga som var förbunden med en jordkabel till mätutrustningen användes för att generera skjuv- respektive kompressionsvåg. I början uppstod problem med signalen vilket bland annat kunde spåras till motorvibrationer och överföring mellan borrhuck och borrstål. Detta löstes genom att borrhucken släpptes och borbåndvagnens motor stängdes under seismikmätningarna.

CPT sonderingarna utfördes aldrig i centrum av pelarna för att undvika störningar i pelarnas centrum som härrör från själva pelarinstallationen. Resultaten från CPT sonderingarna finns även redovisade i Bilaga 2.

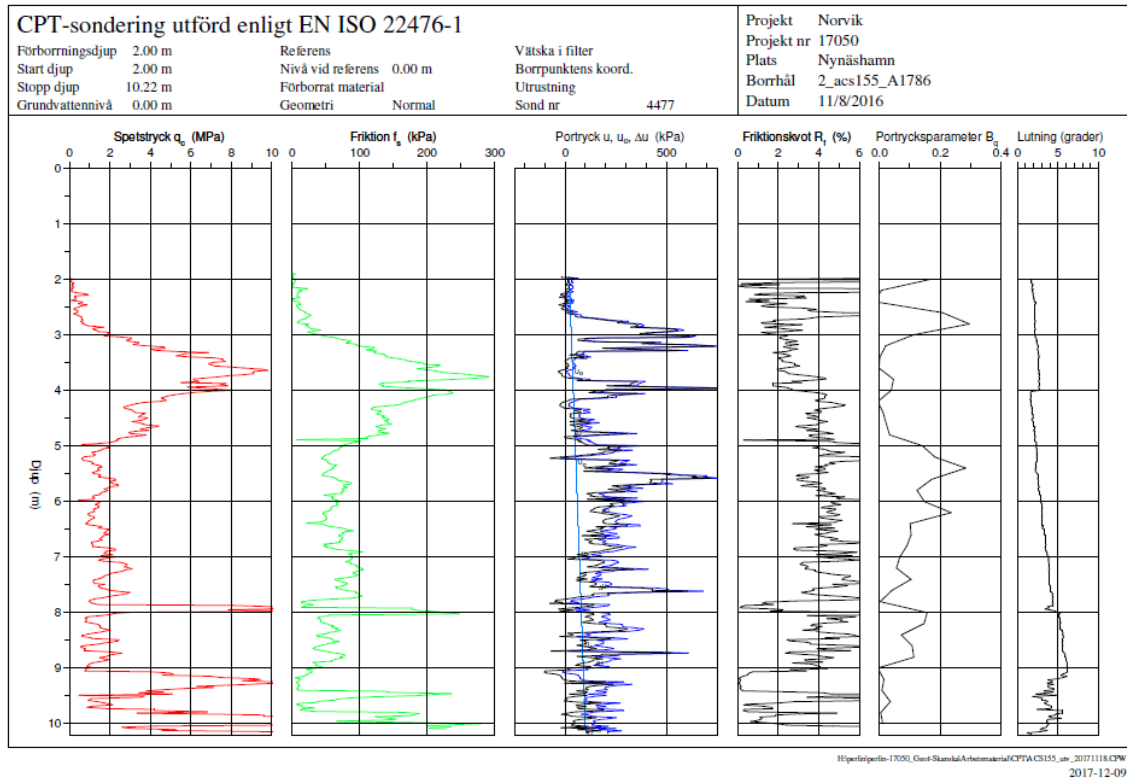
Totalt undersöktes 7 olika KC-pelare med en varierande ålder mellan 9 dagar och 49 dagar. Data för de undersökta pelarna finns redovisade i Tabell 1.

Tabell 1. Sammanställning av data från sonderade pelare.

Pelare	Ök Pelare	Verklig uk pelare	Stabiliserad pelar-längd	Tomborr-ning	m Genomsnitt Kg/m	Stigning mm/varv	Tillverknings-datum	KC/SC 50kg	SCPT Datum	Ålder antal dagar
acs155	-0,9	-25,1	24,2	0,8	51	20	2016-10-12	24,2	2016-11-08	26
acw151	-0,7	-24,2	23,5	0,8	50,3	20	2016-10-11	23,5	2016-11-08	28
ada147	-0,7	-24,2	23,5	0,8	50,2	20	2016-10-10	23,5	2016-11-08	28
adc148	-0,6	-24,2	23,6	0,8	50	20	2016-10-10	23,6	2016-11-09	29
aea358	0,1	-12,0	12,1	0,8	50,5	20	2016-10-31	12,1	2016-11-09	9
aeg35	-0,5	-11,5	11	0,8	51,1	20	2016-09-19	11	2016-11-07	49
aec356	-	-	-	-	-	-	-	-	2016-11-10	-

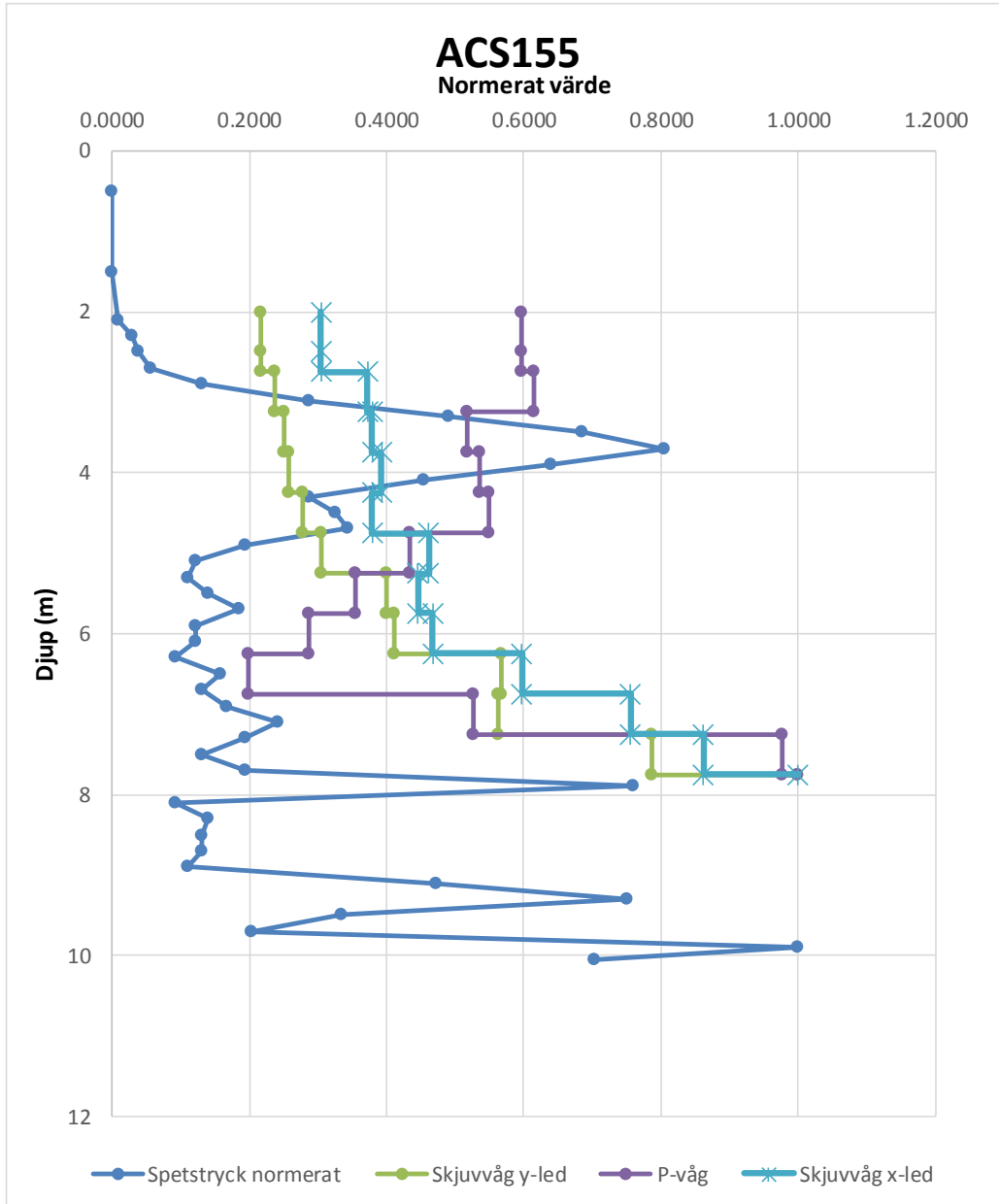
Då där finns signifikanta osäkerheter kring utvärderingen av en stabiliserad jords skjuvhållfasthet baserat på spetstryck eller portrycksuppbyggnad från CPT sondering har denna rapport fokuserat på att jämföra normerade värden mellan spetstryck, q_c och normerade resultat från seismikmätningar. Normeringen utfördes genom att resultaten dividerades med det största värdet. Seismikmätningarna registrerades i tre led varav x- och y-led representerar skjuvvågmätning och z-led representerar kompressionsvågmätning. Utvärderingarna finns redovisade i bilaga 3.

För KC-pelare acs155 redovisas uppmätta parametrar i Figur 24.

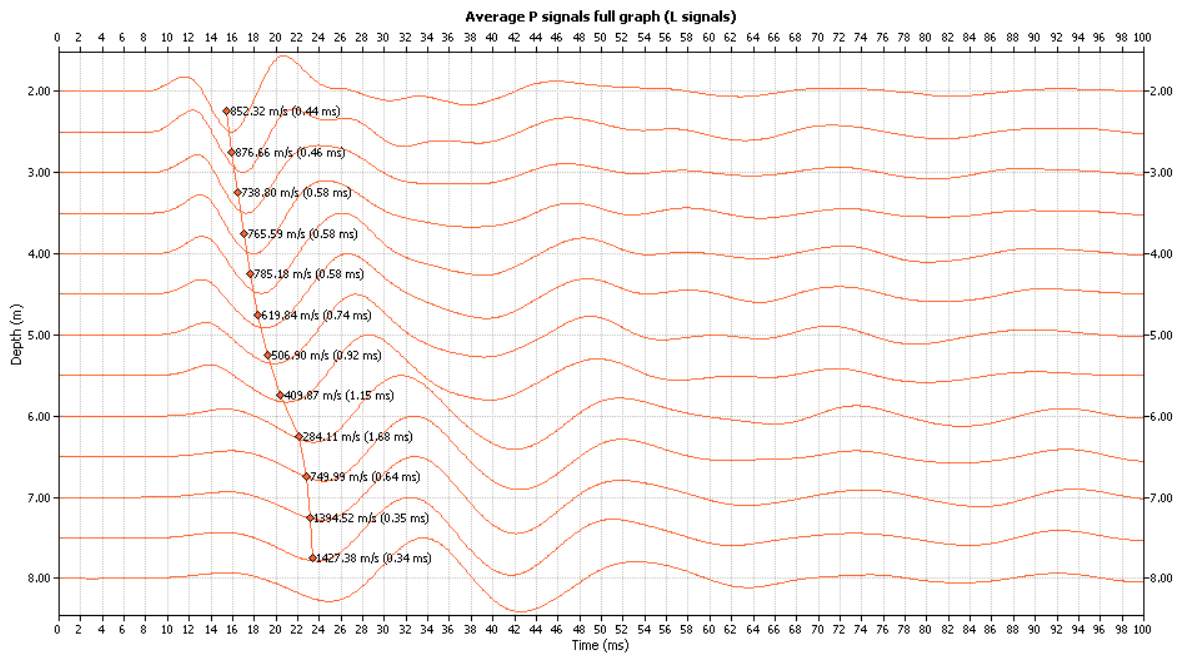


Figur 24. Graf visande utvärderade resultat från CPT sondering av KC-pelare acs155.

Resultatet visar på en stor variation mer mycket lågt spetsmotstånd mellan 2 och 2,5 meter under markytan varefter spetsstrycket ökar upp till ca 10 MPa vid nivån 3,5 meter. Mellan 5 och 8 meter ligger spetsstrycket mellan 1 och 3 MPa för att vid 8 meter brant stiga till över 10 MPa. Sonderingen avbröts vid djupet 10 meter på grund av stopp på grund av stort spetsstryck. Uppmätt friktion visar på samstämmiga resultat men med en del fördröjning på slutet av sonderingen. Resultaten från seismikmätningarna visar på inbördes god överensstämmelse mellan skjuvvåg i x- och y-led. Däremot fångas inte det höga spetsstrycket kring nivån 3,5 m u.my. Kompressionsvågen visar på en bättre överensstämmelse med spetsstrycket och de utvärderade P-vågshastigheterna, se Figur 25. P-vågshastigheten ner till nivån 7 m ligger inom de i laboratoriet mätta kompressionsvågshastigheter, jmf Figur 26 och Figur 21. Värdena är dock ganska höga speciellt med tanke på att pelarens ålder vid sonderingen endast var 26 dagar.

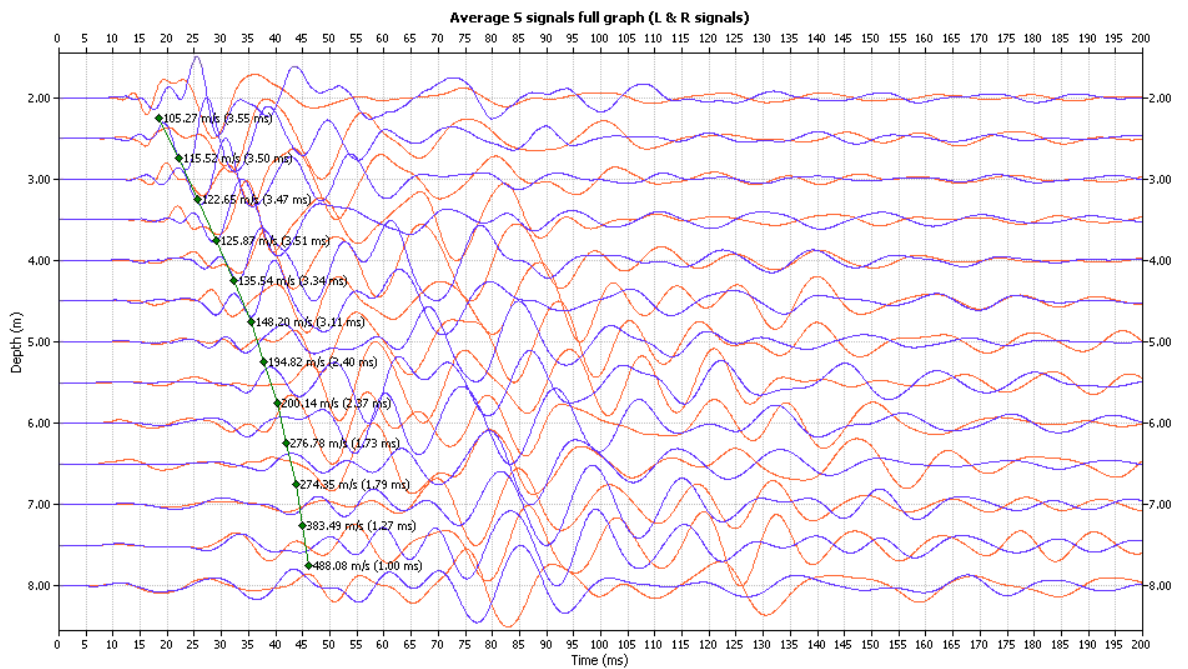


Figur 25. Normerat spetstryck, S-våg och P-våg för KC-pelare acs155.



Figur 26. Utvärderade kompressionsvågshastigheter från acs155.

Den uppmätta skjuvvågshastigheten för pelaren finns redovisad i Figur 27.



Figur 27. Utvärderade skjuvvågshastigheter från acs155.

Grafen visar på resultat från utvärderad skjuvvåg exciterad från både höger och vänster i x-led. Resultaten visar på låga skjuvvågshastigheter. I Tabell 2 redovisas P- och S-vågs-hastigheter för pelare acs155. I tabellen finns också beräknade skjuvhållfasthetsvärden utifrån laboratoriebestämda samband.

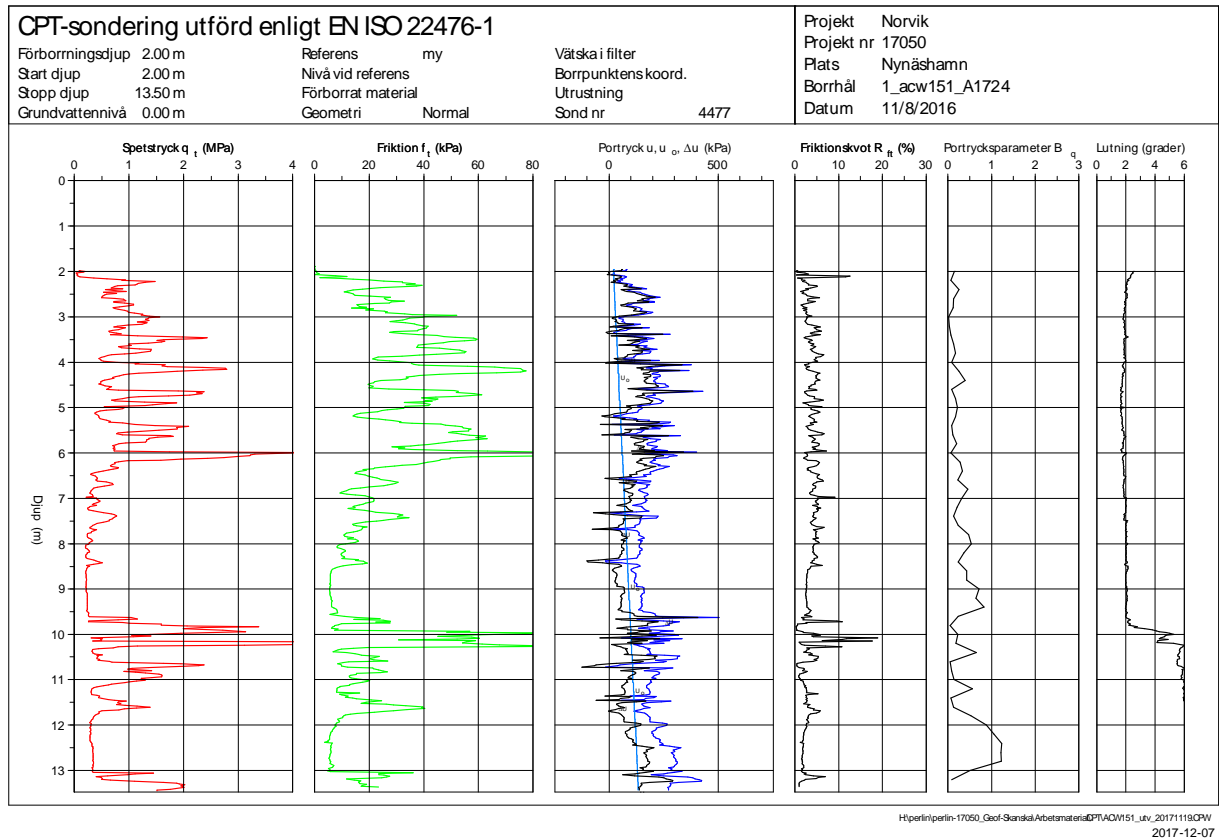
Tabell 2. Tabell visande utvärderade resultat från seismisk CPT för pelare acs155.

Djup	P-våg	Utv. c_u från P-våg	S-våg x-led	S-våg y-led	S-våg medel	Utv. c_u från S-våg
(m)	(m/s)	(kPa)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(kPa)
2,25	852	406	98,94	105,27	102,11	15
2,75	877	431	121,06	115,52	118,29	20
3,25	739	303	123,13	122,65	122,89	22
3,75	766	326	127,6	125,87	126,74	23
4,25	785	343	123,17	135,54	129,36	24
4,75	620	212	149,97	158,2	149,09	32
5,25	507	140	144,83	194,82	169,83	41
5,75	410	91	152,01	200,14	176,08	44
6,25	284	43	194,3	276,78	235,54	77
6,75	750	313	245,61	274,35	259,98	93
7,25	1395	1115	280,15	383,49	331,82	149
7,75	1427	1169	325,17	488,08	406,63	220

Det framgår tydligt att de utvärderade hållfastheterna från P-vågsmätningen ligger förhållandevis högt och förmodligen över den faktiska hållfastheten emedan hållfastheterna utvärderade från S-vågsmätningarna ligger klart under de förväntade hållfastheterna. Ner till djupet 6 meter ligger de utvärderade hållfastheterna endast något över de initiala hållfastheterna hos den naturliga leran. I Figur 24 visas sonderingsresultatet från pelare acs155. Detta resultat indikerar på en signifikant skillnad gentemot en sondering i naturlig lera, jmf Figur 38.

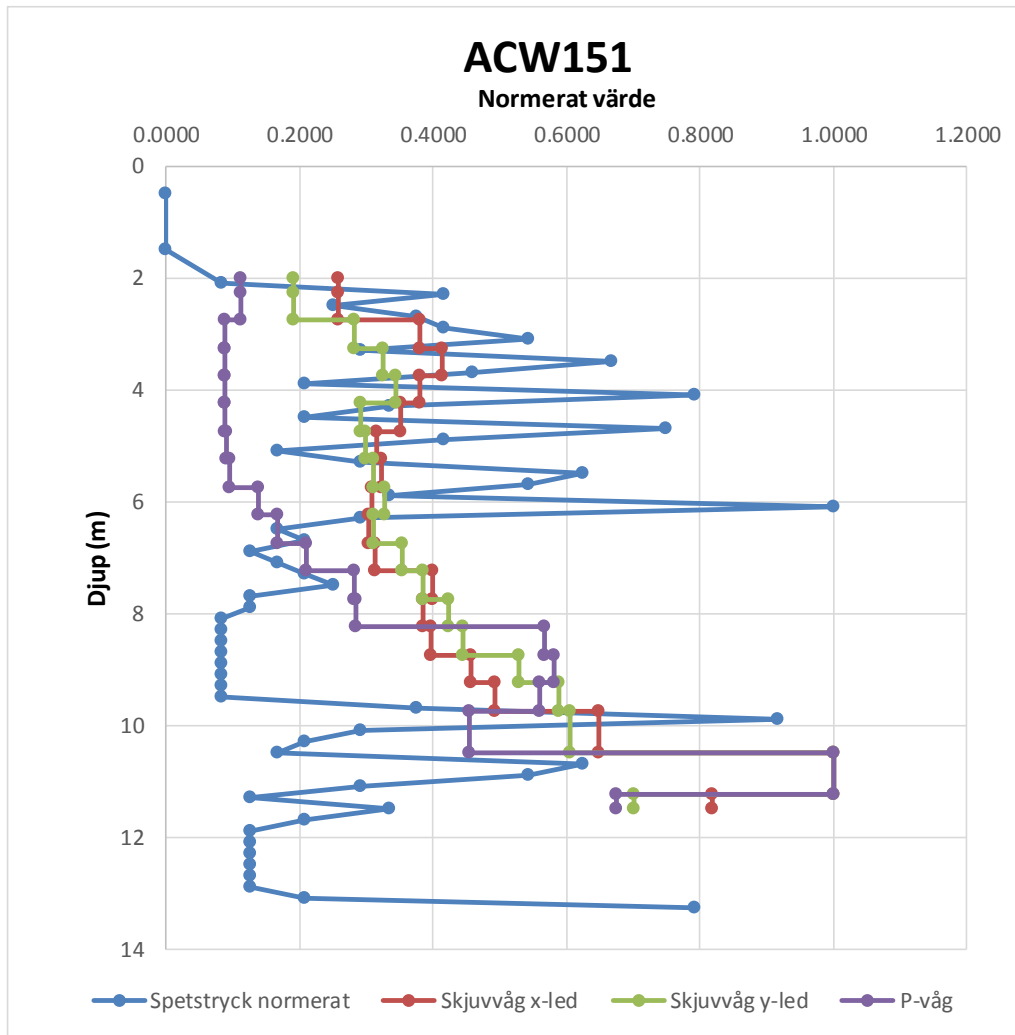
Resultaten från sonderingen av pelare acs155 indikerar att det inte går att utvärdera några säkra resultat utifrån den seismiska CPTn. Själva CPT sonderingen visar på att jorden har blivit förstärkt med ett väldigt fast parti kring 3,5 m under markytan.

Den utvärderade CPT sonderingen för pelare ACW151 finns redovisad i Figur 28. Spetsstrycket varierar från under 0,5 MPa till över 4 MPa. Detta kan tyckas som lågt för en pelare som vid sonderingstillfället hade en ålder på 28 dygn.



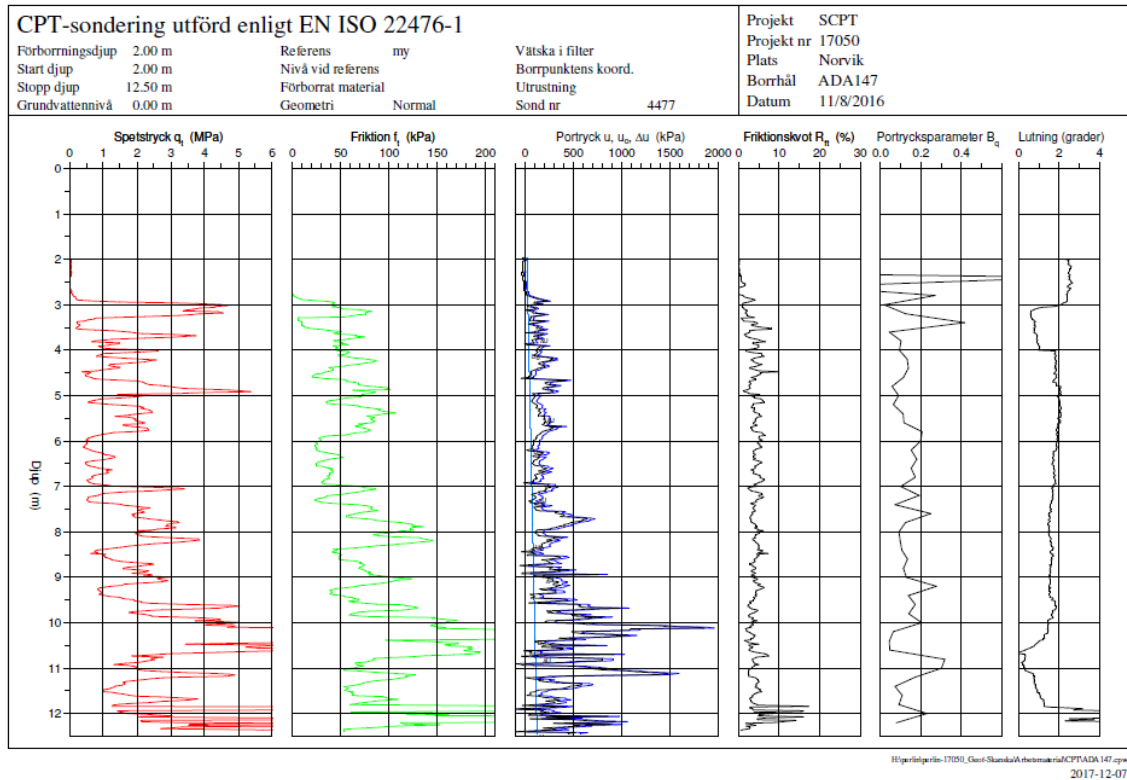
Figur 28. Utvärdering av sonderingsresultat för pelare acw151.

För pelare acw151 visar de normerade värdena mellan spetsstryck, P- och S-våg dålig överensstämmelse, se Figur 29. Den utvärderade S-vågen ger en ganska god överensstämmelse mellan x- och y-led men följer inte resultaten från spetsstrycket. Den högsta utvärderade P-vågshastigheten är nästan 5000 m/s vilket är i paritet med hastigheten i stål.



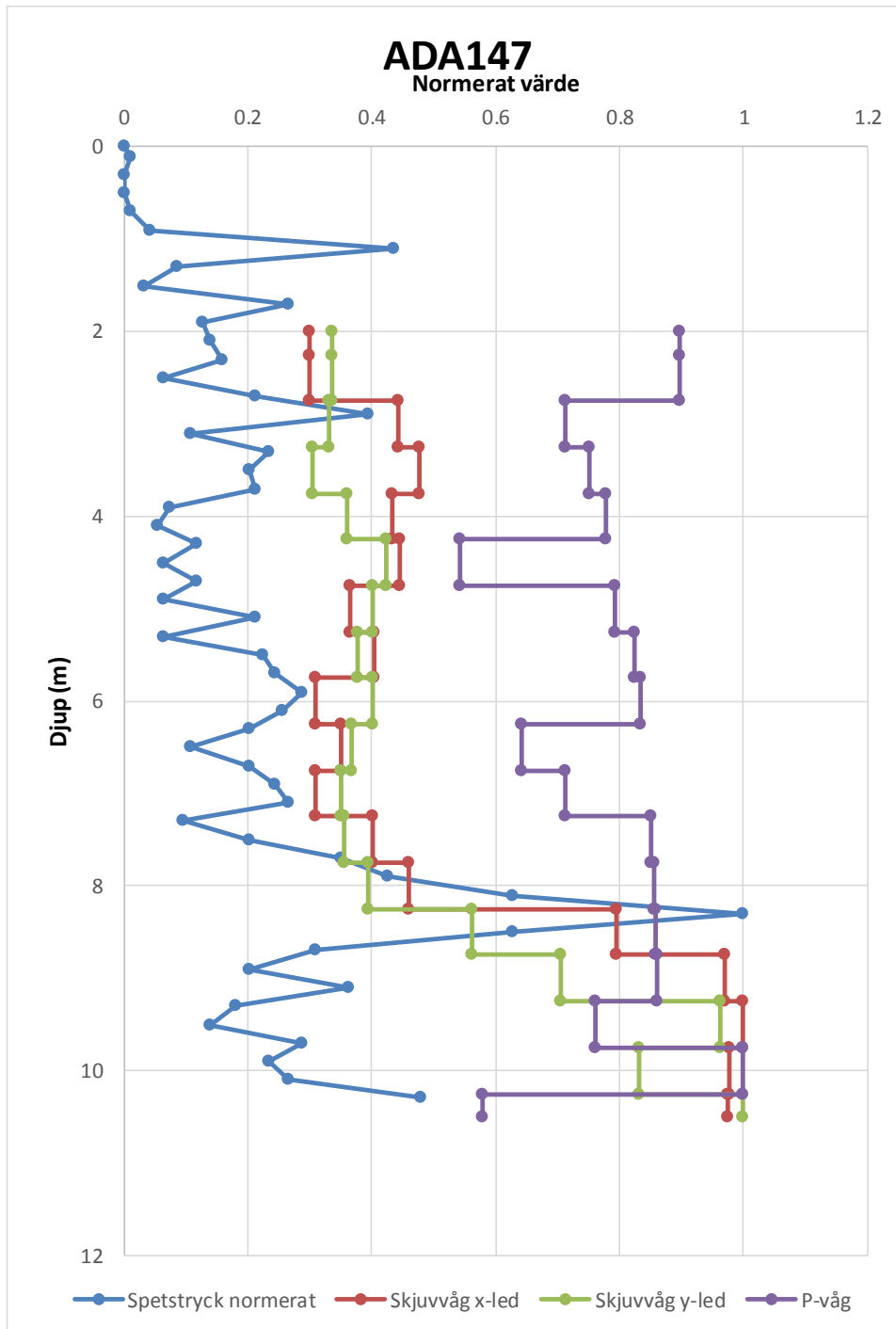
Figur 29. Normerat spetstryck, S-våg och P-våg för KC-pelare acw151.

I Figur 30 redovisas sonderingsresultatet från CPT sonderingen av pelare ada147. Spetstrycket varierar från ca 0,5 MPa upp till över 6 MPa. Detta visar på en mycket stor variation i hållfasthet och tyder på svårigheter att bedöma en pelares hållfasthet utifrån CPT sondering.



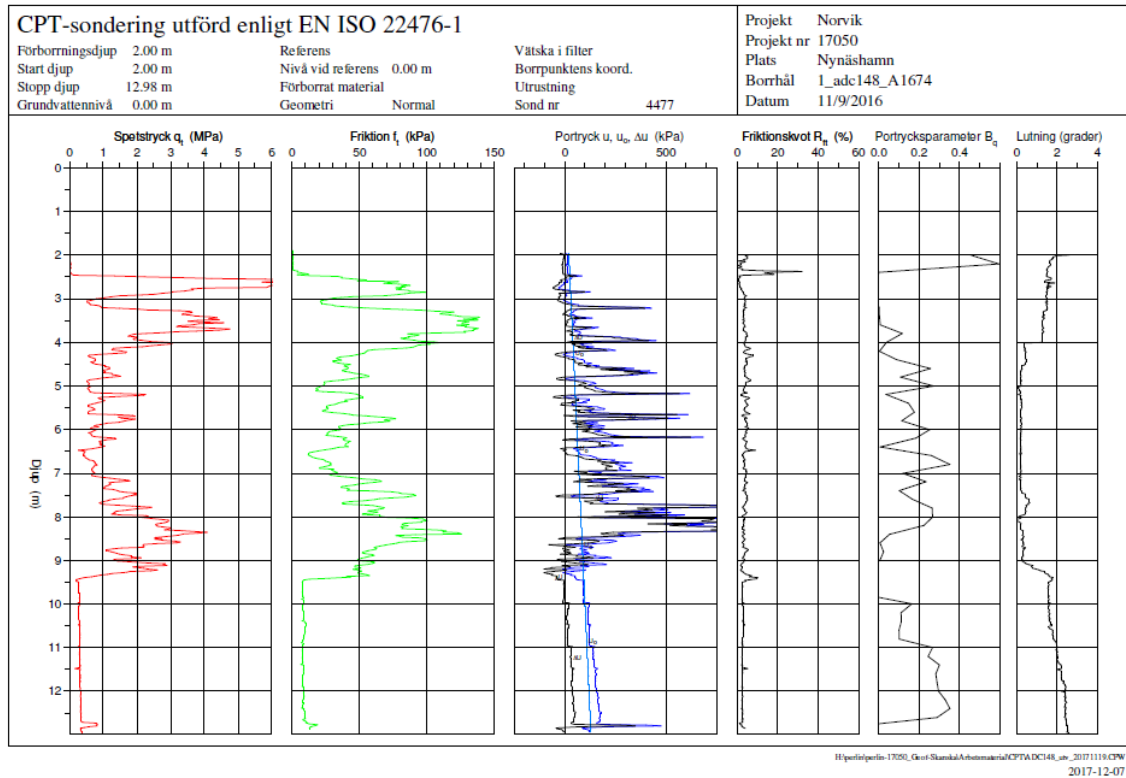
Figur 30. Utvärdering av sonderingsresultat för pelare ada147.

Figur 31 visar normerade värden för pelare ada147. Skjuvvågshastigheterna, se bilaga 3, visar på låga hållfastheter. De seismiska bestämningarna ger en bulkmodul vilket inte fångar de stora variationerna i spetstrycket utan snarare ger ett medelvärde. Korrelationen mellan spetstryck och skjuvvågshastigheter är låg. Den utvärderade kompressionsvågshastigheten visar på värden över 2000 m/s vilket inte är trovärdigt.



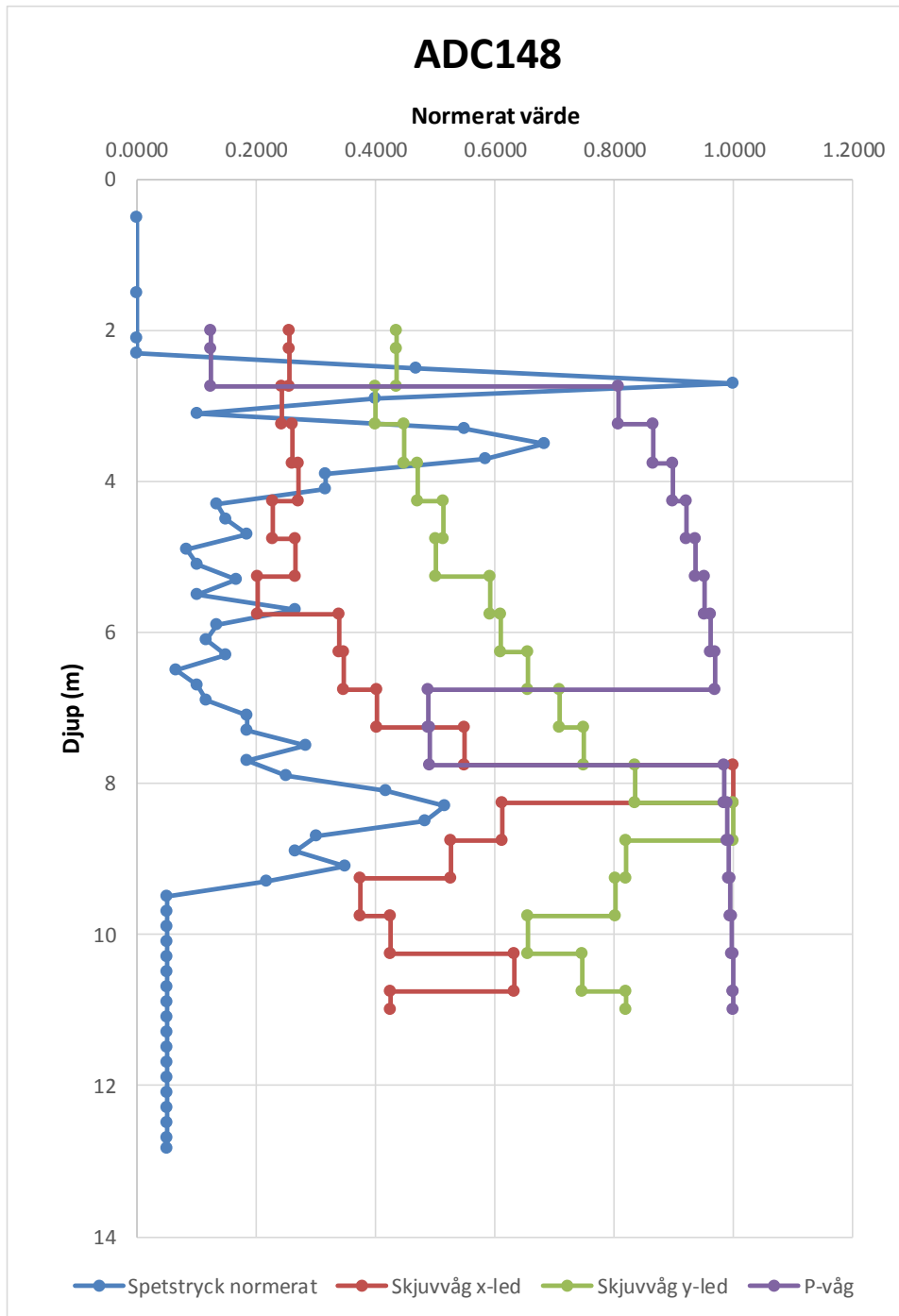
Figur 31. Normerat spetstryck, S-våg och P-våg för KC-pelare ada147.

Pelare adc148 visar också stora variationer i spetstryck. CPT-sonden se ut att ha gått ur pelaren ca 9 meter under markytan, se Figur 32.



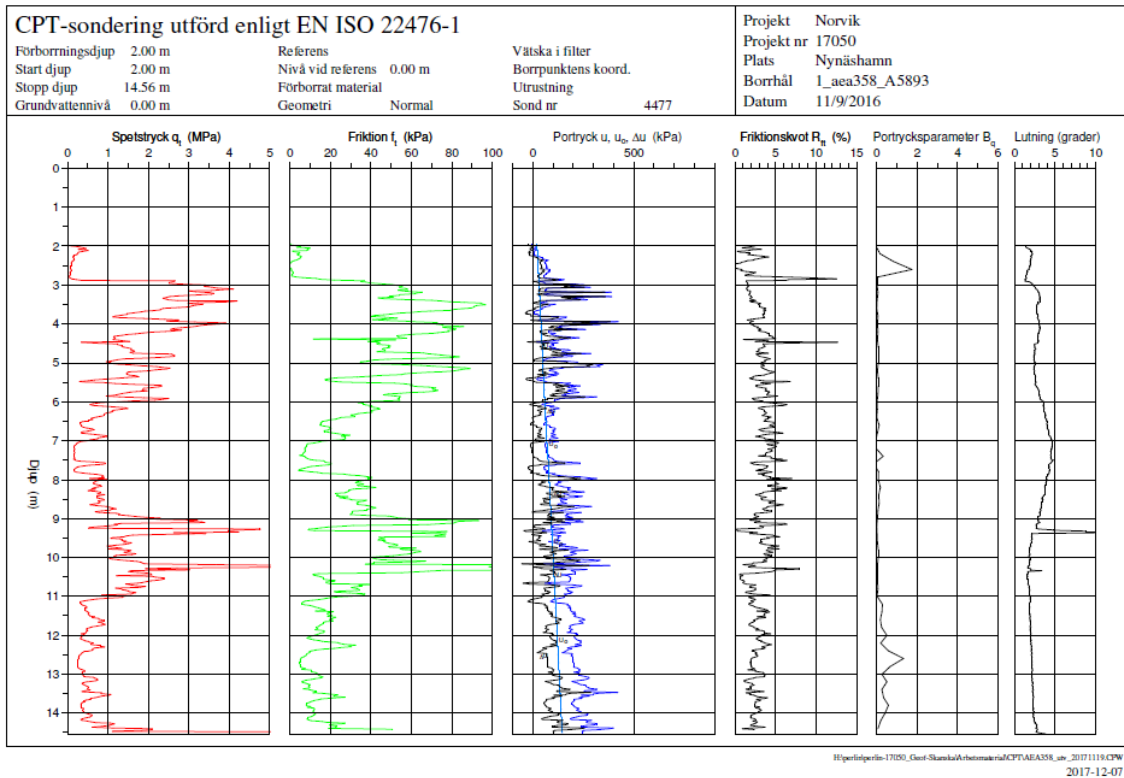
Figur 32. Utvärdering av sonderingsresultat för pelare adc148.

Denna pelare visar på en onormalt stor skillnad i skjuvvåg mellan x-led och y-led. Varken S- eller P-vågshastigheterna visar på god överensstämmelse med spetsmotståndet, se Figur 33. P-vågshastigheterna varierar mellan 1000 och 2000 m/s vilket inte avspeglar den förväntade hållfastheten.



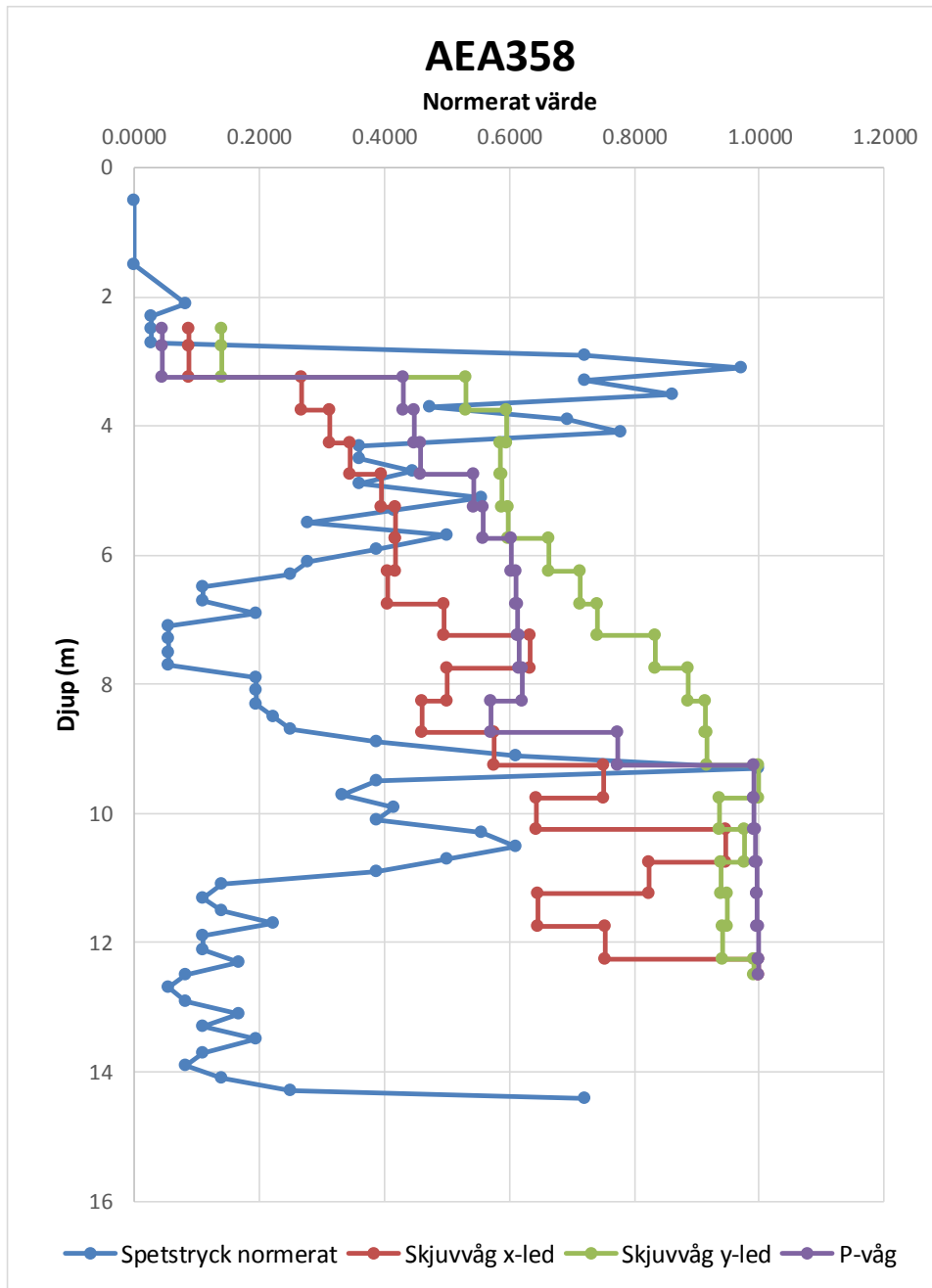
Figur 33. Normerat spetstryck, S-våg och P-våg för KC-pelare adc148.

Sonderingsresultatet från pelare aea358 uppvisar liknande mönster som de övriga pelarna, se Figur 34. Spetstrycket visar på mycket låga värden vid 7,5 meter u.my.



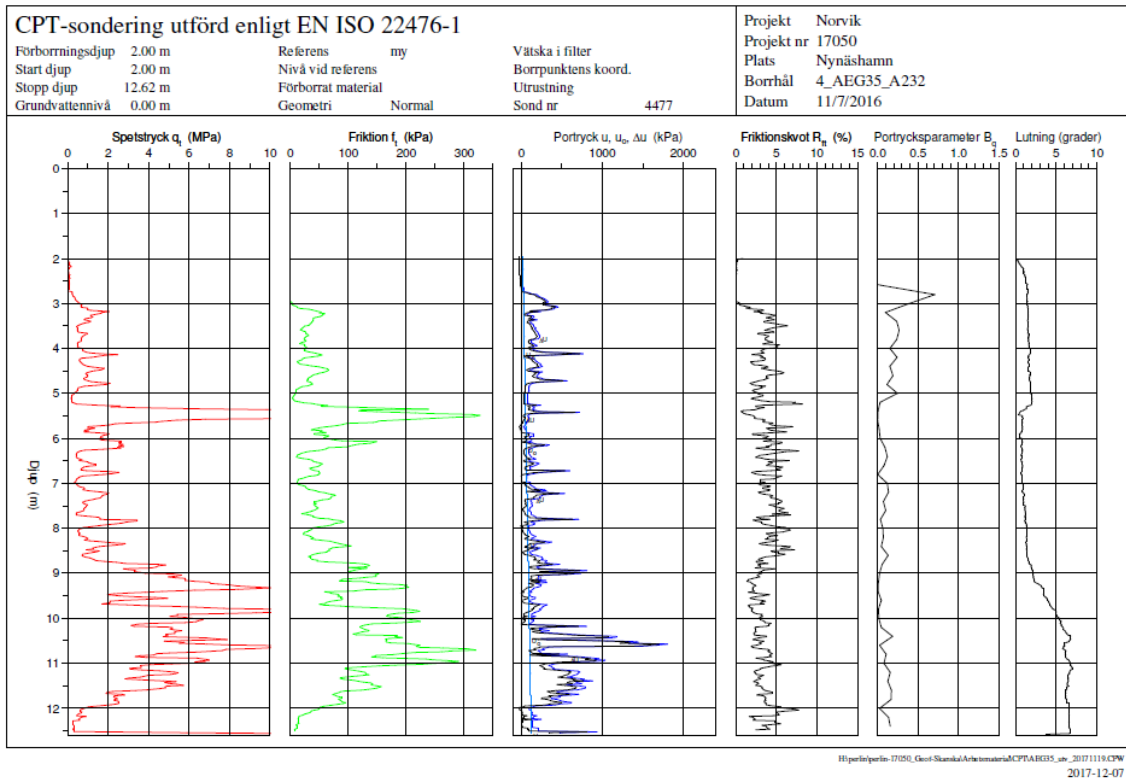
Figur 34. Utvärdering av sonderingsresultat för pelare aea358.

De utvärderade skjuvvågshastigheterna ger en trovärdig skjuvhållfasthet, j.m.f. Bilaga 3, men speglar inte variationen i spetsstryck, se Figur 35.

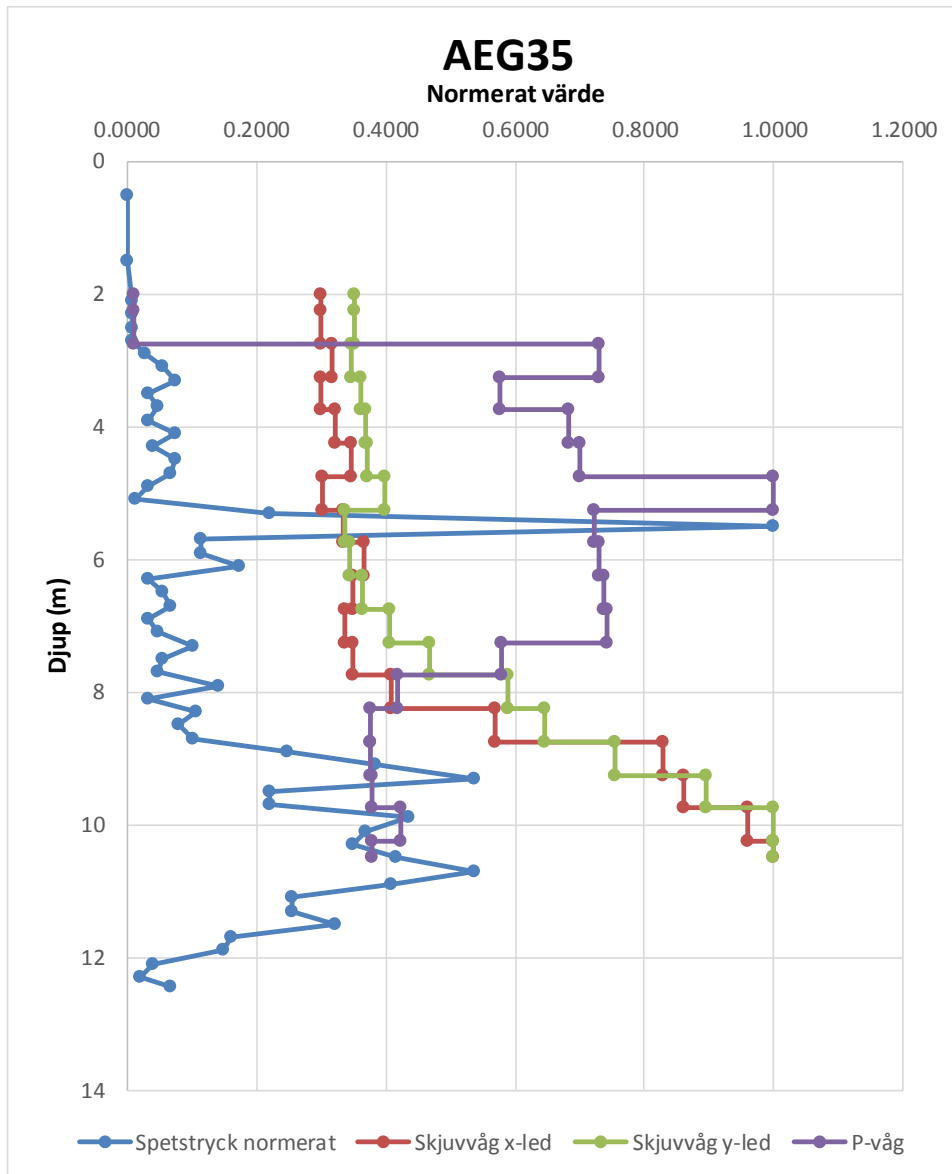


Figur 35. Normerat spetstryck, S-våg och P-våg för KC-pelare aea358.

Figur 36 visar sonderingsresultat för pelare aeg35. Även denna sondering uppvisar stora variationer i spetstryck vilket gör det svårt att hitta samband mellan CPT-sonderingsresultaten och skjuvvågshastigheterna, se Figur 37.

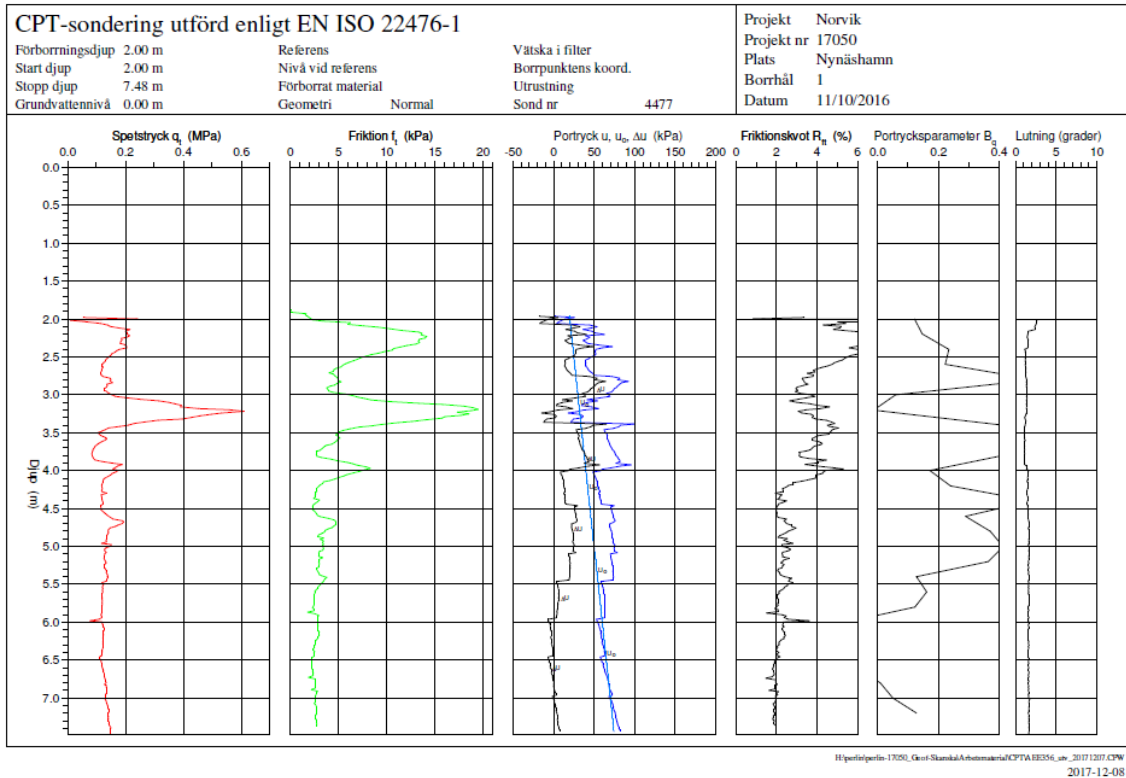


Figur 36. Utvärdering av sonderingsresultat för pelare aeg35.



Figur 37. Normerat spetstryck, S-våg och P-våg för KC-pelare aeg35.

I läge för pelare aee356 utfördes sondering men igen pelare var installerad i detta läge. Tyvärr fungerade inte registreringen av P- och S-våg varför inget ”nollvärde” på seismikmätningarna blev utförd.



Figur 38. Graf visande utvärderade resultat från CPT sondering i läge för pelare aee356 innan stabilisering.

4. SLUTSATSER

Laboratorieprovningsen visade på en hög repeterbarhet mellan försöken. Spridningen i tryckhållfasthet/skjuvhållfasthet ökade något med ökad hållfasthet vilket är förväntat då mindre felaktigheter i provkropparna ger större utslag på hållfastheten.

Kraven på K/C pelarna i detta projekt var en minsta skjuvhållfasthet in situ på 150 kPa efter 28 dygn. För att säkerställa detta sätts kravet på laboratoriepackade proverna till minst 200 kPa. Flera av blandningarna som innehöll både cement, bränd kalk och LKD klarade kraven på minst 200 kPa efter 28 dygns lagring. Då temperaturen in situ i pelarna dels är beroende av bindemedelstyp och bindemedelsmängd är det svårt att översätta laboratorieresultat med fältresultat speciellt då de laboratorieinpackade proverna lagrades i 7 °C i ett klimatrum där avkylningen är betydligt större än i ett in situ förhållande.

Resultatet från fältförsöket visar på dels stora variationer i spetsmotstånd men också stora variationer i skjuv- och kompressionsvågshastigheter. Dessa resultat var delvis väntade men hypotesen var att hitta samma trender i spetstryck och i seismikresultat.

Vid den seismiska CPTn finns flera osäkerhetsfaktorer;

- Hur överförs de genererade S- respektive P-vågorna till pelaren?
- Finns ”överhörning” från andra vibrationskällor
- Är sonden i eller på väg ut från pelaren
- Hur väl genereras skjuv- respektive kompressionsvåg vid stora djup

Den seismiska CPTn har många fördelar gentemot traditionell CPT. För att säkerställa att CPT sonden är i pelaren kan där kopplas på en resistivitets CPT då den stabiliserade jorden har en mycket lägre resistivitet beroende på fria joner (Lindh *et al*, 2000). En av de stora fördelarna med seismisk CPT är att man erhåller både ett mått på tryckkraften och en bestämning av P- och S-våg. En inte helt oväsentlig parameter för seismisk CPT är kostnaden. Här krävs både borrhandsvagn och speciell utrustning samt att metoden är i dagsläget ganska tidskrävande. Genom att använda en bättre signalkälla kan vissa av nackdelarna med metoden elimineras. Metodiken kan vara ett sätt att utvärdera KC pelare men kan inte konkurrera kostnadsmissigt med kalkpelarsonden.

Ett alternativ till ovanstående är att kombinera kalkpelarsonden med seismisk CPT.

I de fall man behöver en tillförlitligare bestämning av egenskaperna skulle författaren rekommendera att nedanstående alternativ provas.

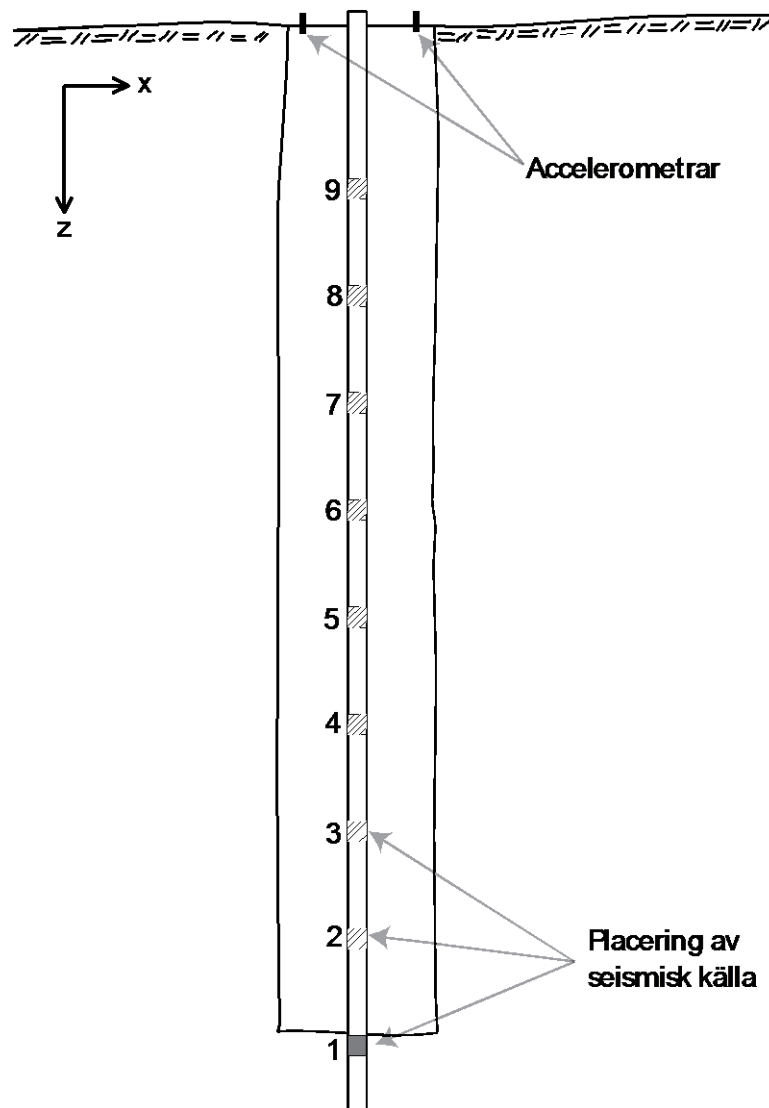
Ett alternativ till att använda seismiska CPT är den så kallade ”up hole” tekniken för kvalitetskontrollen av KC pelarna. Metodiken går ut på att ett rör installeras i eller nära pelarcentrum. Den tekniken som utvecklades för installation av mät rör i samband med undersökningarna inför SD Arbetsrapport 35 som innebär att röret installeras med hjälp av KC pelarmaskinen. Detta kan vara en bra lösning att snabbt och enkelt installera rören.

Efter en inledande härdning kan mätningarna påbörjas. På KC pelarens topp installeras exempelvis fyra accelerometrar placerade med 90 graders vinkel mellan accelerometrarna. Mätningen går ut på att en P- och S-vågskälla förs ner i röret till önskat djup varefter sonden spänns fast som en ”packer” och vågorna exciteras och gånghastigheten mäts, Figur 39. Försöket upprepas i de riktningar där accelerometrarna är placerade. Efter mätningarna på en nivå flyttas sonden upp till nästa nivå varefter mätningarna fortsätter.

Fördelen med denna metod är att man kan säkerställa en bra kontakt mellan pelare och accelerometrar samt att exciteringsvågen och källans placering är väldigt väl definierad. Ytterligare fördel är att mätningarna kan utföras av en person utan kostnader för borrhög etc.

De nackdelar som är identifierade är att kvaliteten på pelaren är oftast som sämst i pelartoppen. Detta kan lösas antingen genom att toppen schaktas av eller att accelerometrarna fästes på en djupare nivå.

En nackdel gentemot seismisk CPT är att man måste bestämma på förhand vilka pelare som skall mätas.



Figur 39. Schematisk skiss över en "up hole" mätning av en KC-pelare.

För att erhålla en direkt jämförelse med kalkpelarsonden kan ett slitsat rör användas vid "up hole" mätningarna varefter en vanlig sondering med kalkpelarsonden utförs.

Referenser

Anon., (2005a). Cement-Provning-Del 1: Bestämning av hållfasthet. Svensk Standard SS-EN 196-1:2005.

Anon., (2005b). Cement-Provning-Del 3: Bestämning av bindetid och volymbeständighet. Svensk Standard SS-EN 196-3:2005+A1:2008.

Geomind 2015. Personlig och skriftlig kommunikation med Håkan Eriksson, Geomind.

Larsson, S (2017). Personlig kommunikation med Stefan Larsson, KTH.

Lindh, P., Svensson, M. och Dahlin, T. (2000).

Lindh, P. (2016a). Seismik testning av stabiliserad jord med bender element vid triaxial-försök. SGI uppdragsrapport 15519/520.

Lindh, P. (2016b) Utprovning av recept för K/C-djupstabilisering och jetinjektering. SGI Uppdragsrapport 15590.

Makusa, GP. Mattsson, H. och Knutsson, S. (2014) Shear strength evaluation of pre-loaded stabilized dredged sediments using CPT, International symposium on cone penetration testing, 3, CPT'14, Las Vegas, NV, USA, May 12-14, 2014. Proceedings

Montgomery, D. C. (1996) Design and Analysis of Experiment. Wiley.

Myres, R. H. and Montgomery, D. C. (1995) Response Surface Methodology. Wiley.

Ryden, N., Ekdahl, U., Lindh, P. (2006) Quality control of cement stabilised soil using non-destructive seismic tests. *DGZfp – Proceedings BB102-CD, Lecture 34, Advanced Testing of Fresh Cementitious Materials, Stuttgart*. The German Society for Non-Destructive Testing, Berlin, Germany.

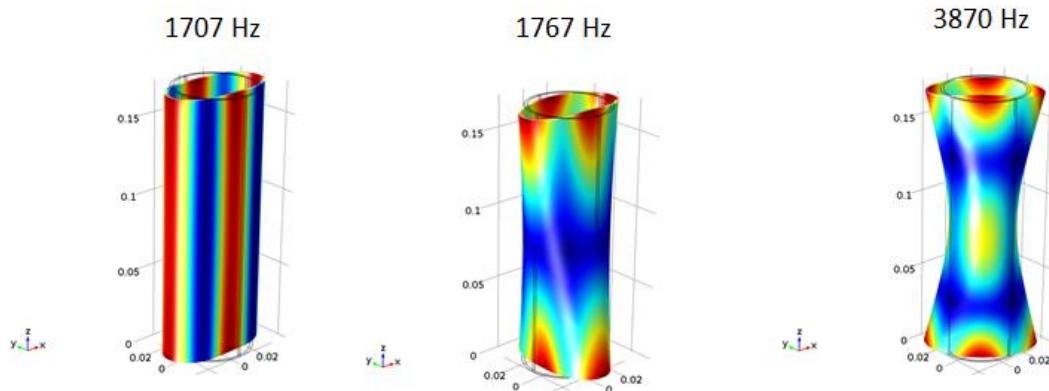
Åhnberg, H. Holm, G. (1987) Om inverkan av härdningstemperaturen på skjuvhållfastheten hos kalk- och cementstabiliserad jord. SGI Rapport 30.

Bilagor

FE-simulering av resultat från seismikmätningar i lab

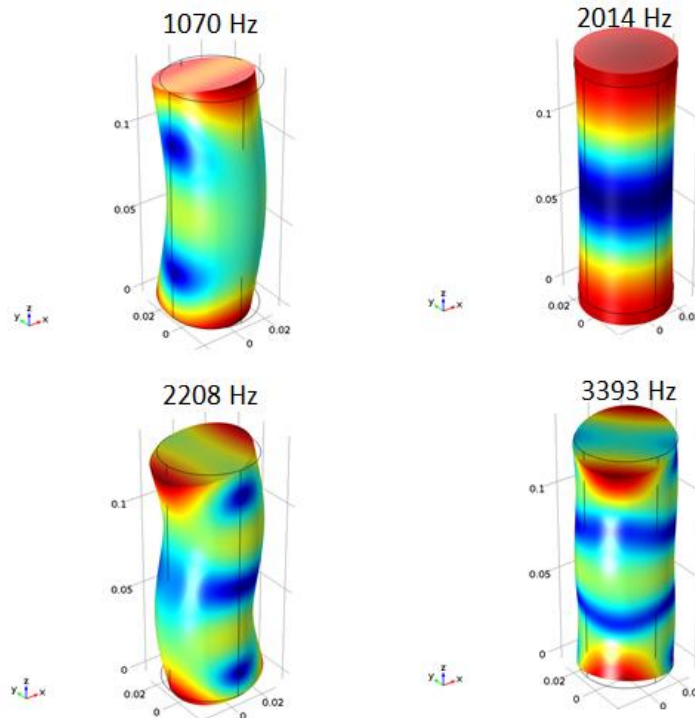
Simuleringen har utförts med Comsol Multiphysics av Nils Rydén, LTH.

Hylsa utan jord har egenfrekvenser i samma storleksordning som själva provet vilket ger felaktiga resultat, se Figur 1.



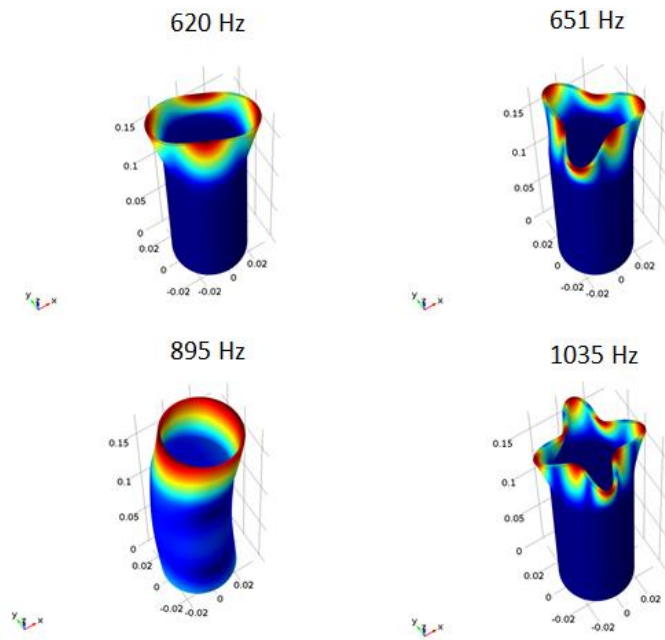
Figur 1. Simulering av olika moder av egenfrekvens för rörhylsor.

För provkroppar utan hylsa erhålls följande egenfrekvenser enligt simuleringarna, se Figur 2.



Figur 2. Beräknade egenfrekvenser för provkroppar utan hylsa. Provkropparna har längden 130,7 mm.

Genom att simulera provkropparna placerade i hylsor erhålls andra egenfrekvenser. Simuleringen visar att de uppmätta egenfrekvenserna härstammar från del delar av hylsorna som inte innehåller något material, se Figur 3.



Figur 3. Simulerade egenfrekvenser för prov i hylsa. Provkropp 130,7 och hylsa 170 mm.

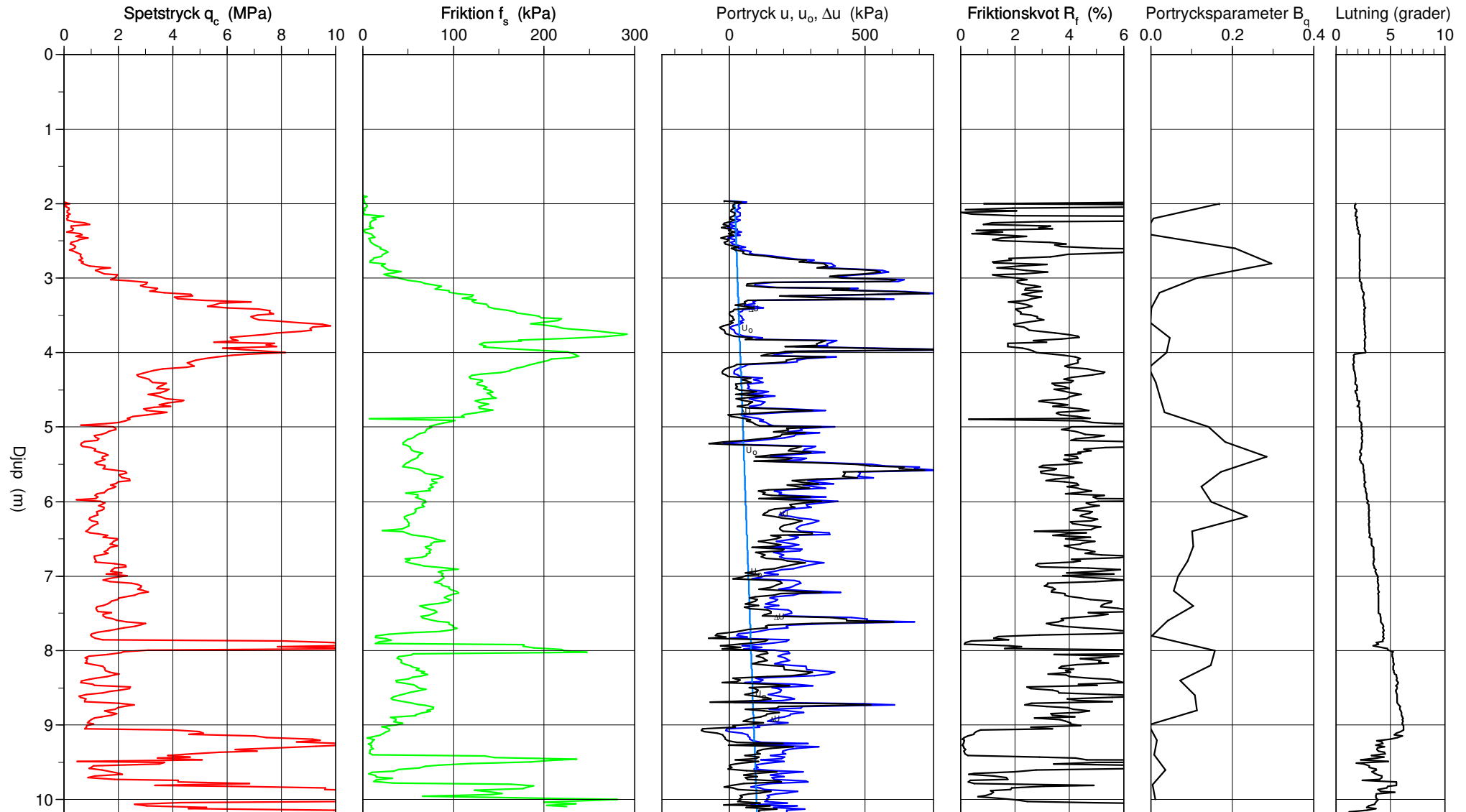
CPT-sondering utförd enligt EN ISO 22476-1

Förborrningsdjup 2.00 m
 Start djup 2.00 m
 Stopp djup 10.22 m
 Grundvattennivå 0.00 m

Referens
 Nivå vid referens 0.00 m
 Förborrat material
 Geometri Normal

Vätska i filter
 Borrpunktens koord.
 Utrustning
 Sond nr 4477

Projekt Norvik
 Projekt nr 17050
 Plats Nynäshamn
 Borrhål 2_acs155_A1786
 Datum 11/8/2016



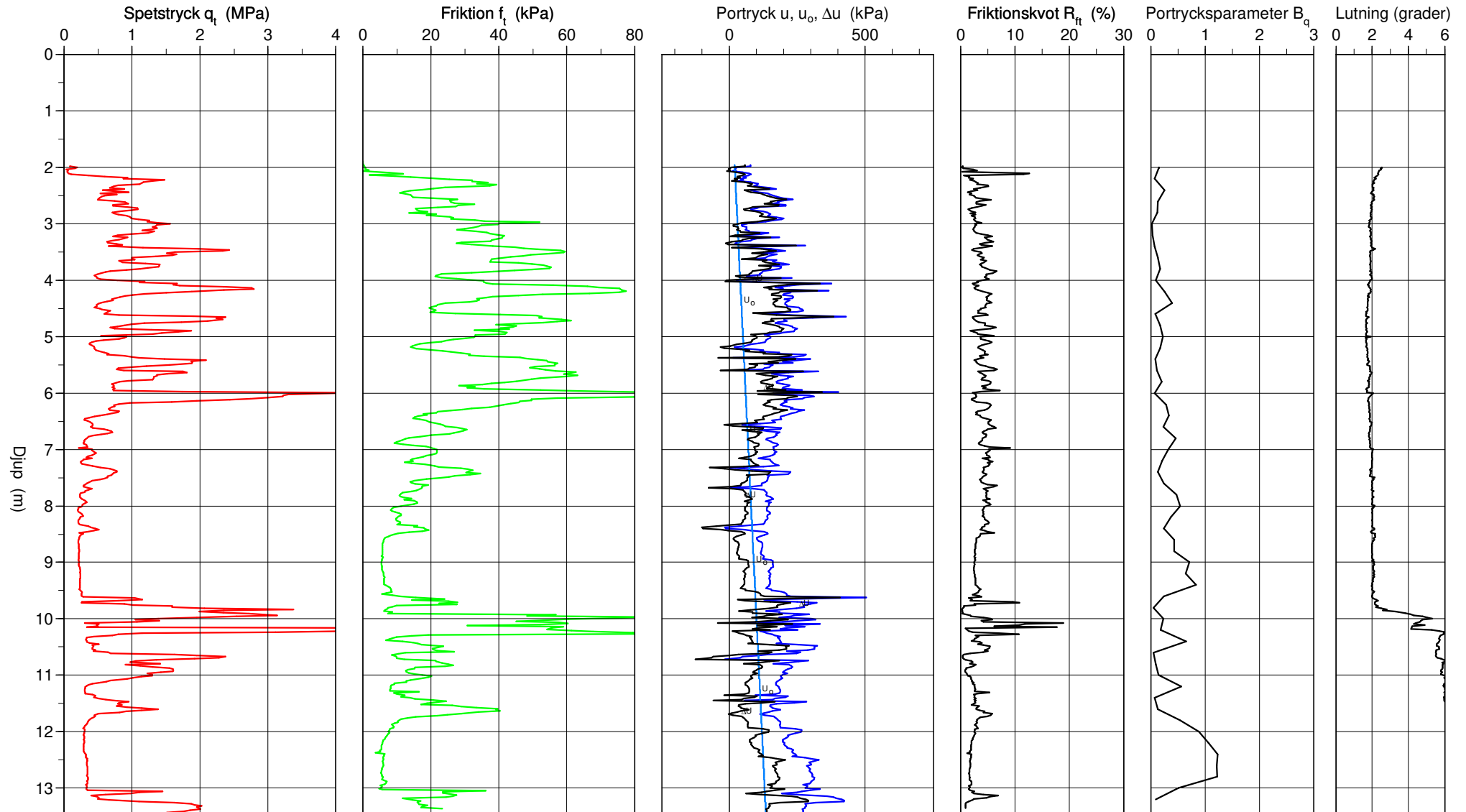
CPT-sondering utförd enligt EN ISO 22476-1

Förborrningsdjup 2.00 m
 Start djup 2.00 m
 Stopp djup 13.50 m
 Grundvattennivå 0.00 m

Referens my
 Nivå vid referens
 Förborrat material
 Geometri Normal

Vätska i filter
 Borrpunktens koord.
 Utrustning
 Sond nr 4477

Projekt Norvik
 Projekt nr 17050
 Plats Nynäshamn
 Borrhål 1_acw151_A1724
 Datum 11/8/2016



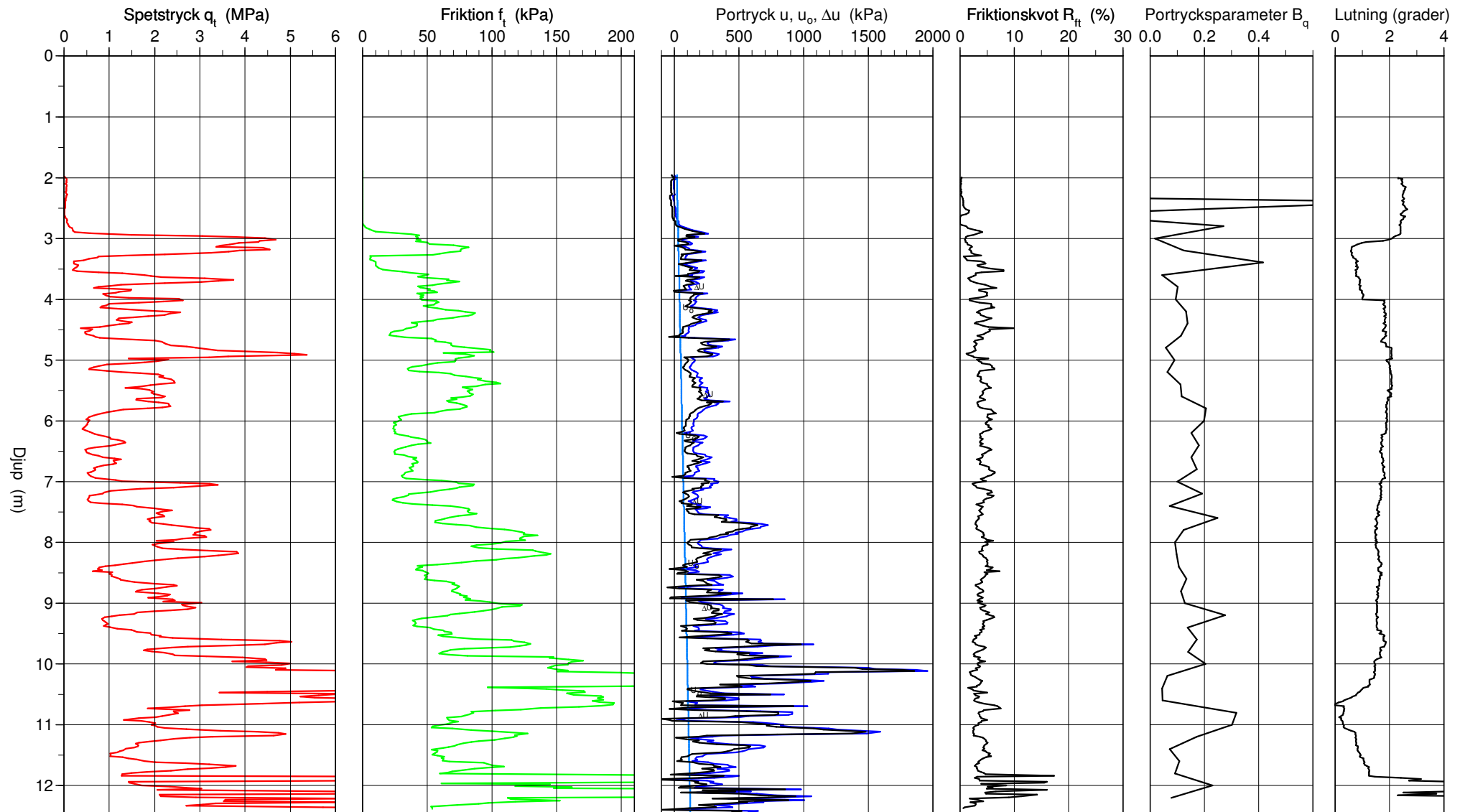
CPT-sondering utförd enligt EN ISO 22476-1

Förborrningsdjup 2.00 m
 Start djup 2.00 m
 Stopp djup 12.50 m
 Grundvattennivå 0.00 m

Referens my
 Nivå vid referens
 Förborrat material
 Geometri Normal

Vätska i filter
 Borrpunktens koord.
 Utrustning
 Sond nr 4477

Projekt SCPT
 Projekt nr 17050
 Plats Norvik
 Borrhål ADA147
 Datum 11/8/2016



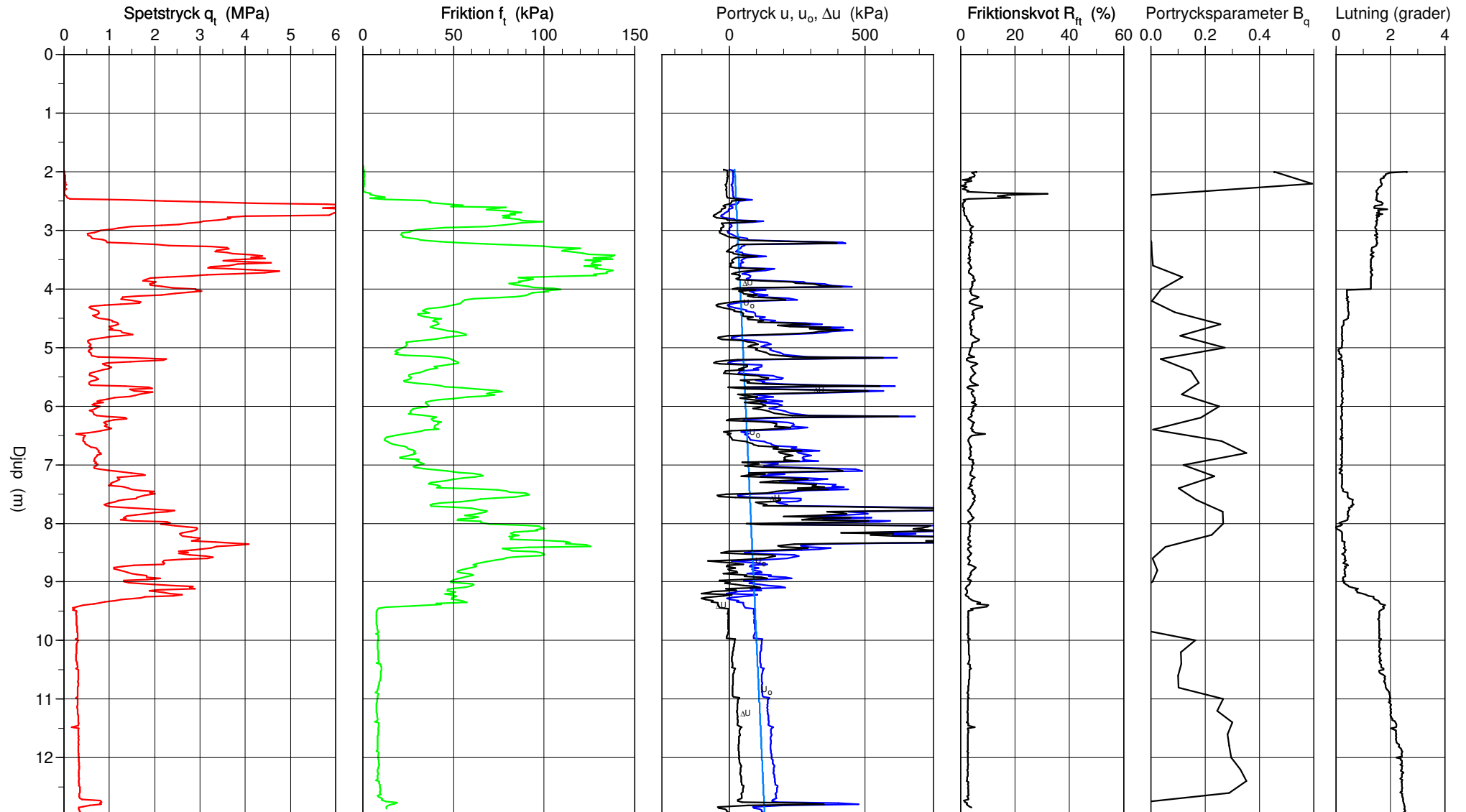
CPT-sondering utförd enligt EN ISO 22476-1

Förborrningsdjup 2.00 m
 Start djup 2.00 m
 Stopp djup 12.98 m
 Grundvattennivå 0.00 m

Referens
 Nivå vid referens 0.00 m
 Förborrat material
 Geometri Normal

Vätska i filter
 Borrpunktens koord.
 Utrustning
 Sond nr 4477

Projekt Norvik
 Projekt nr 17050
 Plats Nynäshamn
 Borrhål 1_adc148_A1674
 Datum 11/9/2016



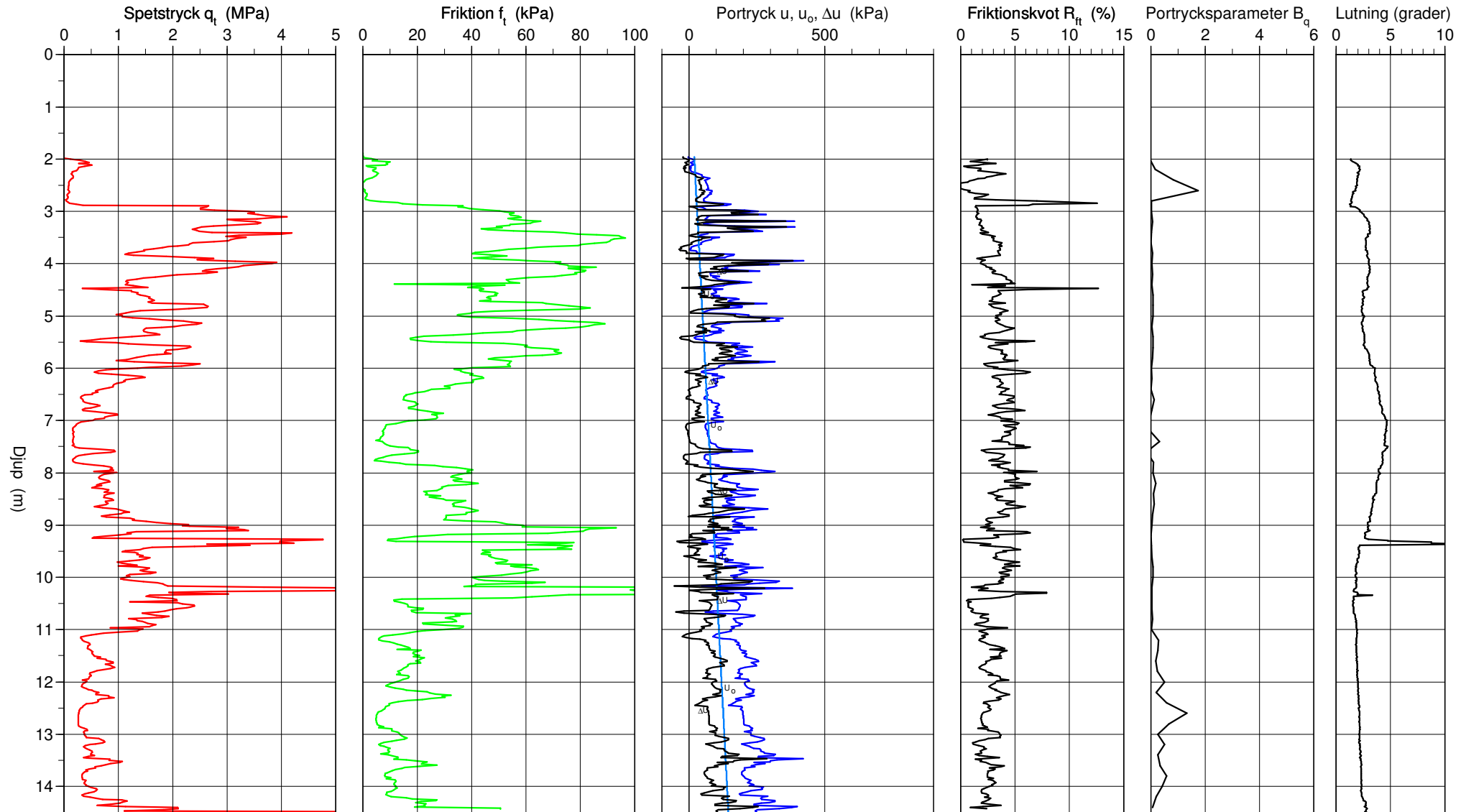
CPT-sondering utförd enligt EN ISO 22476-1

Förborrningsdjup 2.00 m
 Start djup 2.00 m
 Stopp djup 14.56 m
 Grundvattennivå 0.00 m

Referens
 Nivå vid referens 0.00 m
 Förborrat material
 Geometri Normal

Vätska i filter
 Borrpunktens koord.
 Utrustning
 Sond nr 4477

Projekt Norvik
 Projekt nr 17050
 Plats Nynäshamn
 Borrhål 1_aea358_A5893
 Datum 11/9/2016



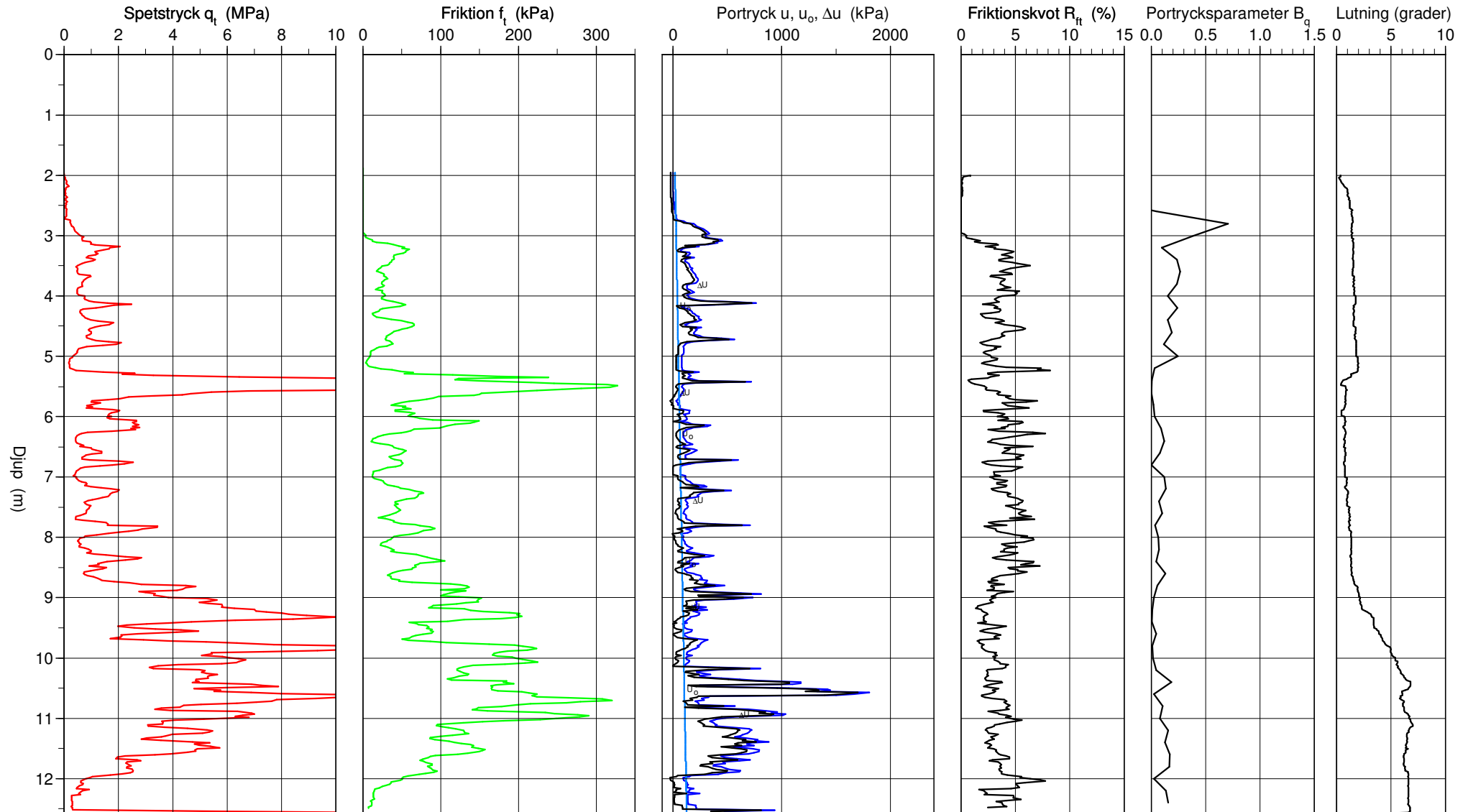
CPT-sondering utförd enligt EN ISO 22476-1

Förborrningsdjup 2.00 m
 Start djup 2.00 m
 Stopp djup 12.62 m
 Grundvattennivå 0.00 m

Referens my
 Nivå vid referens
 Förborrat material
 Geometri Normal

Vätska i filter
 Borrpunktens koord.
 Utrustning
 Sond nr 4477

Projekt Norvik
 Projekt nr 17050
 Plats Nynäshamn
 Borrhål 4_AEG35_A232
 Datum 11/7/2016



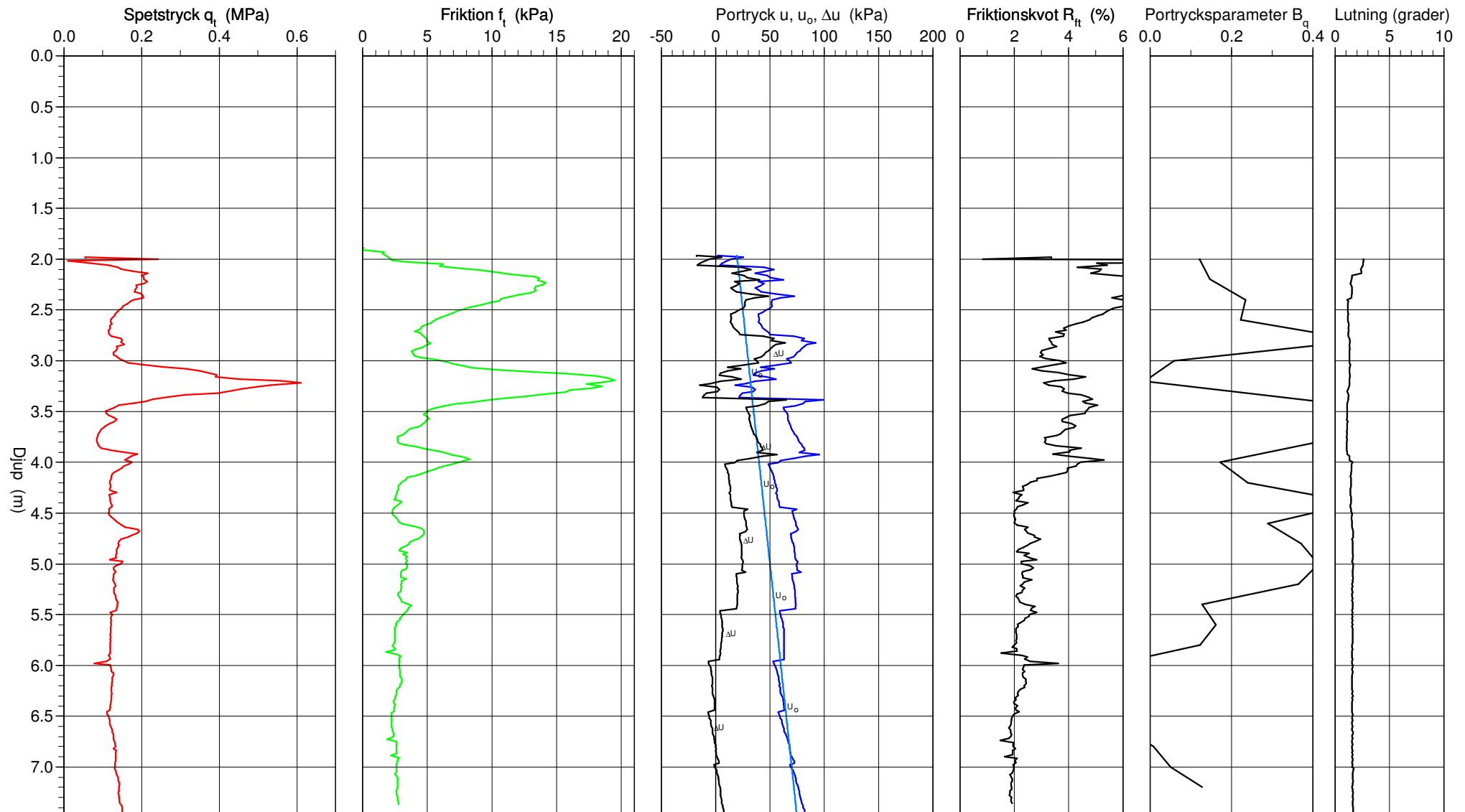
CPT-sondering utförd enligt EN ISO 22476-1

Förborrningsdjup 2.00 m
 Start djup 2.00 m
 Stopp djup 7.48 m
 Grundvattennivå 0.00 m

Referens
 Nivå vid referens
 Förborrat material
 Geometri Normal

Vätska i filter
 Borrpunktens koord.
 Utrustning
 Sond nr 4477

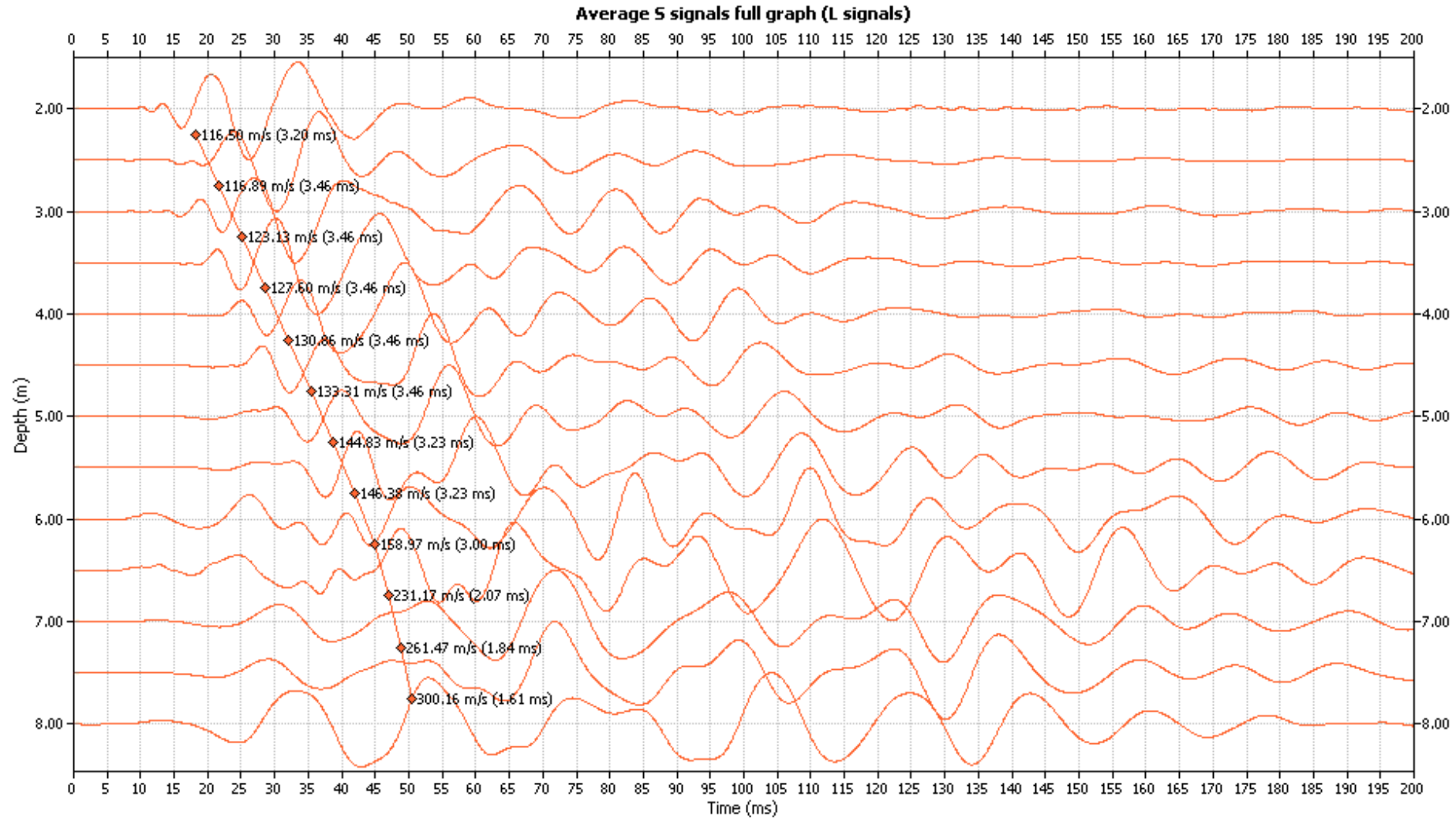
Projekt Norvik
 Projekt nr 17050
 Plats Nynäshamn
 Borrhål 1_AEE356
 Datum 11/10/2016



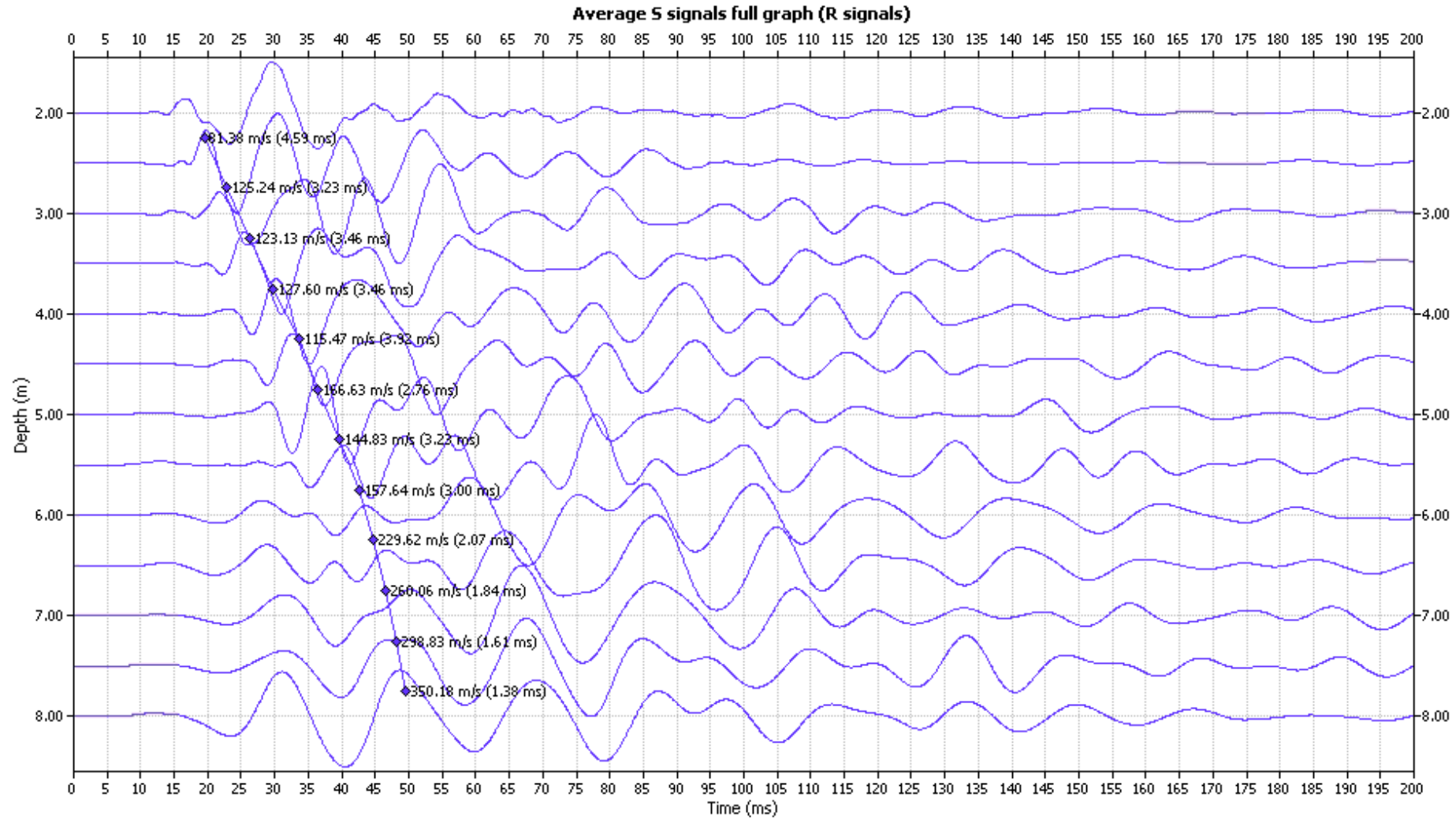
NORVIK VELOCITY ANALYSIS IN BOREHOLES

BOREHOLE: ADC155.

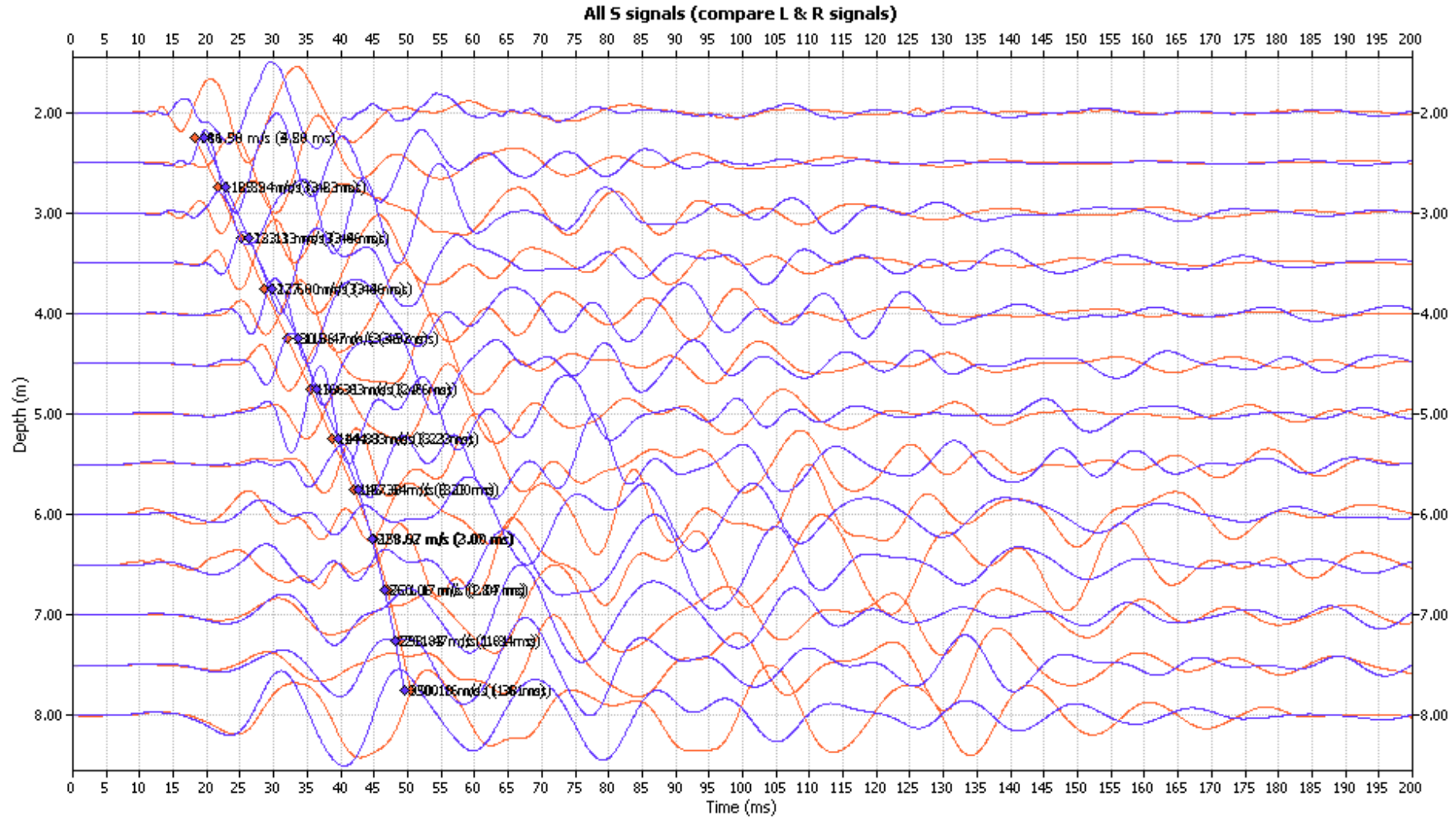
BOREHOLE: ACS155. X DIRECTION – LEFT SIGNAL



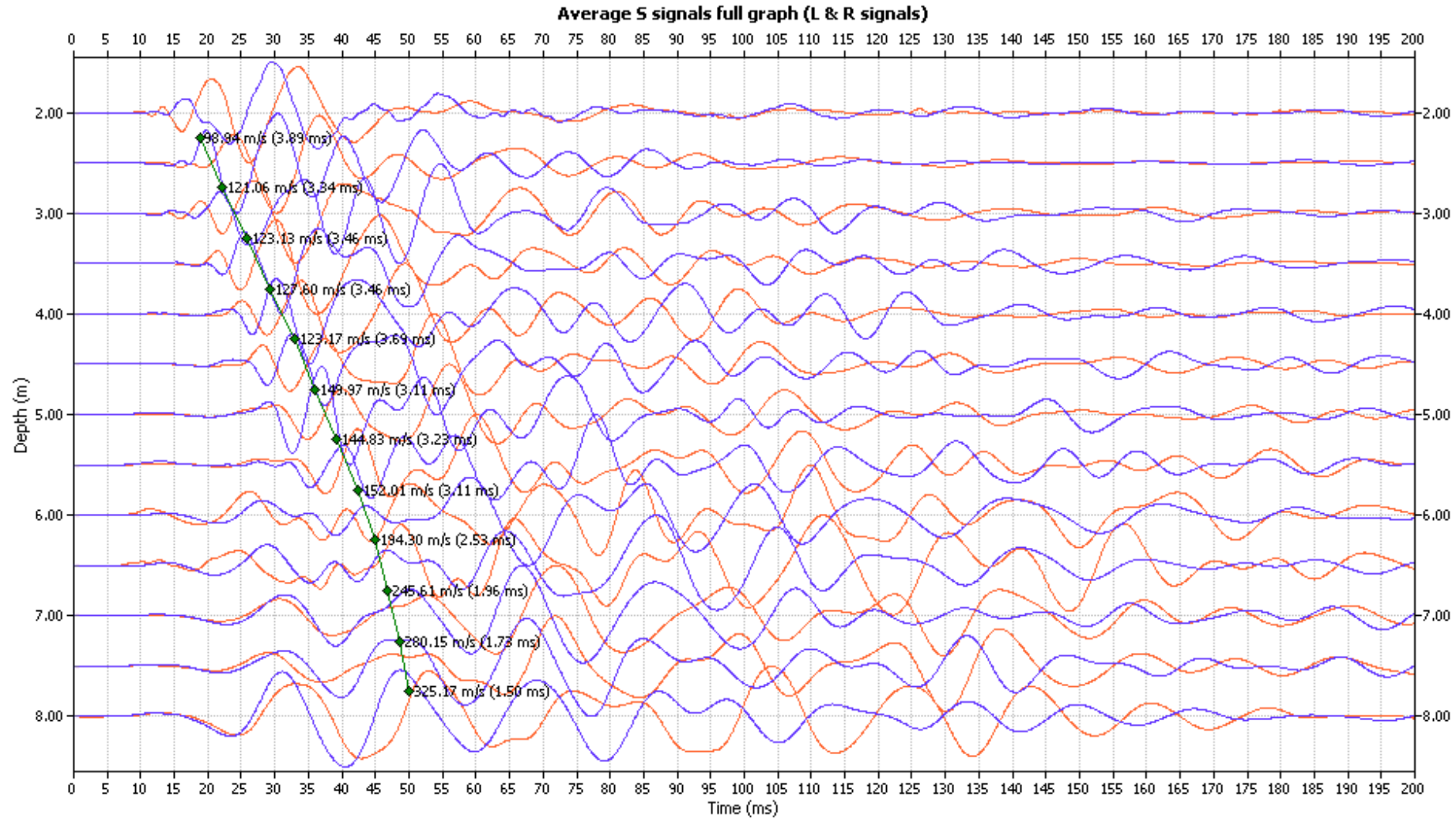
BOREHOLE: ACS155. X DIRECTION – RIGHT SIGNAL



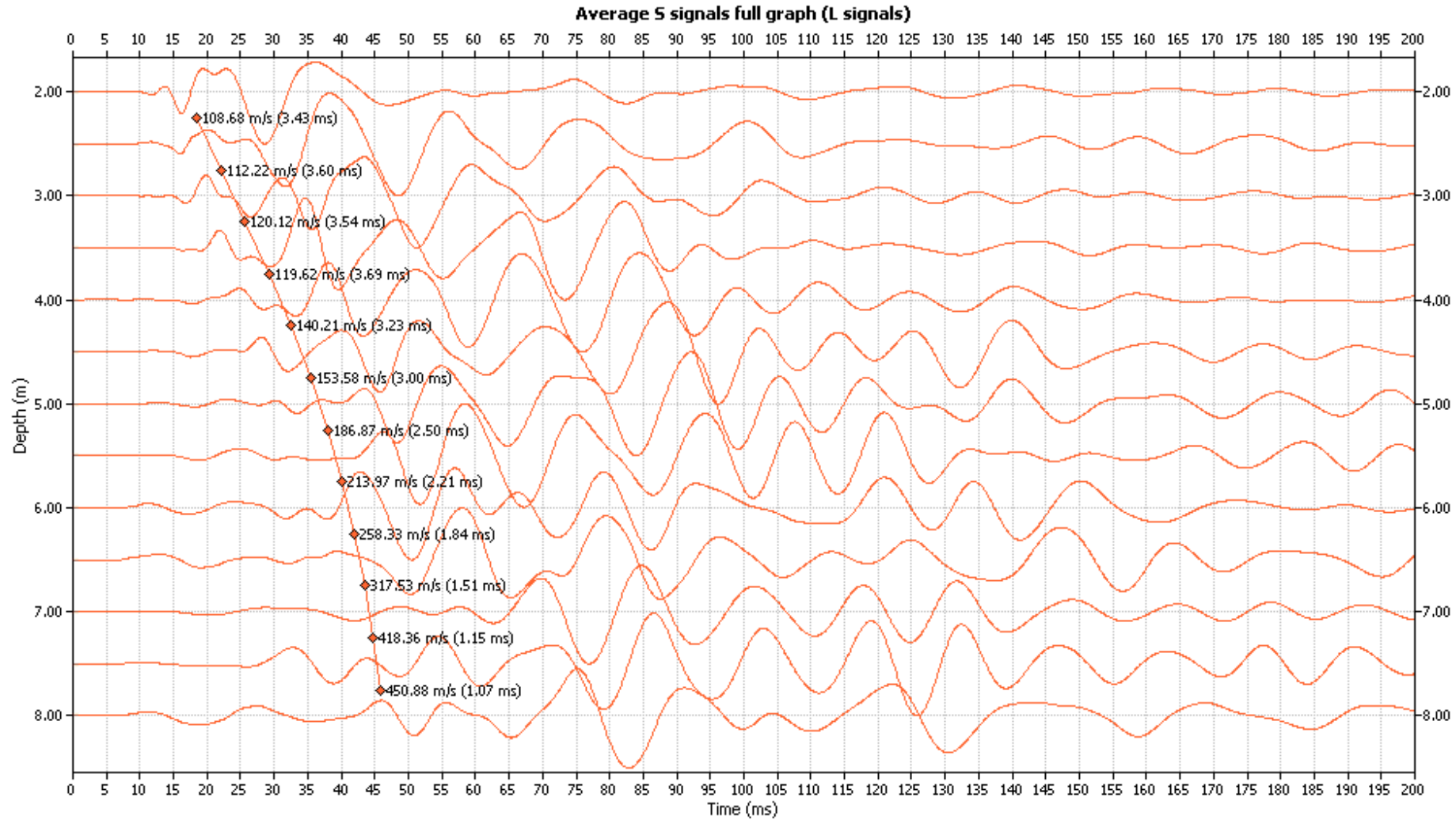
BOREHOLE: ACS155. X DIRECTION – BOTH SIGNAL



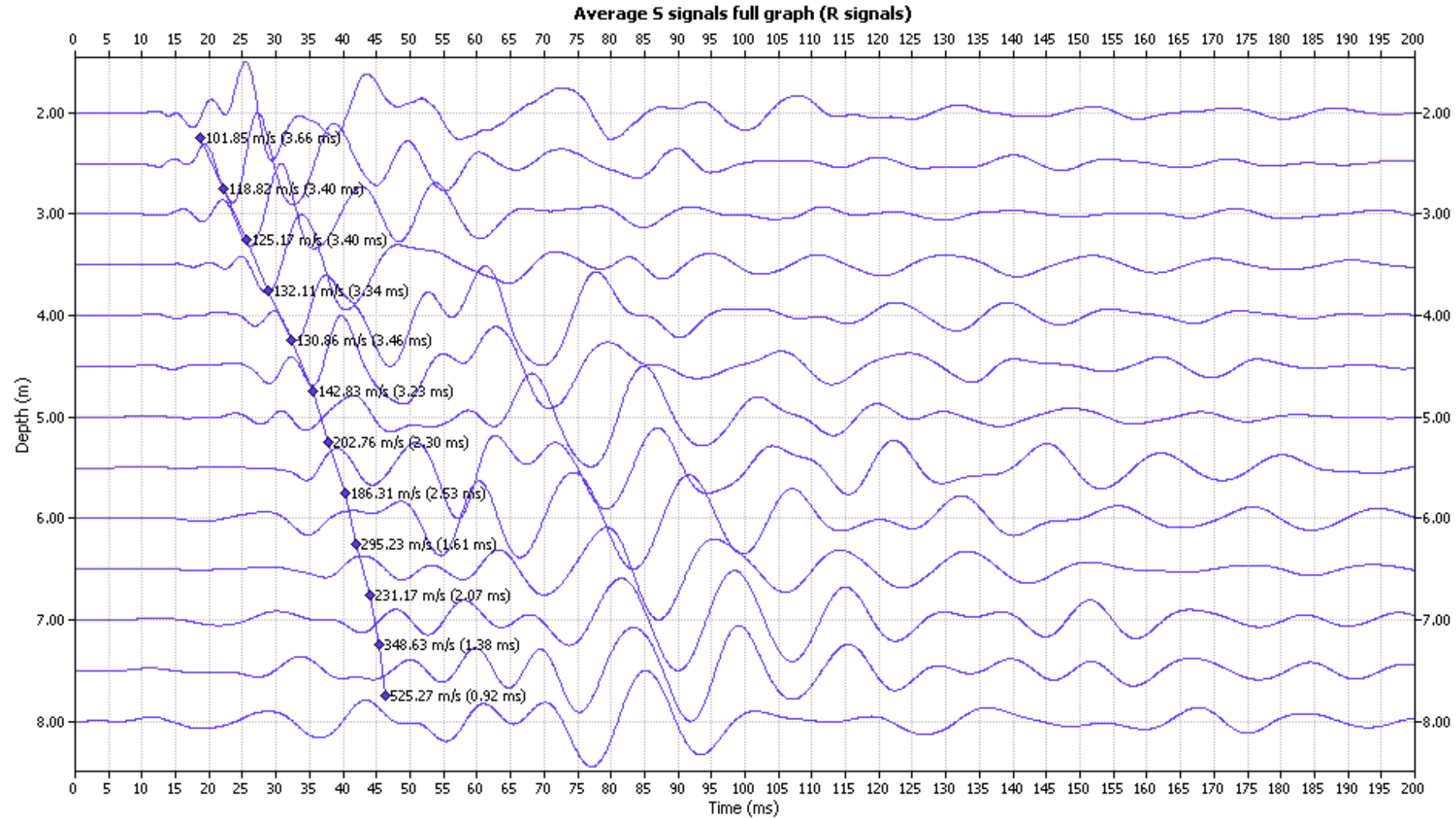
BOREHOLE: ACS155. X DIRECTION – MEAN SIGNAL



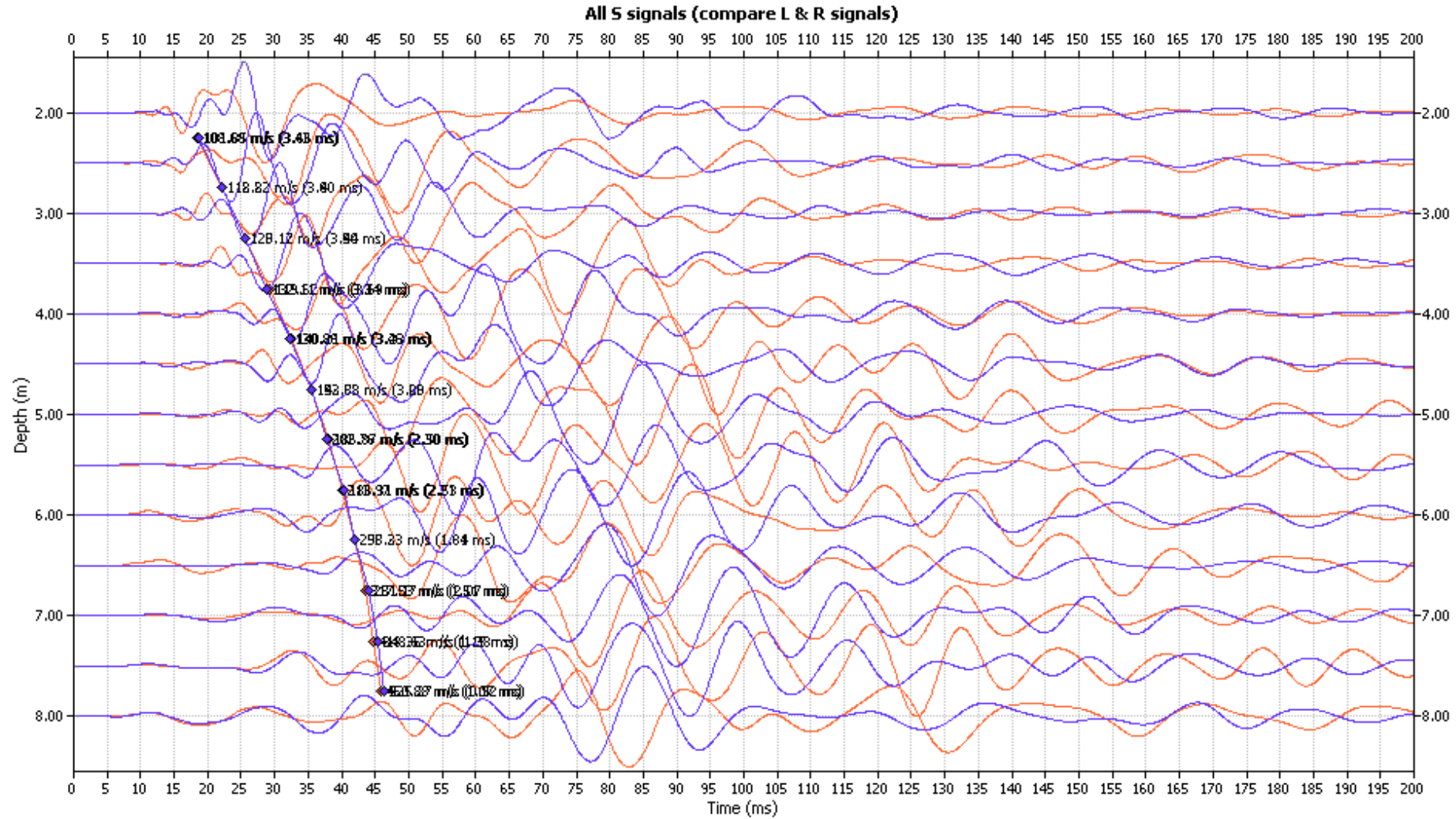
BOREHOLE: ACS155. Y DIRECTION – LEFT SIGNAL



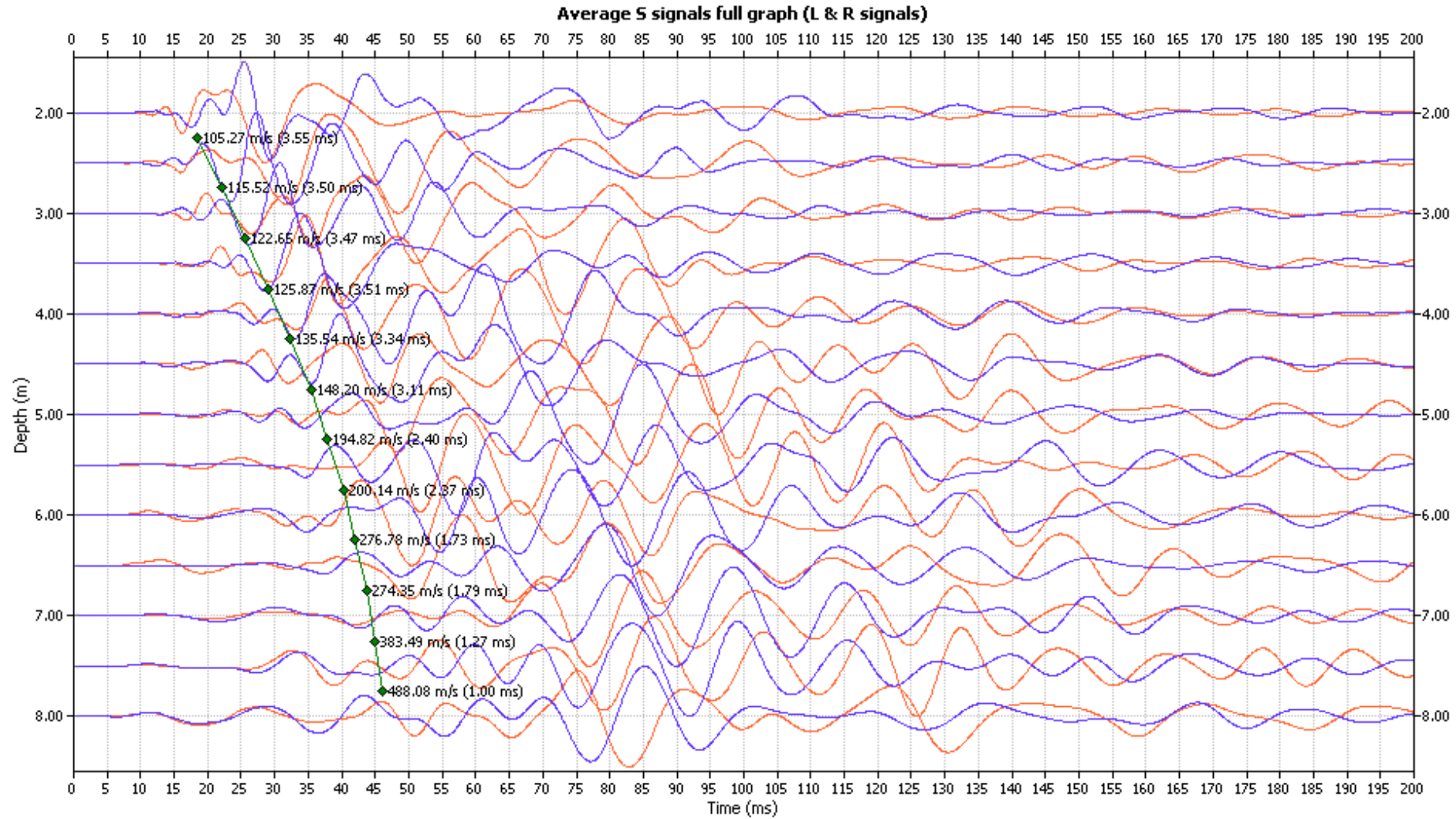
BOREHOLE: ACS155. Y DIRECTION – RIGHT SIGNAL



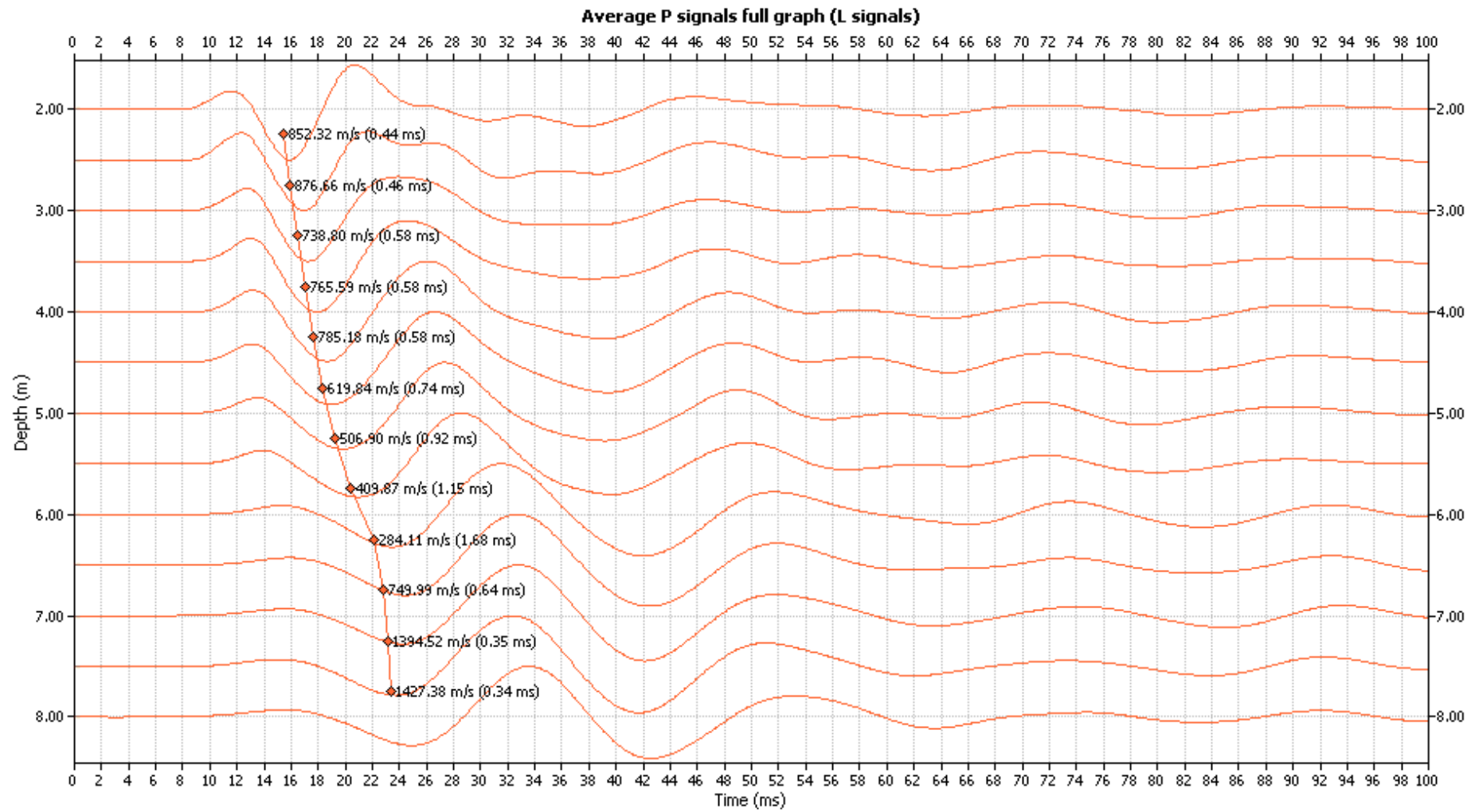
BOREHOLE: ACS155. Y DIRECTION – BOTH SIGNAL



BOREHOLE: ACS155. Y DIRECTION – MEAN SIGNAL

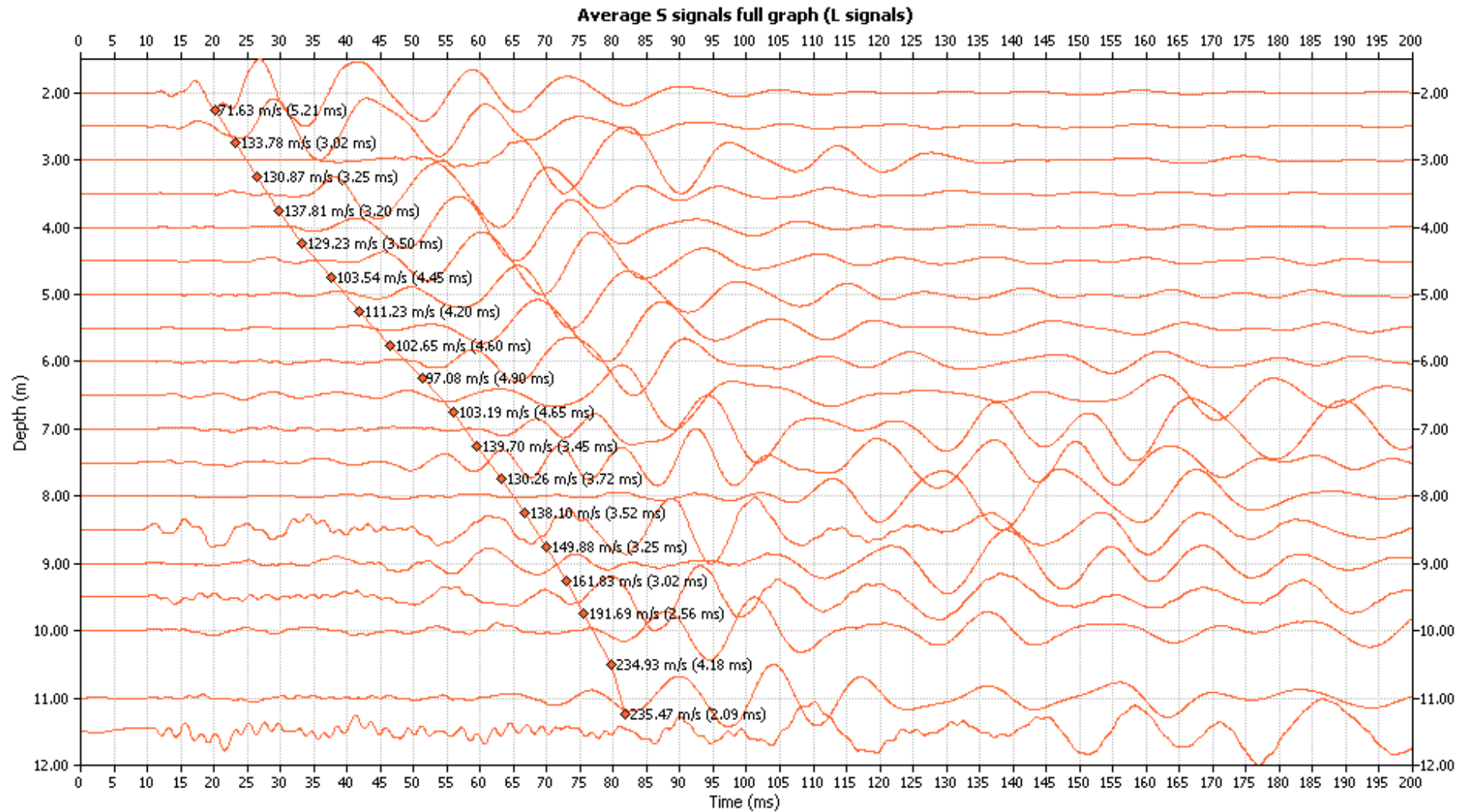


BOREHOLE: ACS155. Z DIRECTION – P SIGNAL

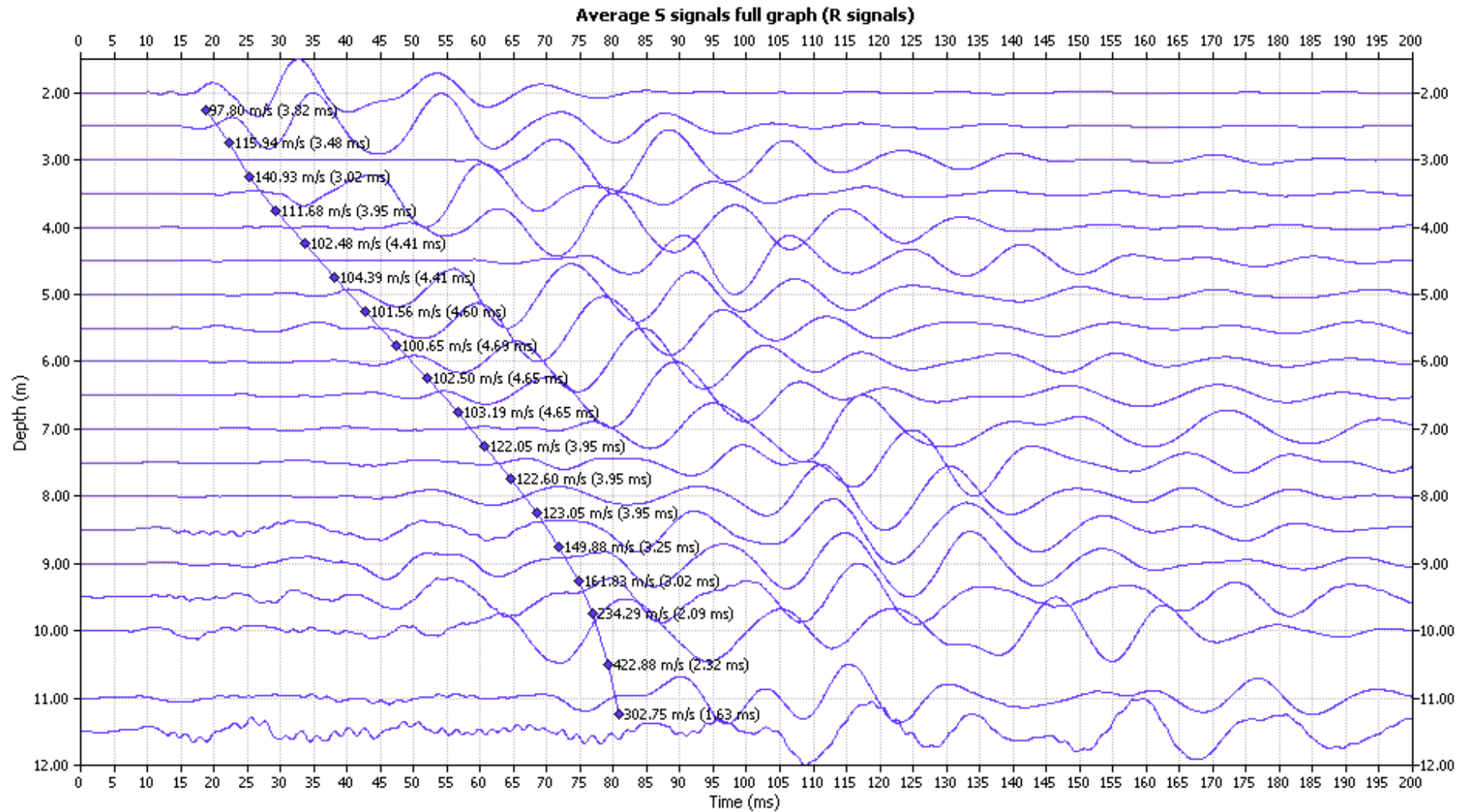


BOREHOLE: ACW151.

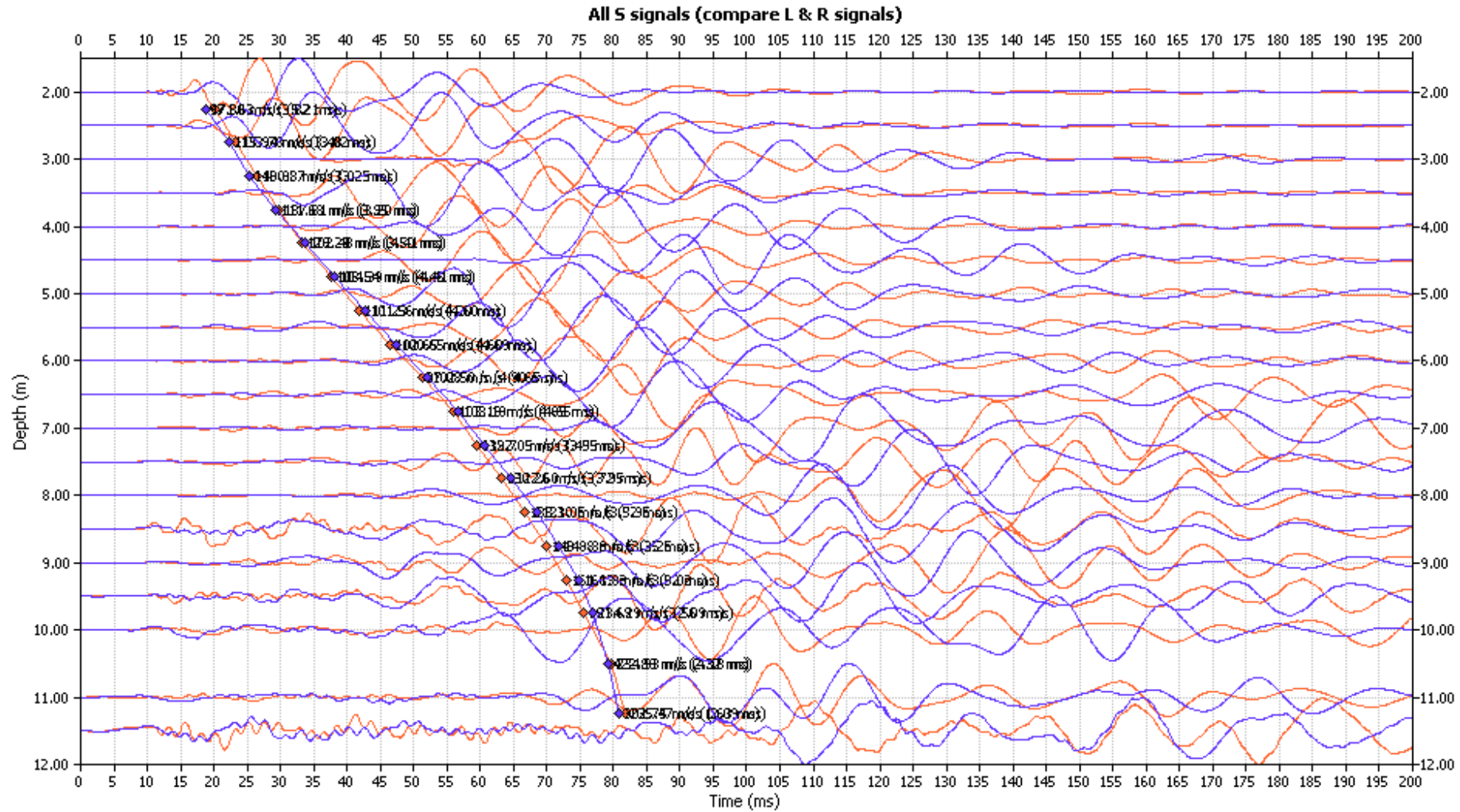
BOREHOLE: ACW151. X DIRECTION – LEFT SIGNAL



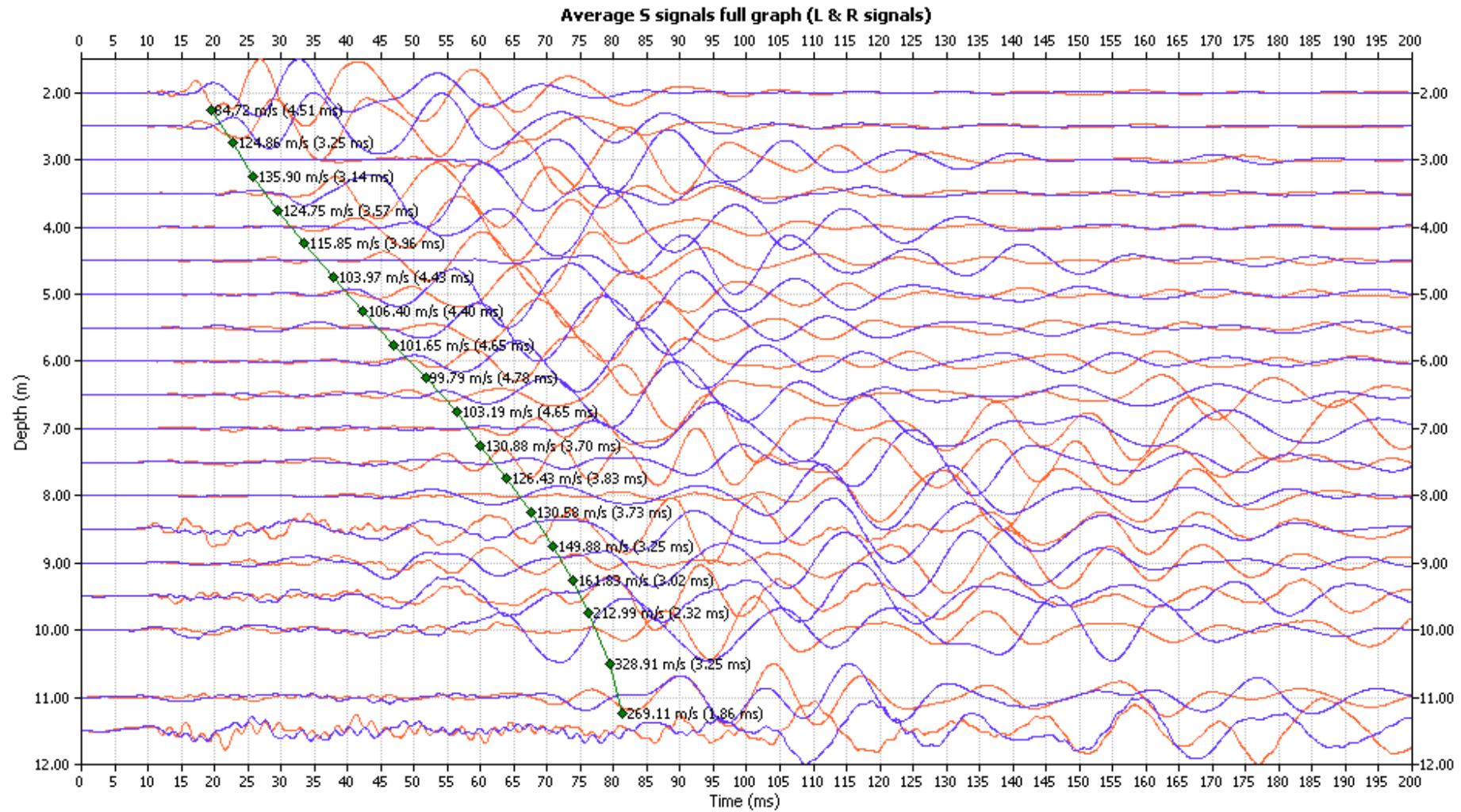
BOREHOLE: ACW151. X DIRECTION – RIGHT SIGNAL



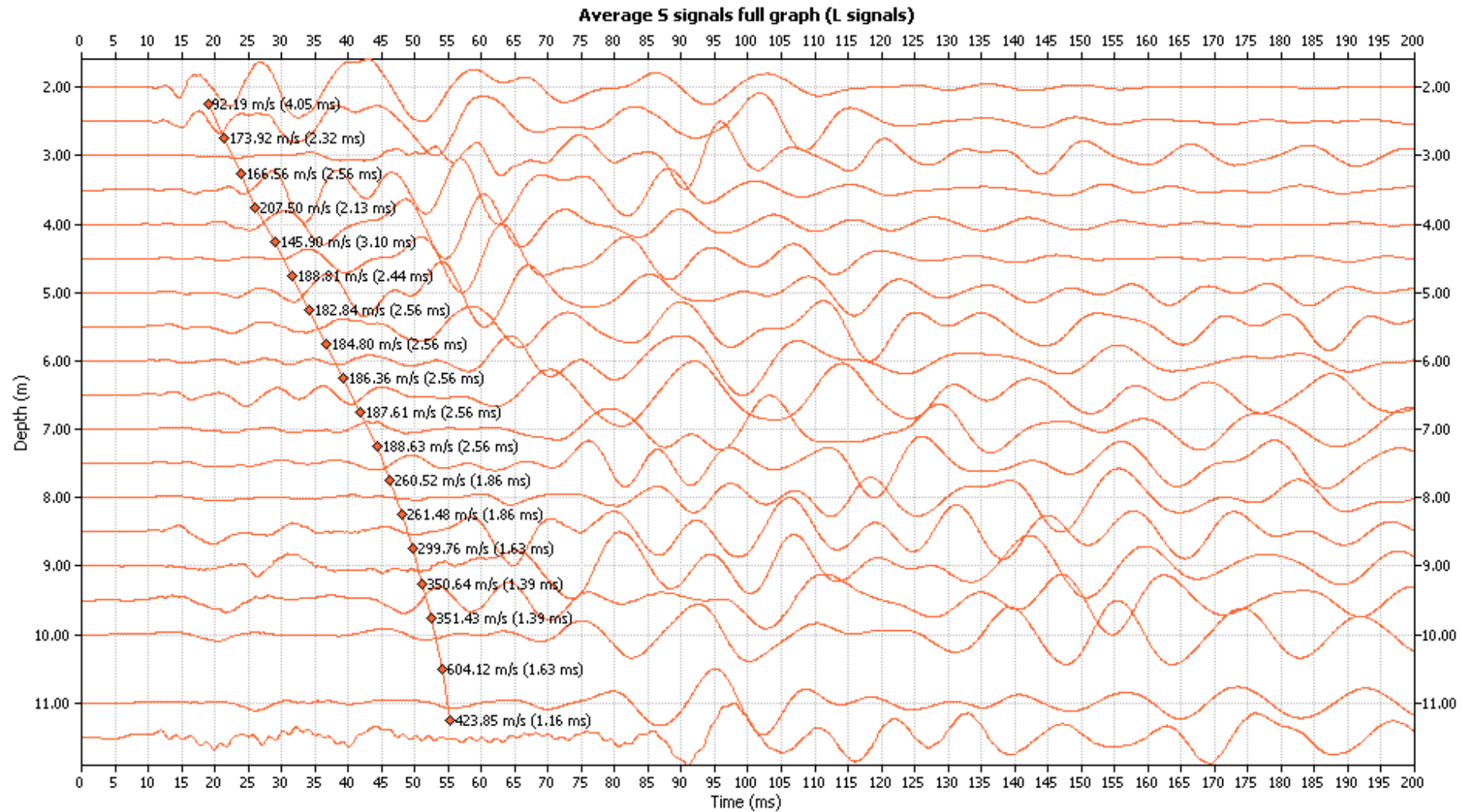
BOREHOLE: ACW151. X DIRECTION – BOTH SIGNAL



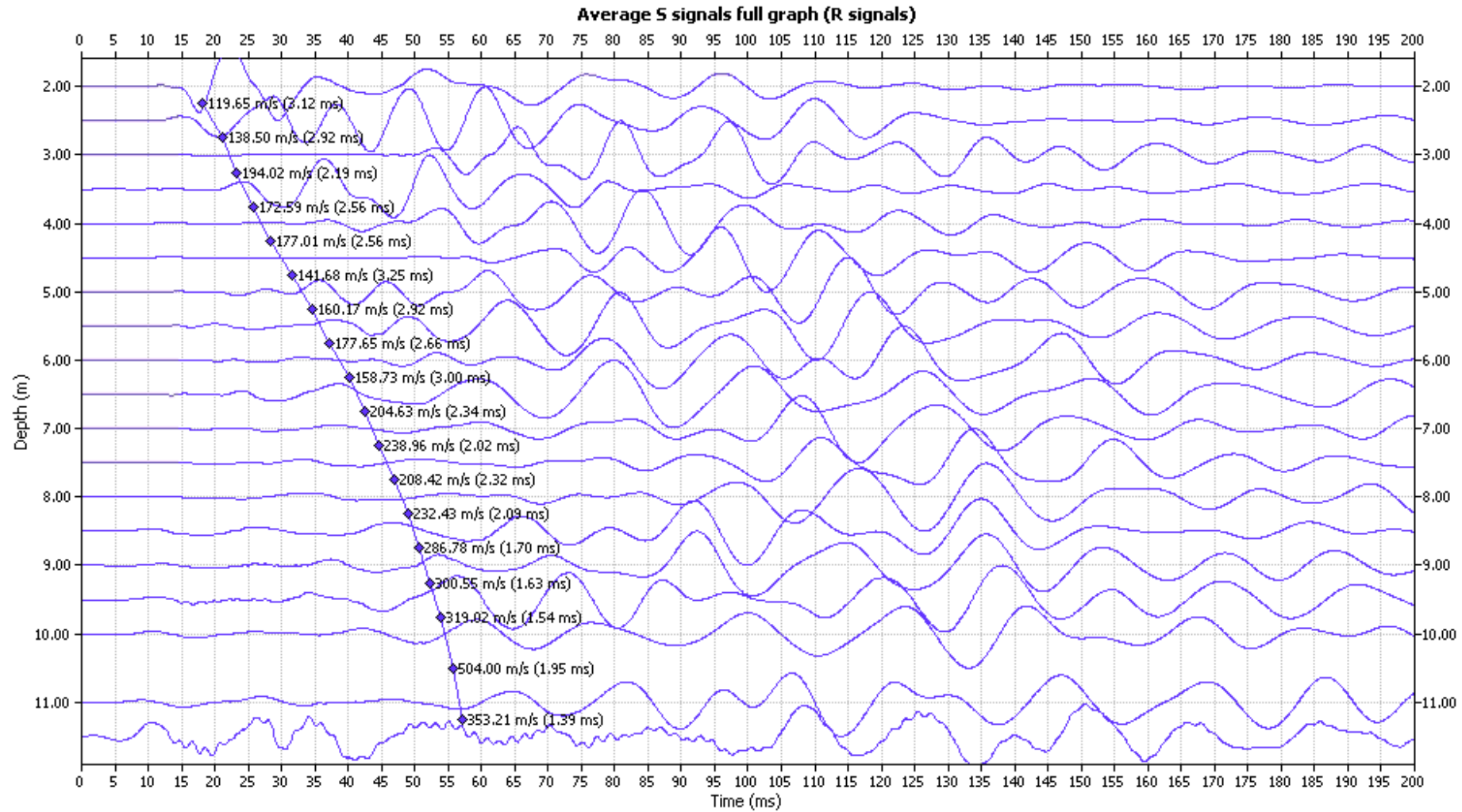
BOREHOLE: ACW151. X DIRECTION – RIGHT SIGNAL



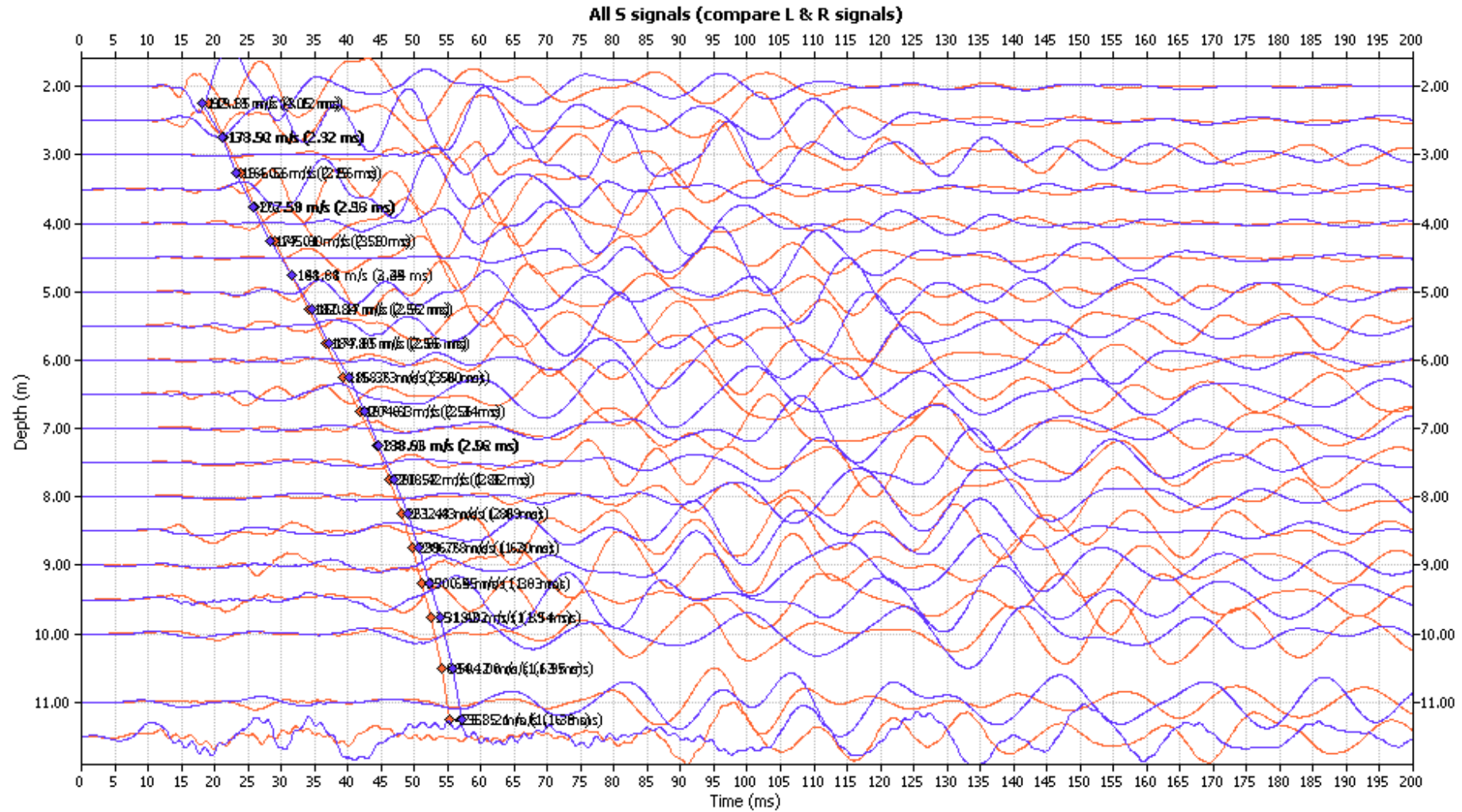
BOREHOLE: ACW151. Y DIRECTION – LEFT SIGNAL



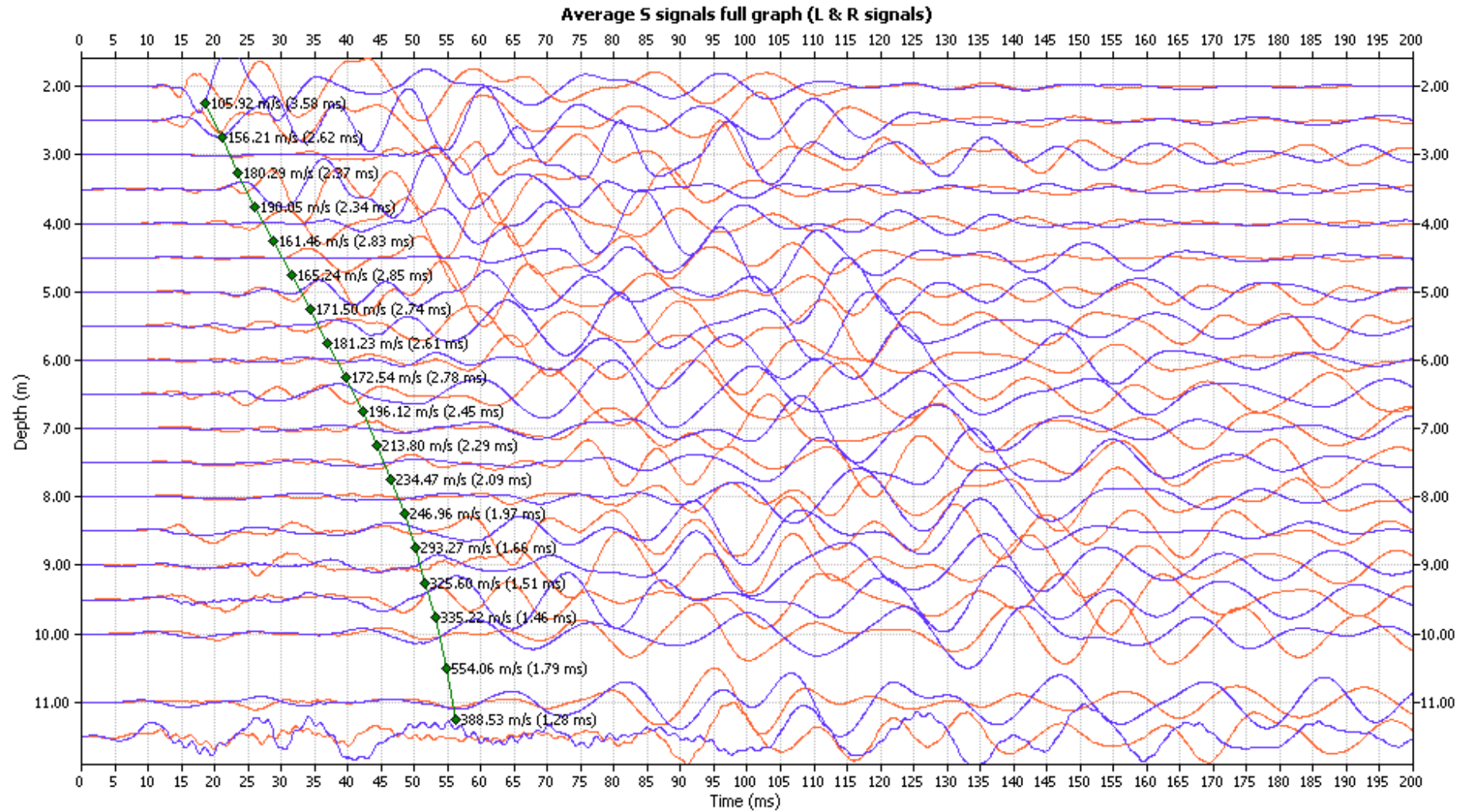
BOREHOLE: ACW151. Y DIRECTION – RIGHT SIGNAL



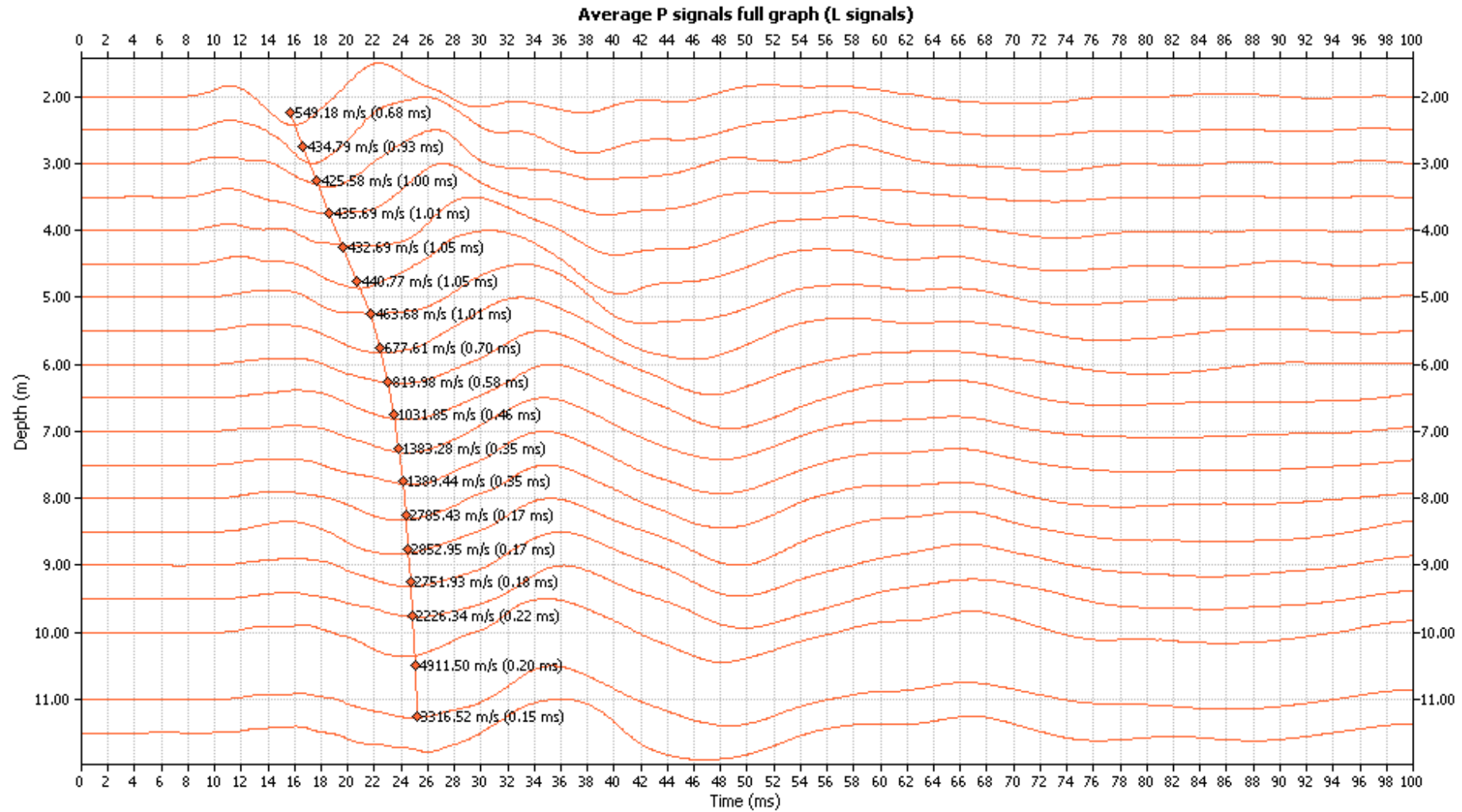
BOREHOLE: ACW151. Y DIRECTION – BOTH SIGNAL



BOREHOLE: ACW151. Y DIRECTION – MEAN SIGNAL

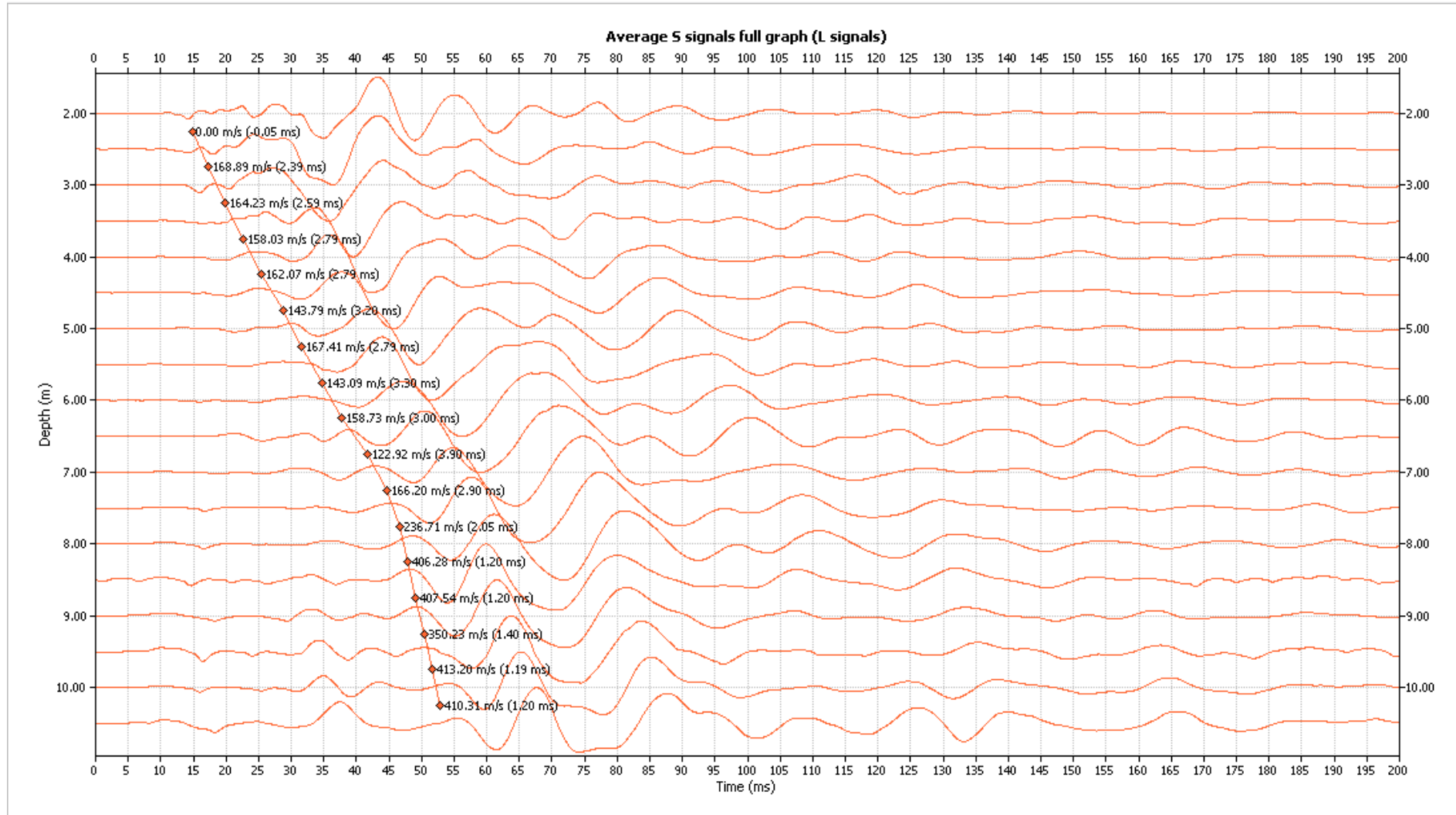


BOREHOLE: ACW151. Z DIRECTION – P SIGNAL

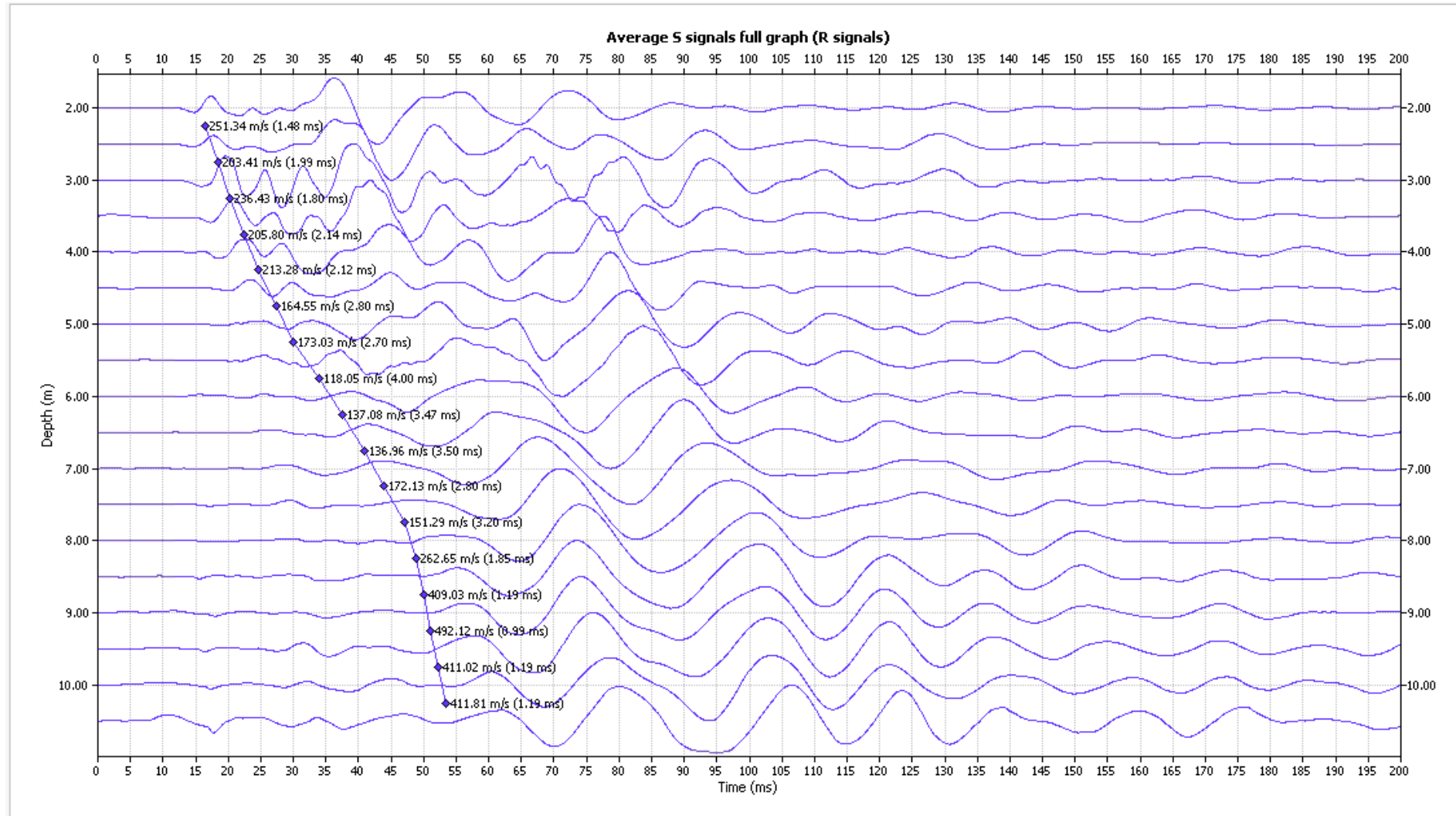


BOREHOLE: ADA147.

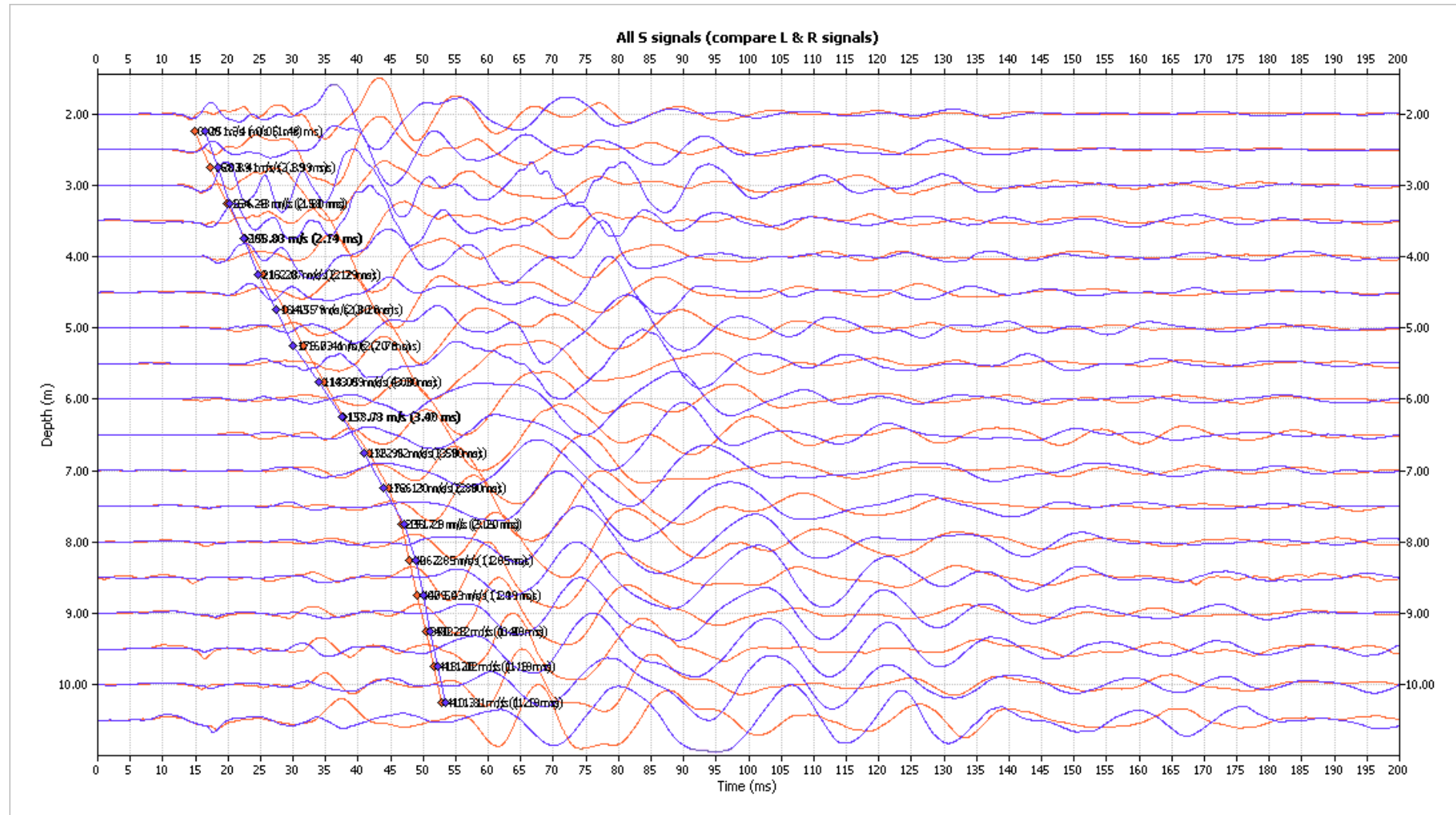
BOREHOLE: ADA147. X DIRECTION – LEFT SIGNAL



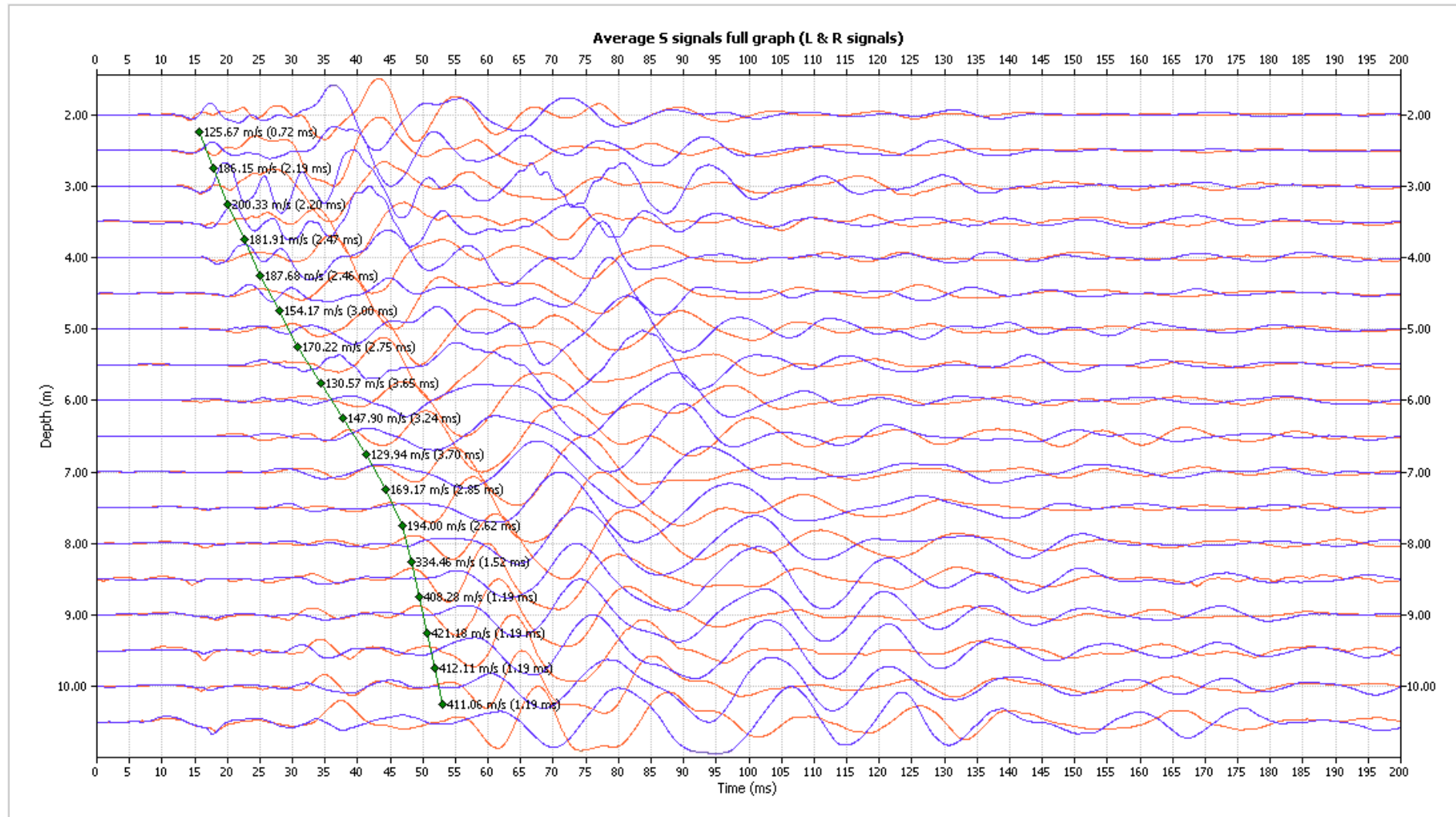
BOREHOLE: ADA147. X DIRECTION – RIGHT SIGNAL



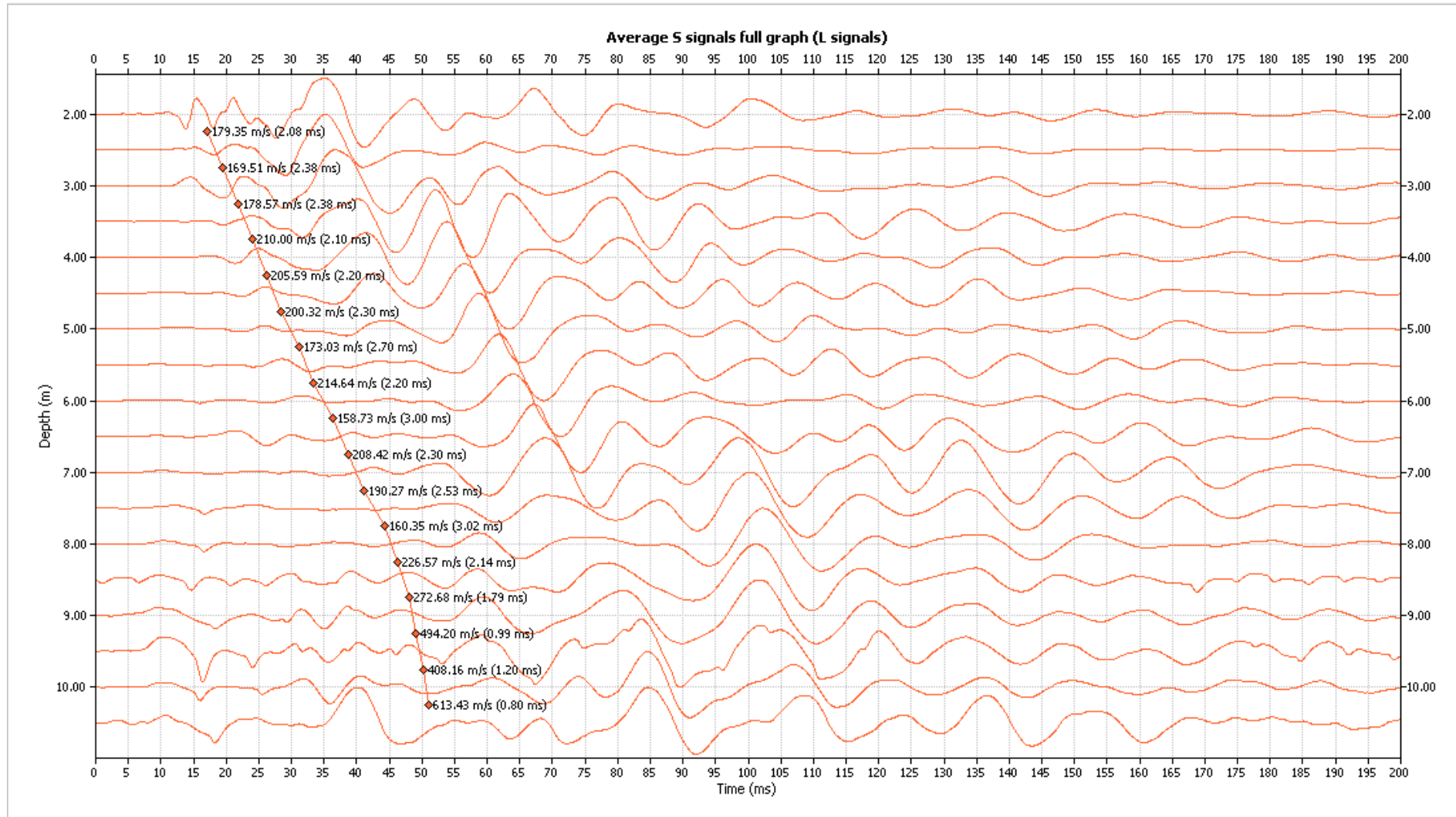
BOREHOLE: ADA147. X DIRECTION – BOTH SIGNAL



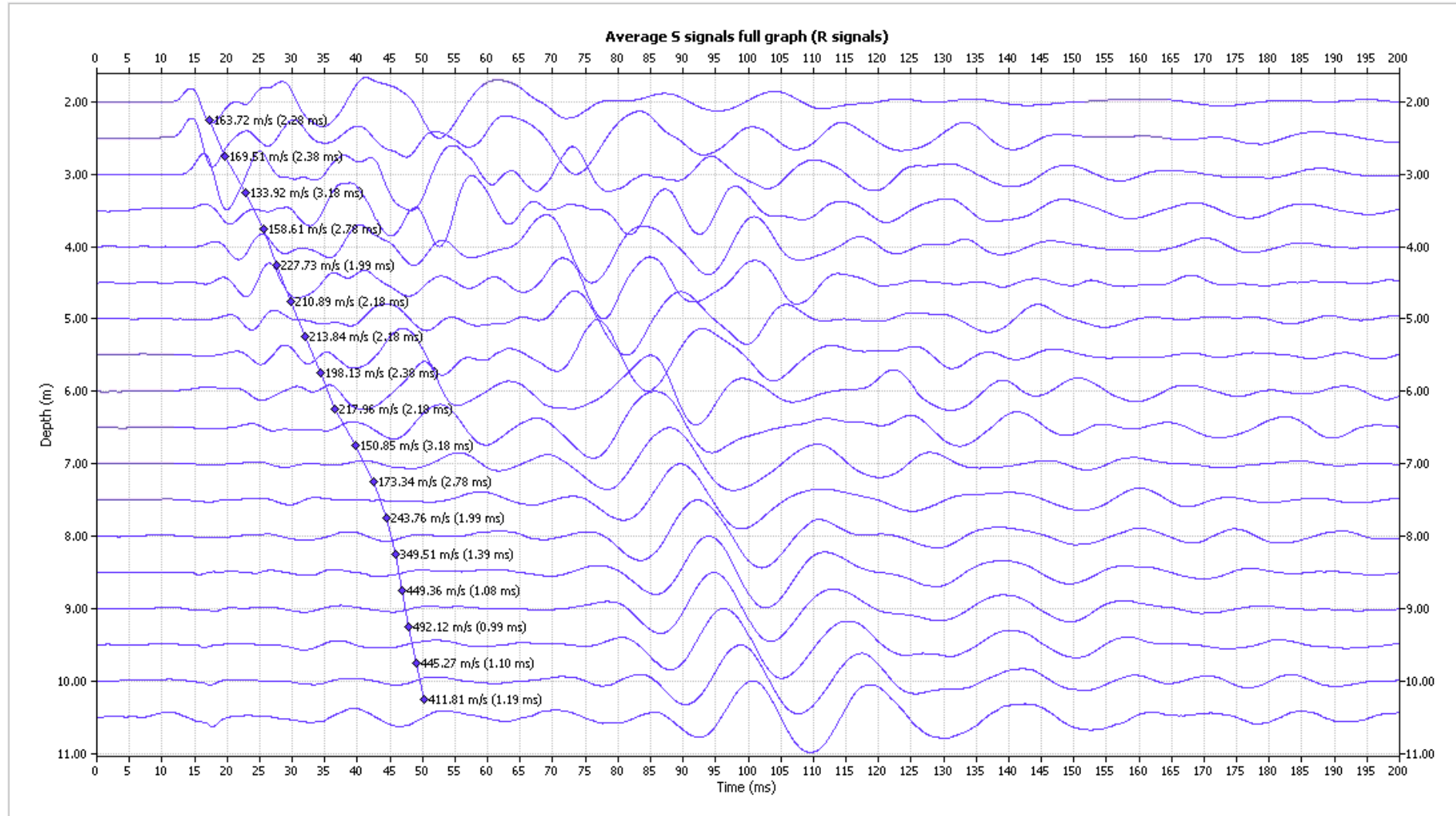
BOREHOLE: ADA147. X DIRECTION – MEAN SIGNAL



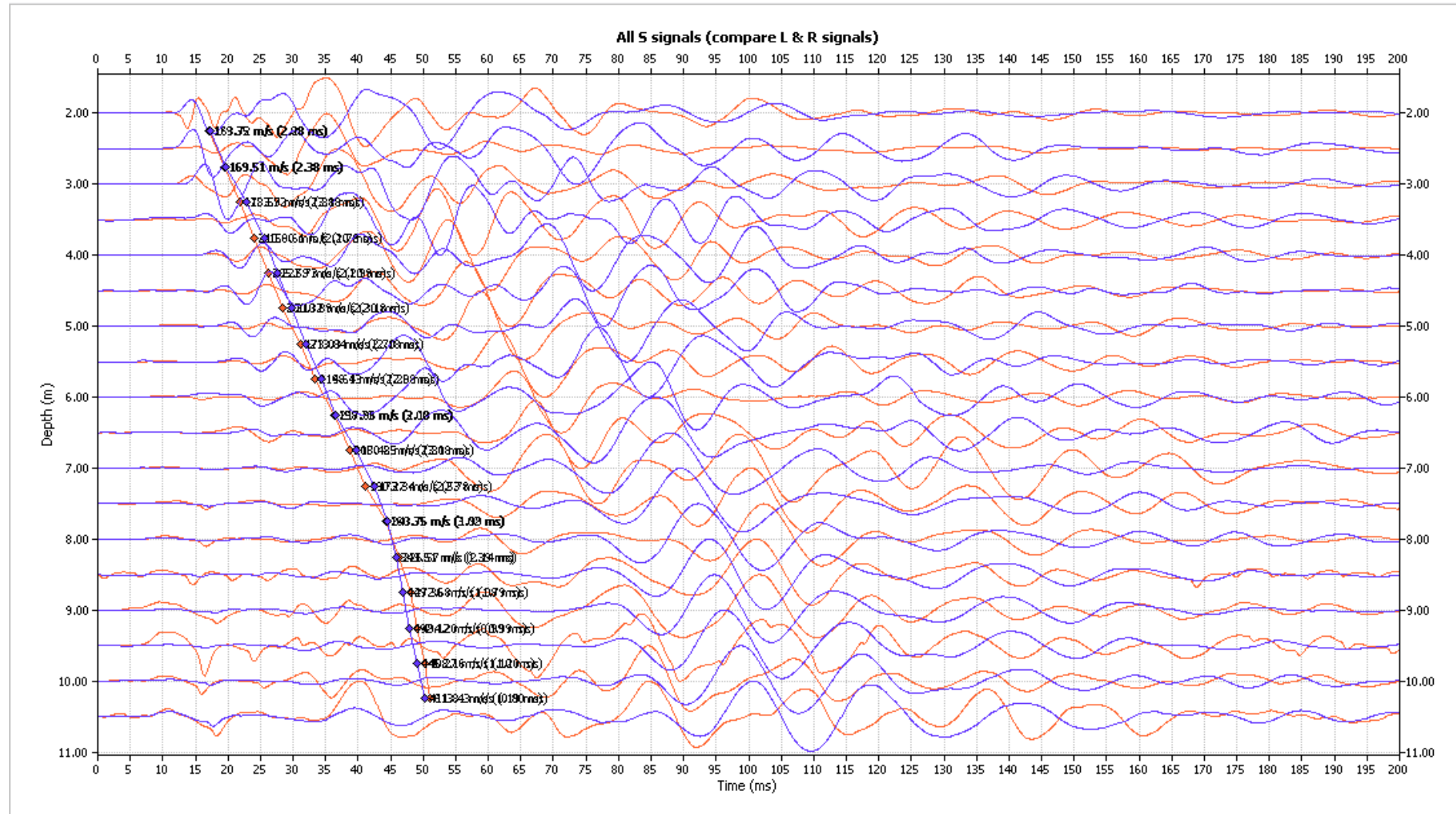
BOREHOLE: ADA147. Y DIRECTION – LEFT SIGNAL



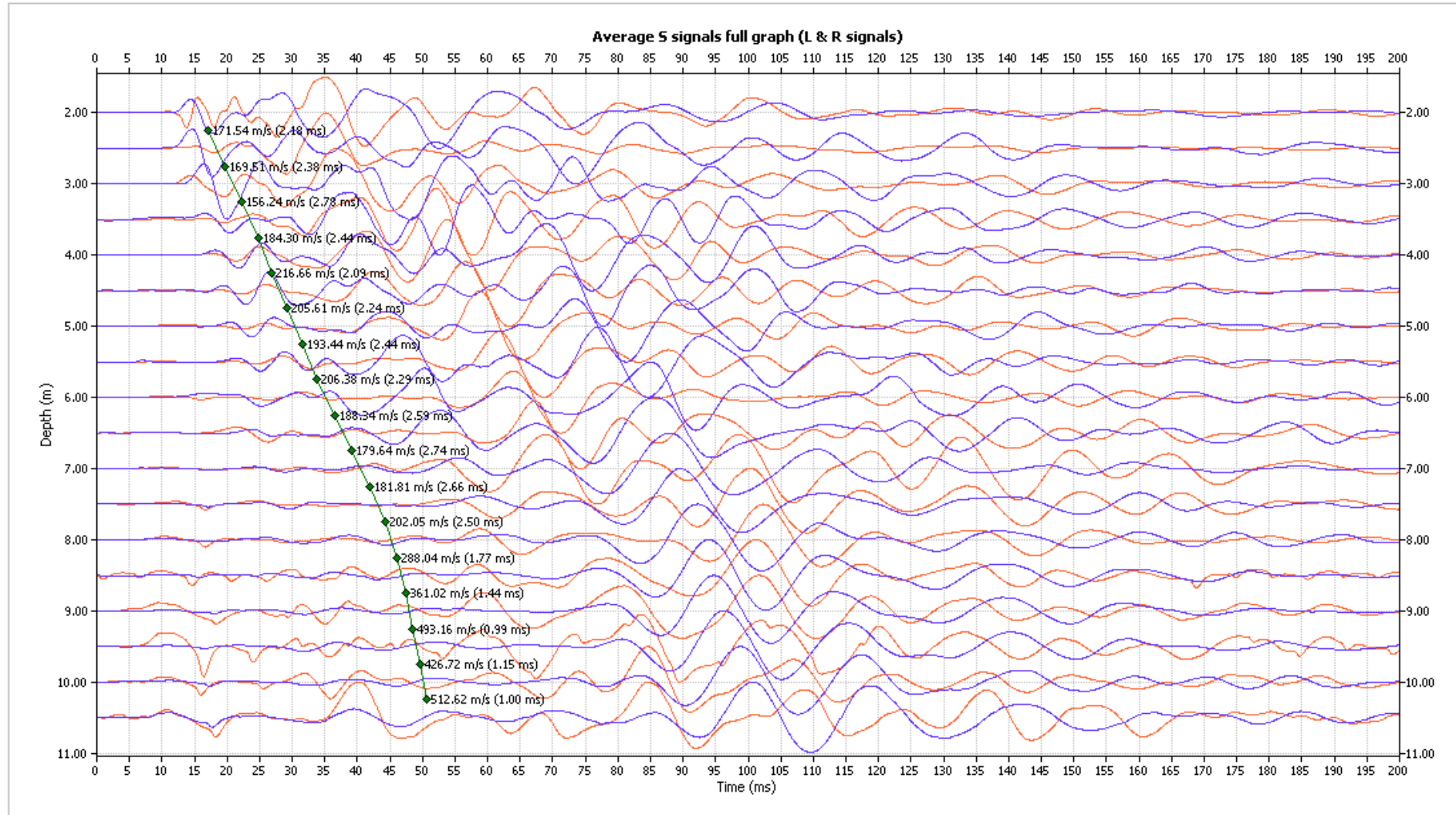
BOREHOLE: ADA147. Y DIRECTION – RIGHT SIGNAL



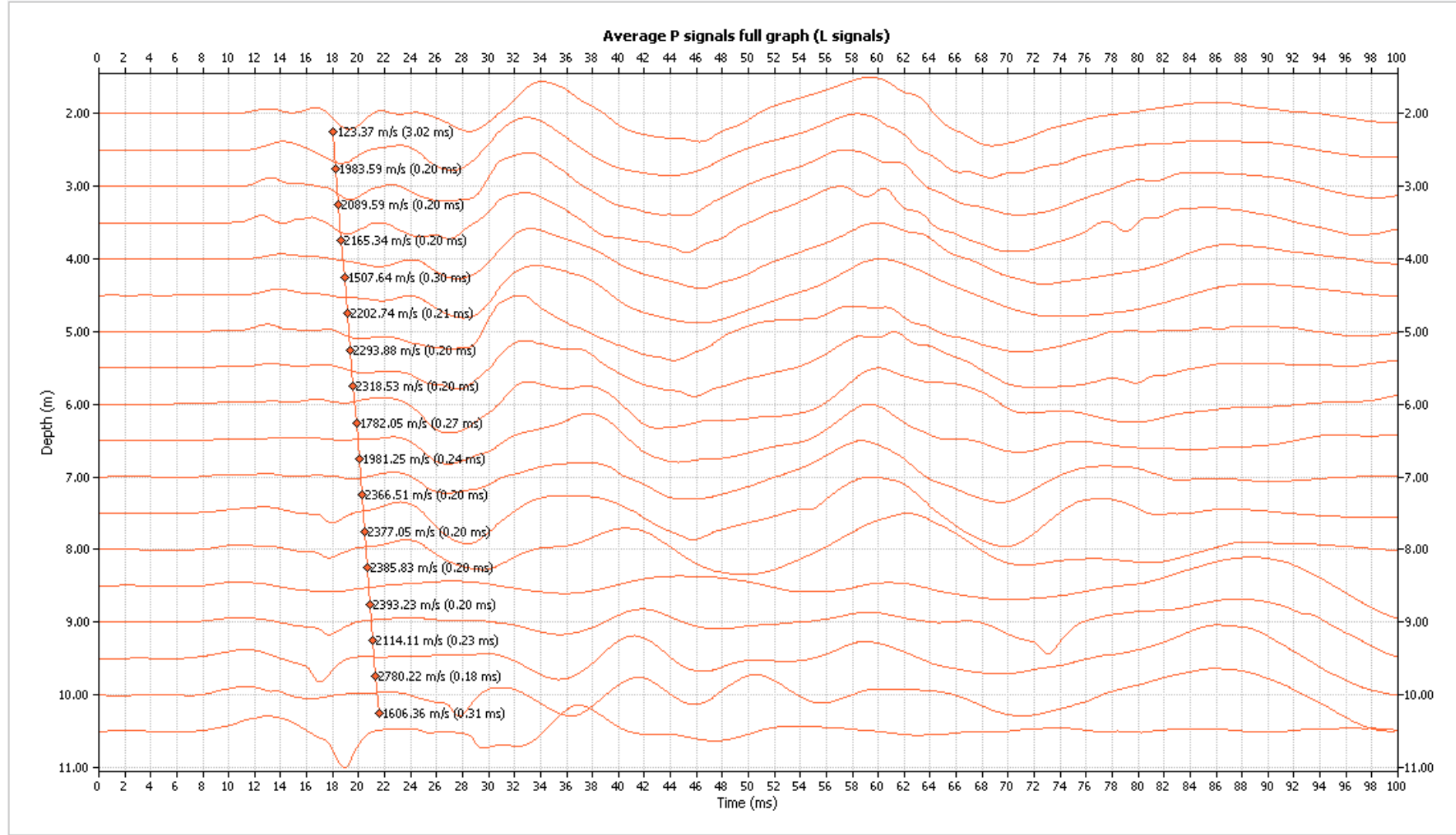
BOREHOLE: ADA147. Y DIRECTION – BOTH SIGNAL



BOREHOLE: ADA147. Y DIRECTION – MEAN SIGNAL

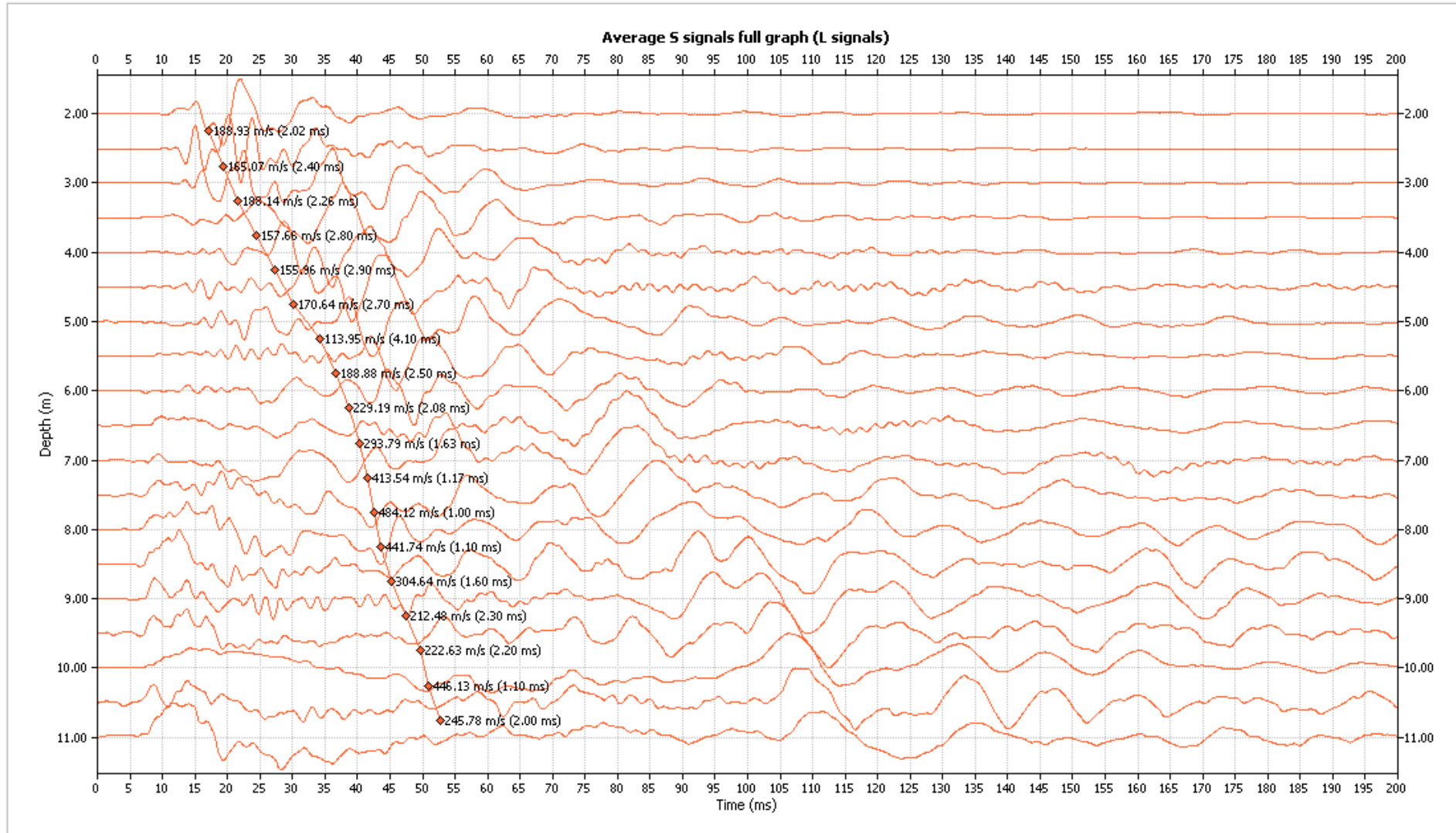


BOREHOLE: ADA147. Z DIRECTION – P SIGNAL

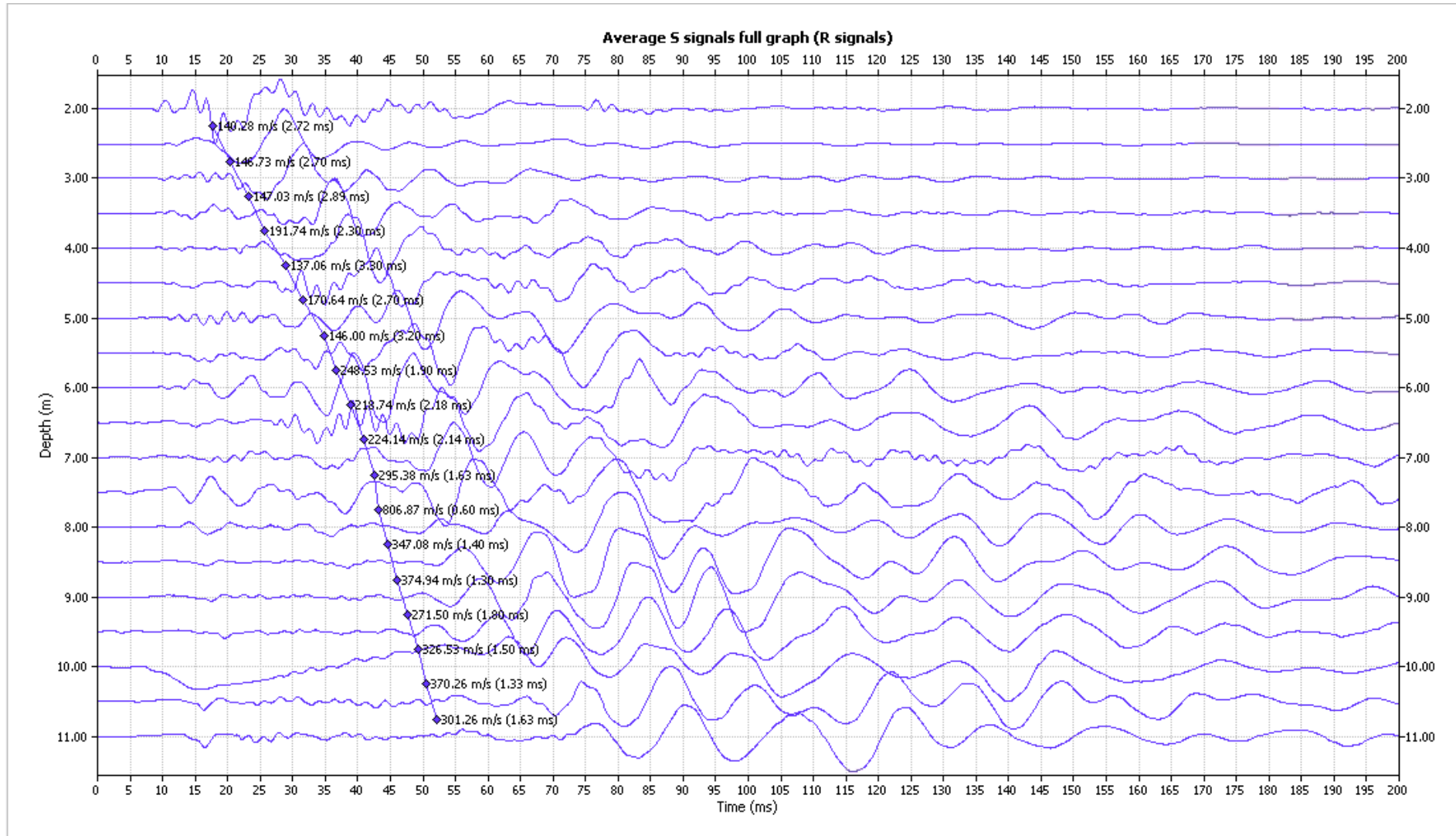


BOREHOLE: ADC148.

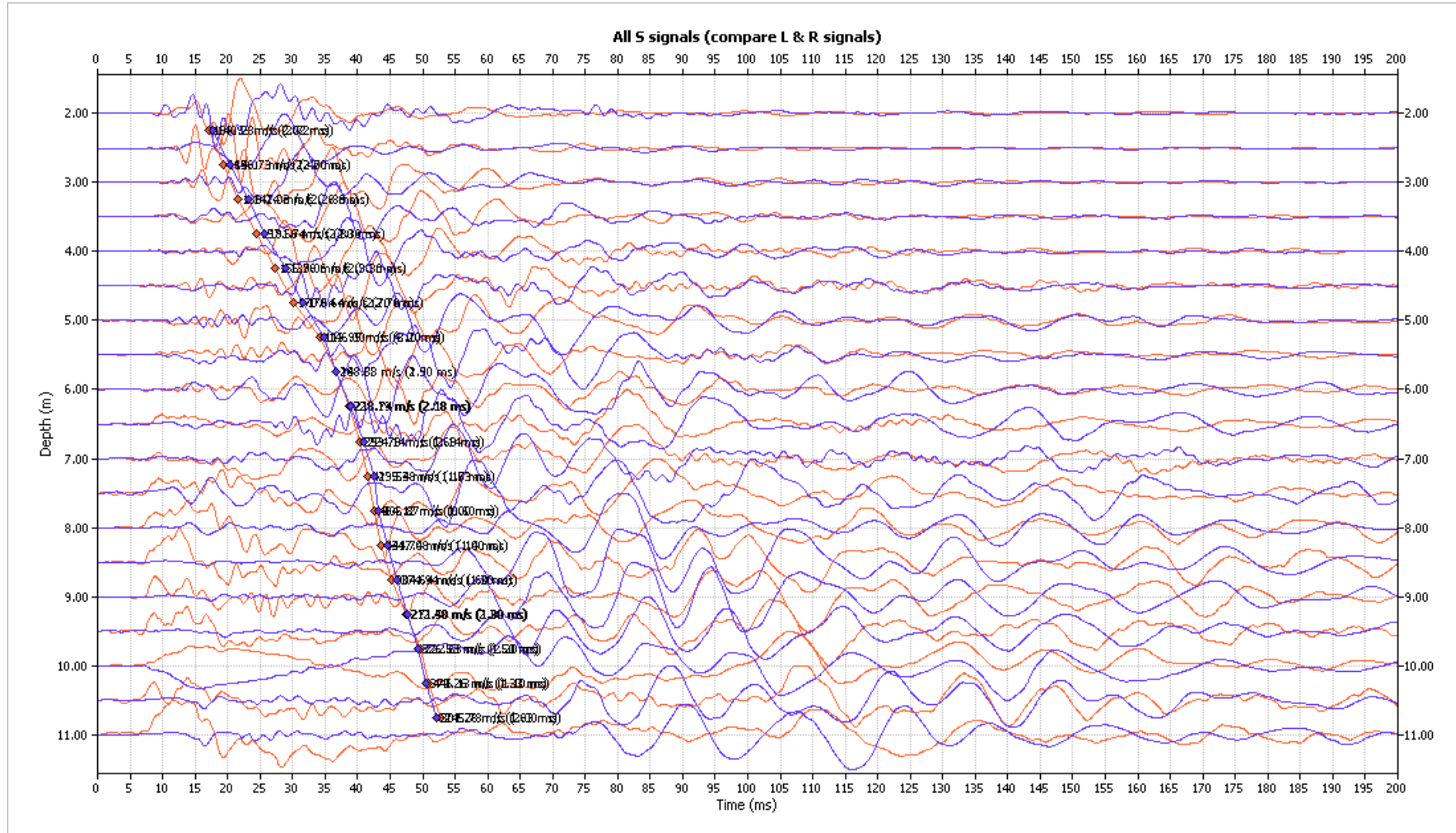
BOREHOLE: ADC148. X DIRECTION – LEFT SIGNAL



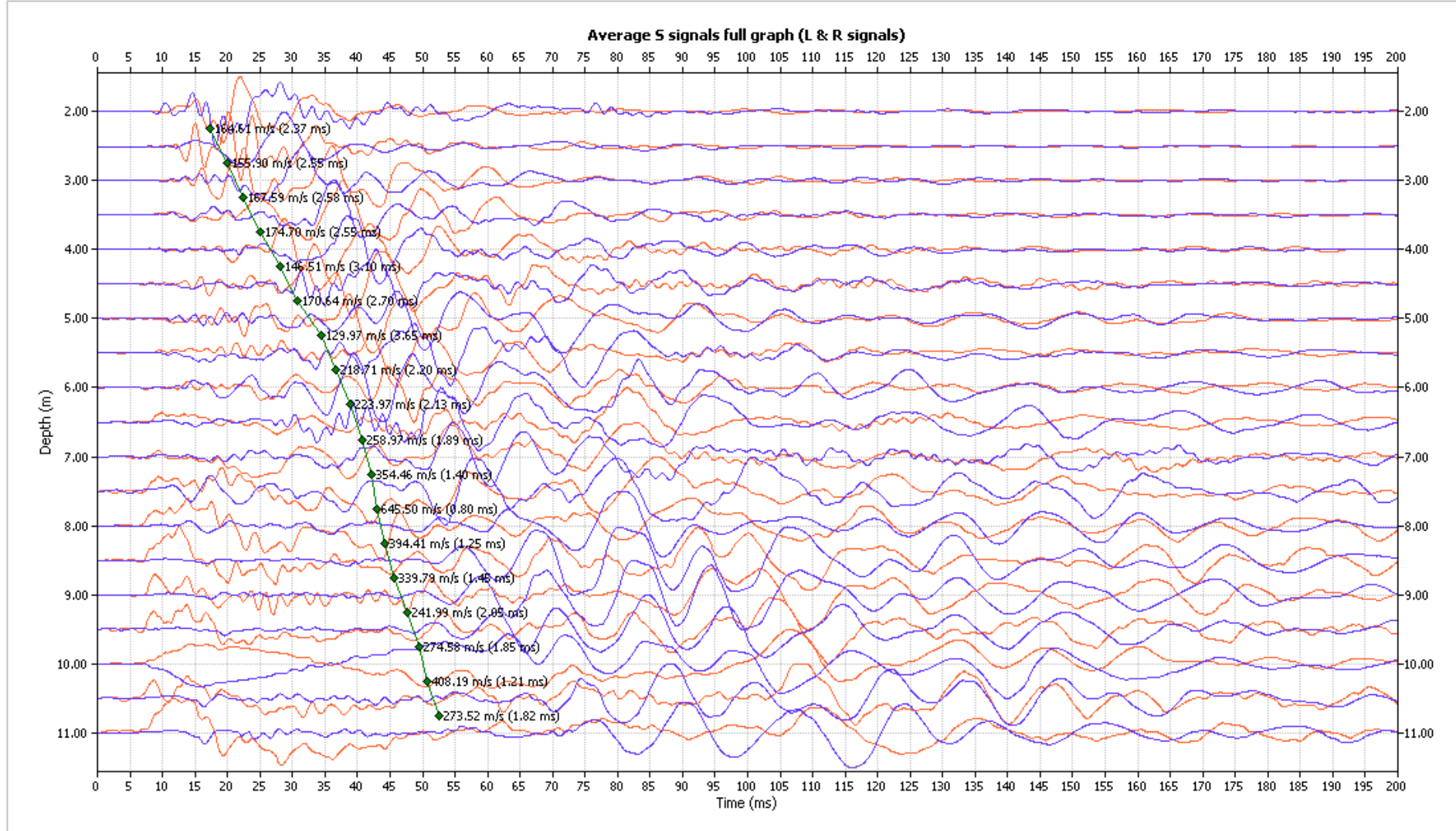
BOREHOLE: ADC148. X DIRECTION – RIGHT SIGNAL



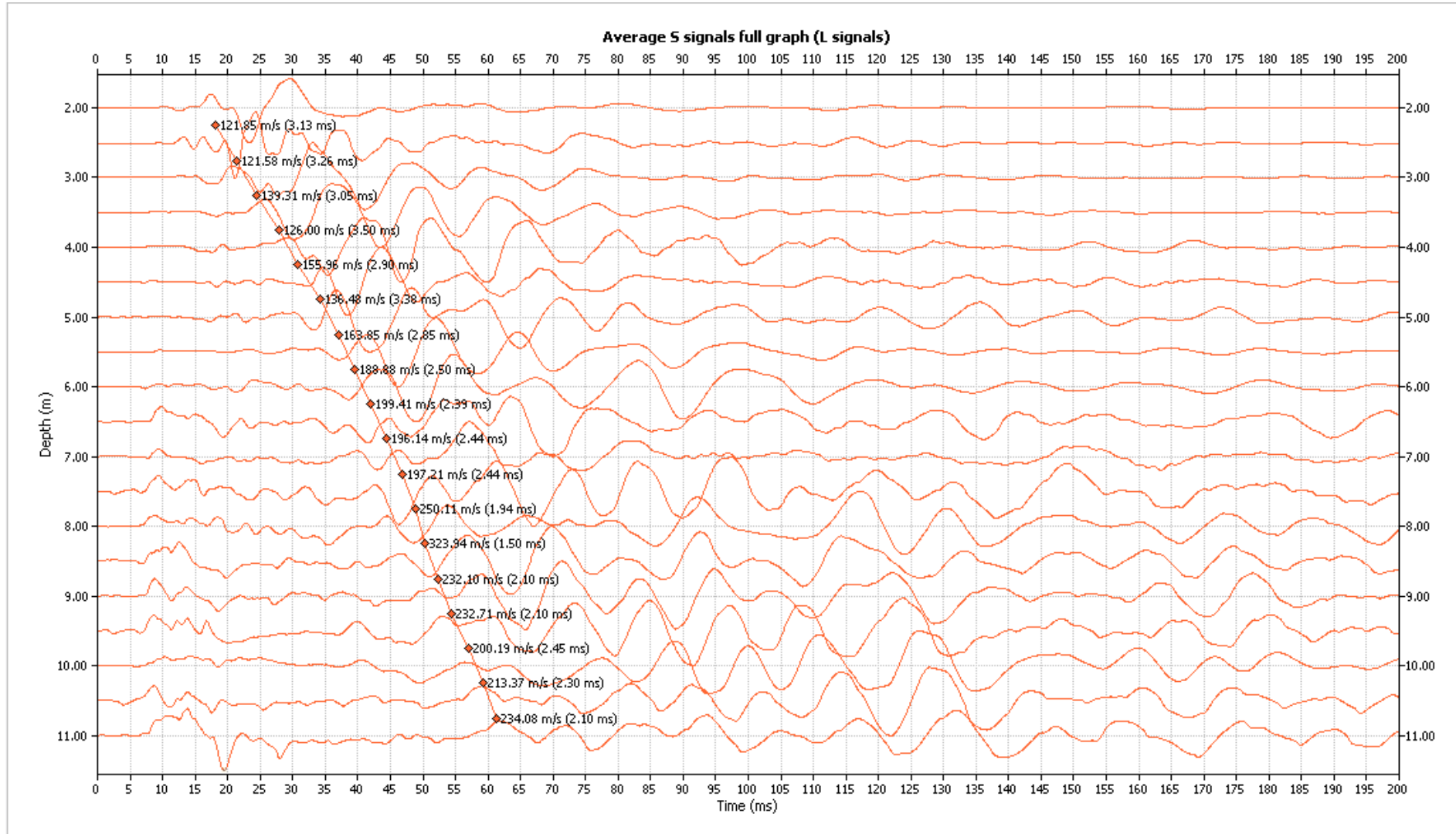
BOREHOLE: ADC148. X DIRECTION – BOTH SIGNAL



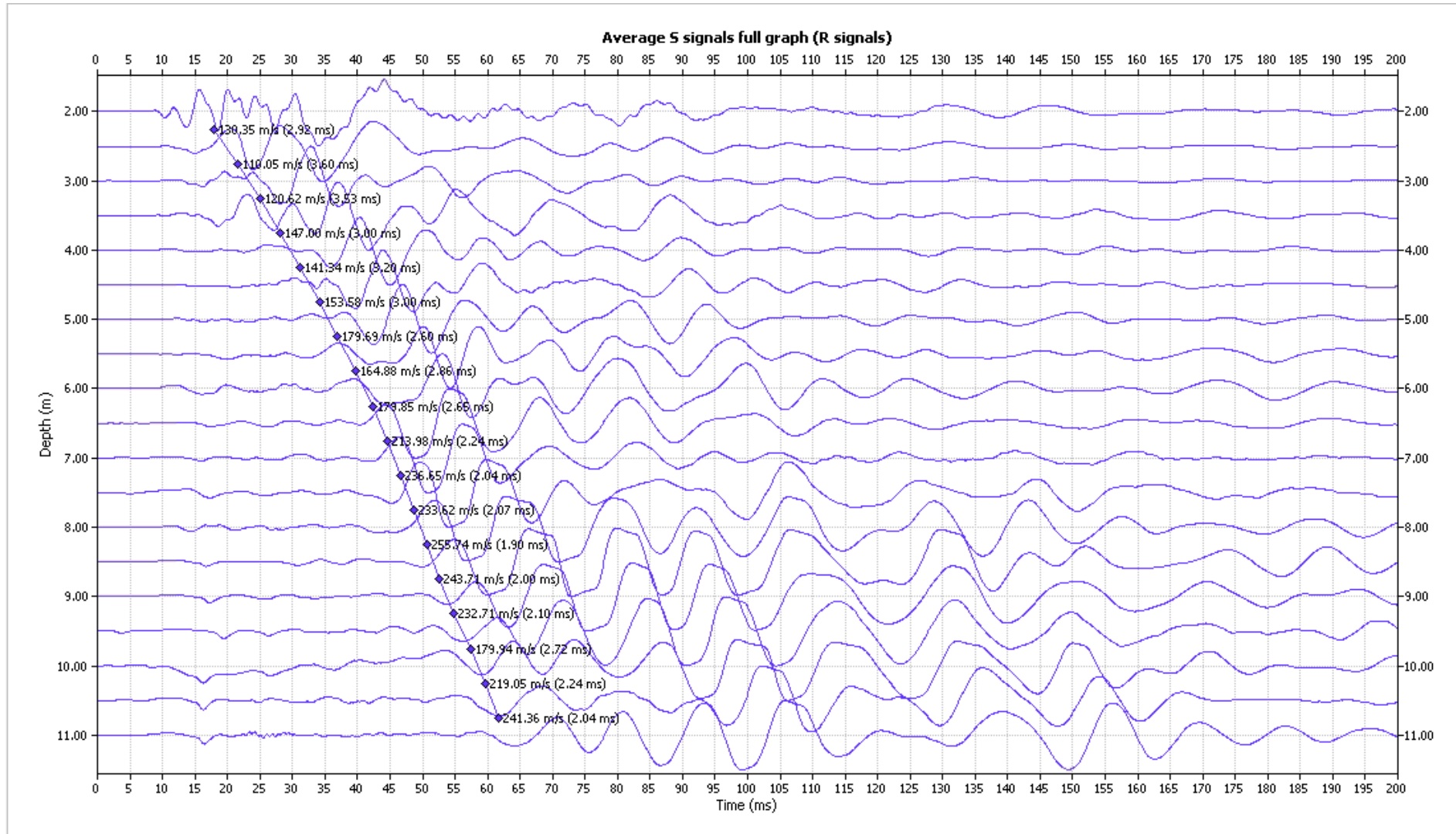
BOREHOLE: ADC148. X DIRECTION – MEAN SIGNAL



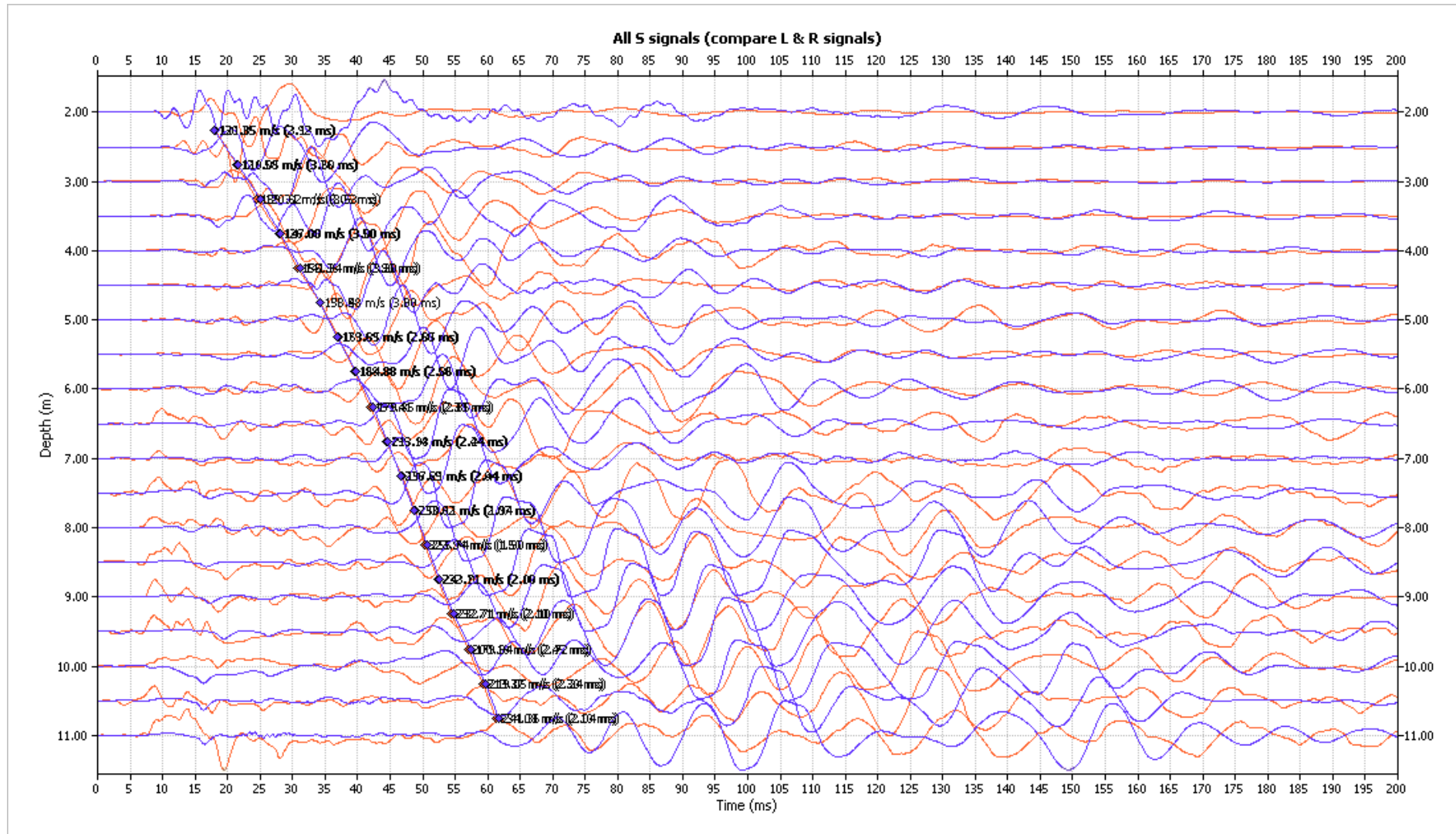
BOREHOLE: ADC148. Y DIRECTION – LEFT SIGNAL



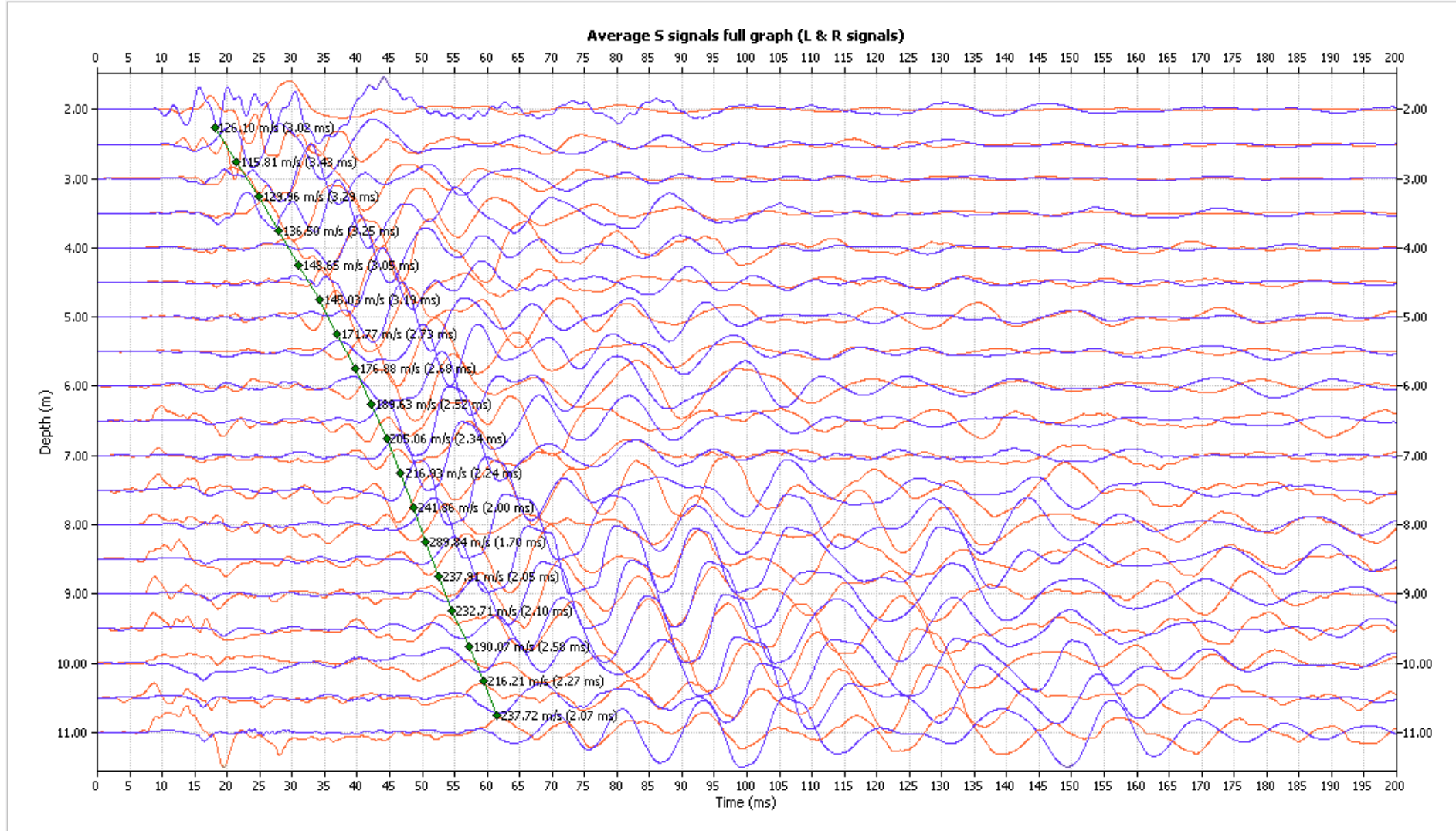
BOREHOLE: ADC148. Y DIRECTION – RIGHT SIGNAL



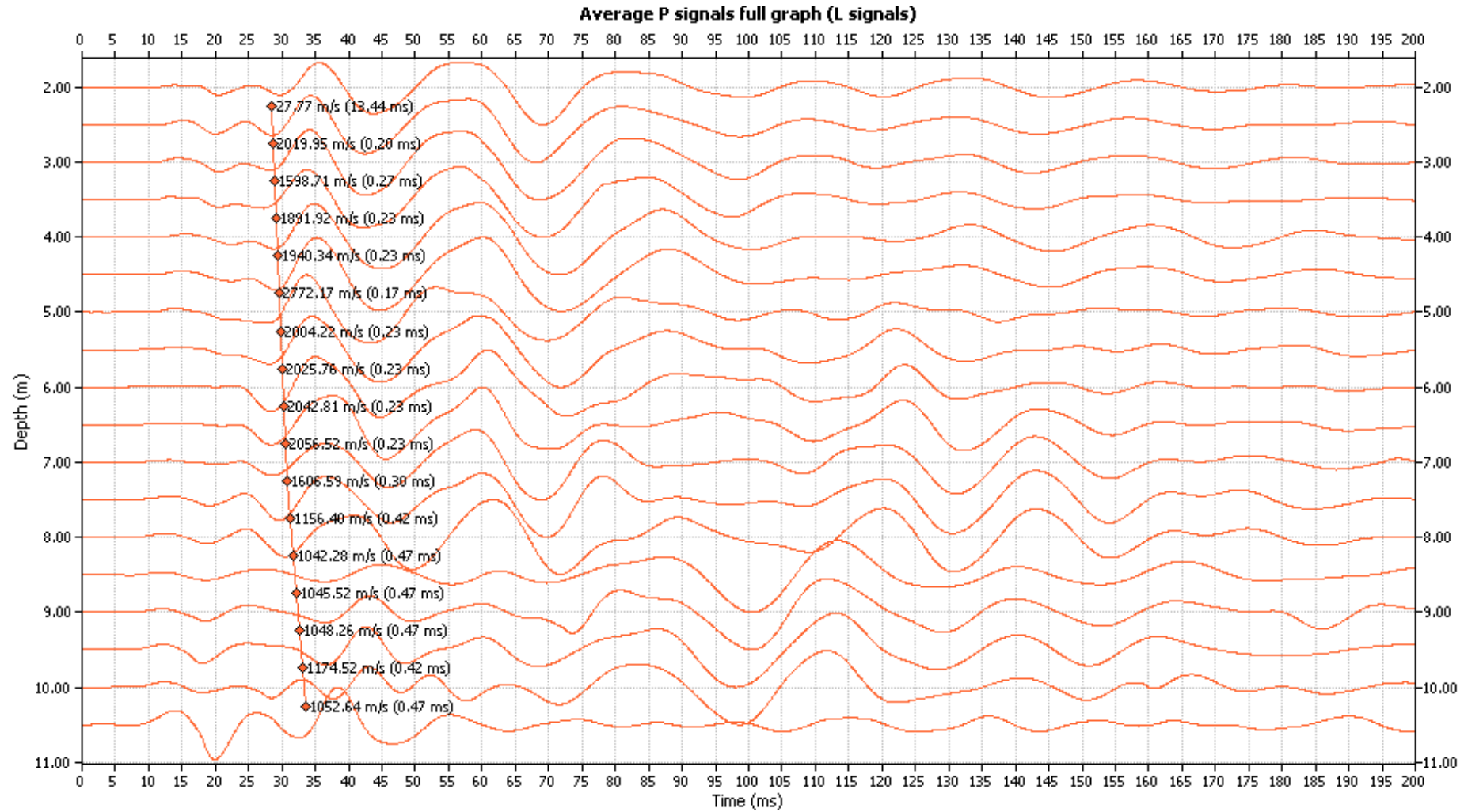
BOREHOLE: ADC148. Y DIRECTION – BOTH SIGNAL



BOREHOLE: ADC148. Y DIRECTION – MEAN SIGNAL

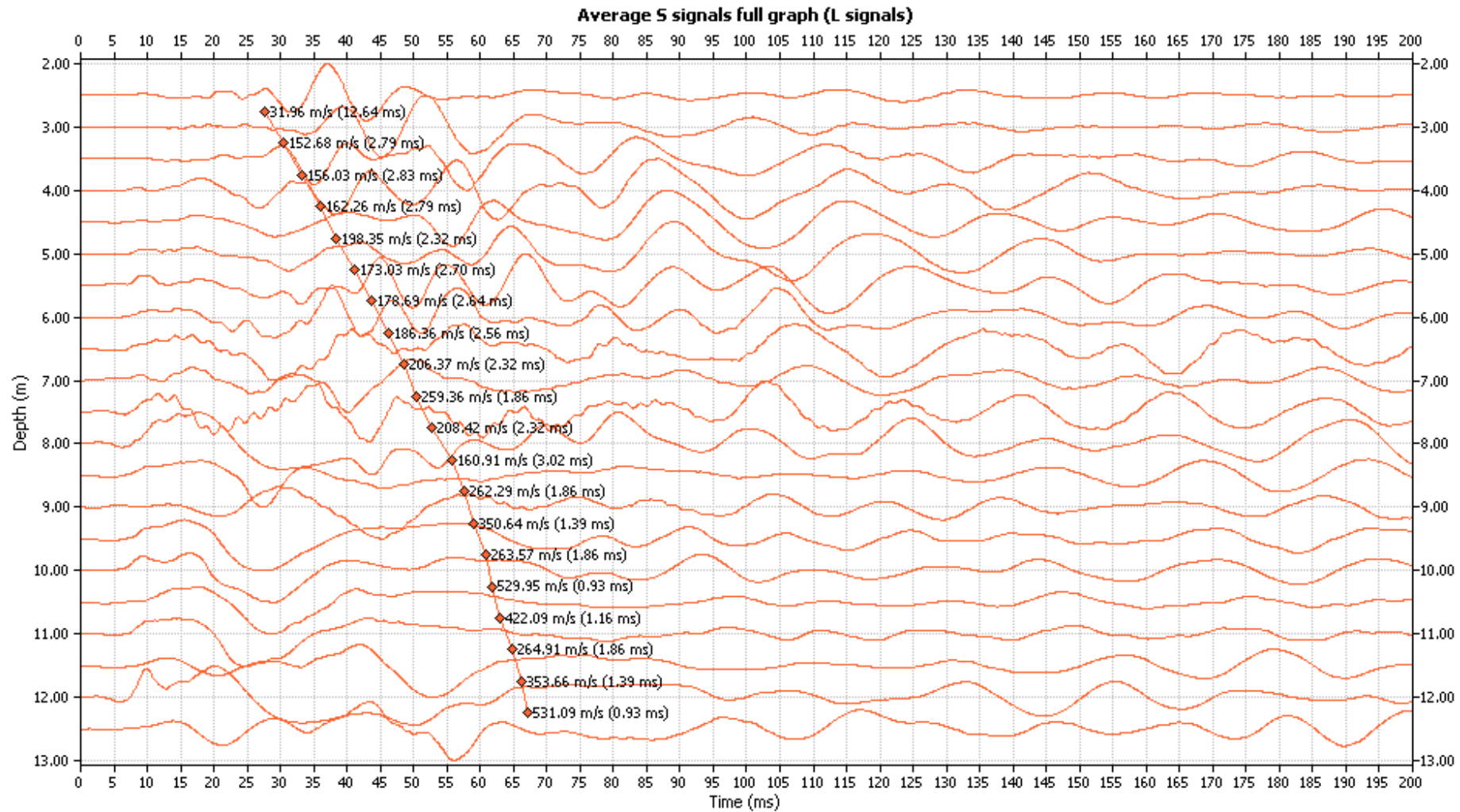


BOREHOLE: ADC148. Z DIRECTION – P SIGNAL

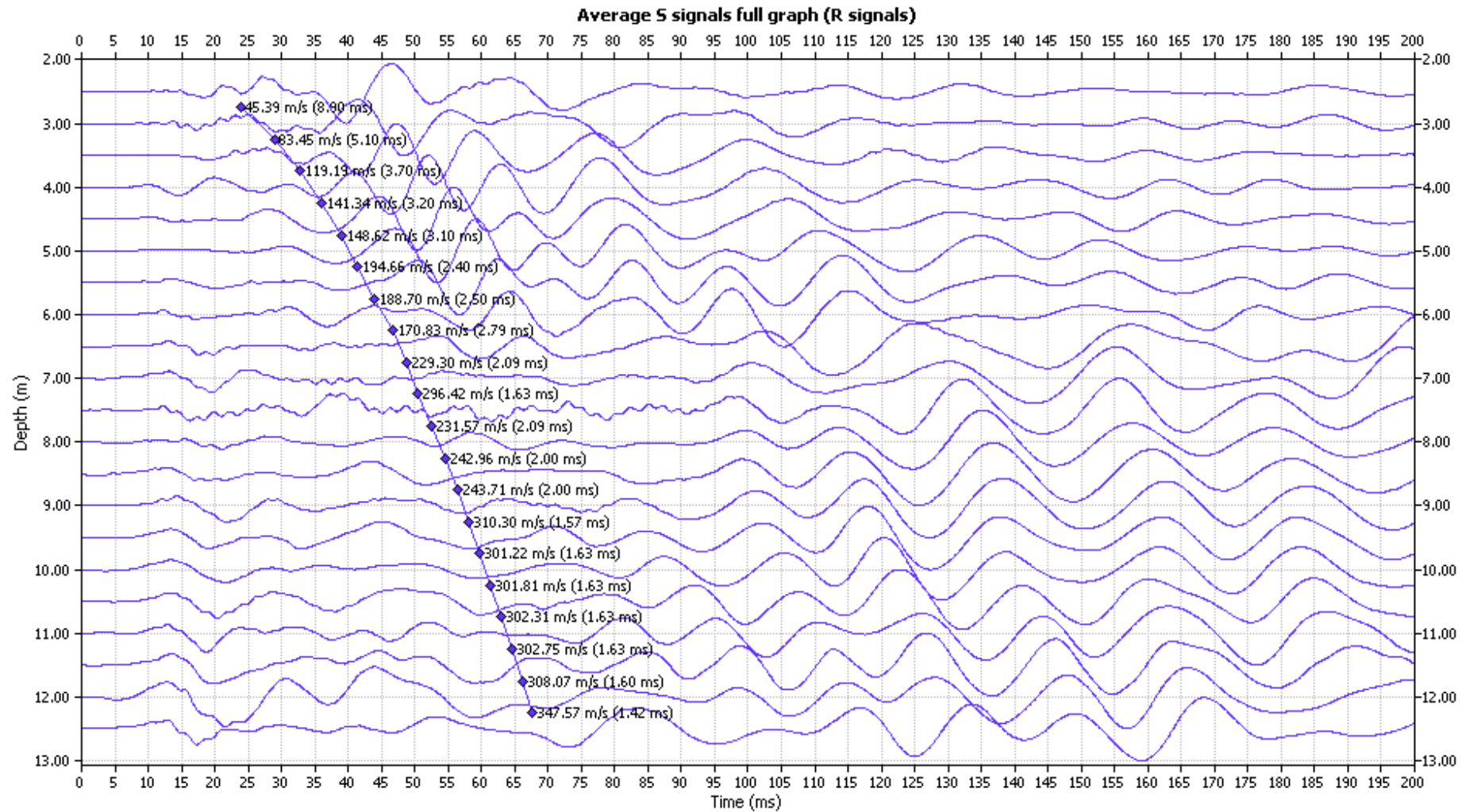


BOREHOLE: AEA358.

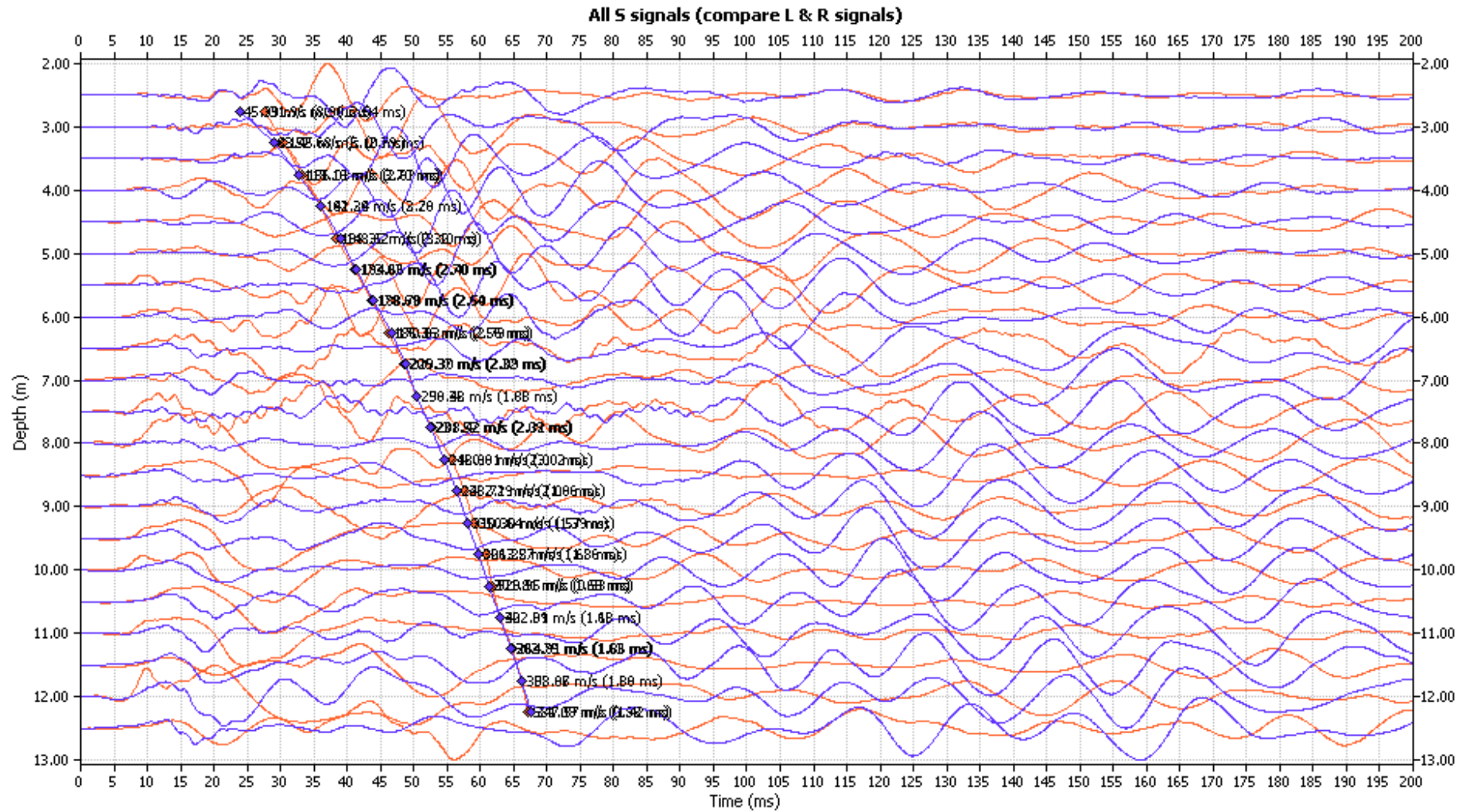
BOREHOLE: AEA358. X DIRECTION - LEFT SIGNAL



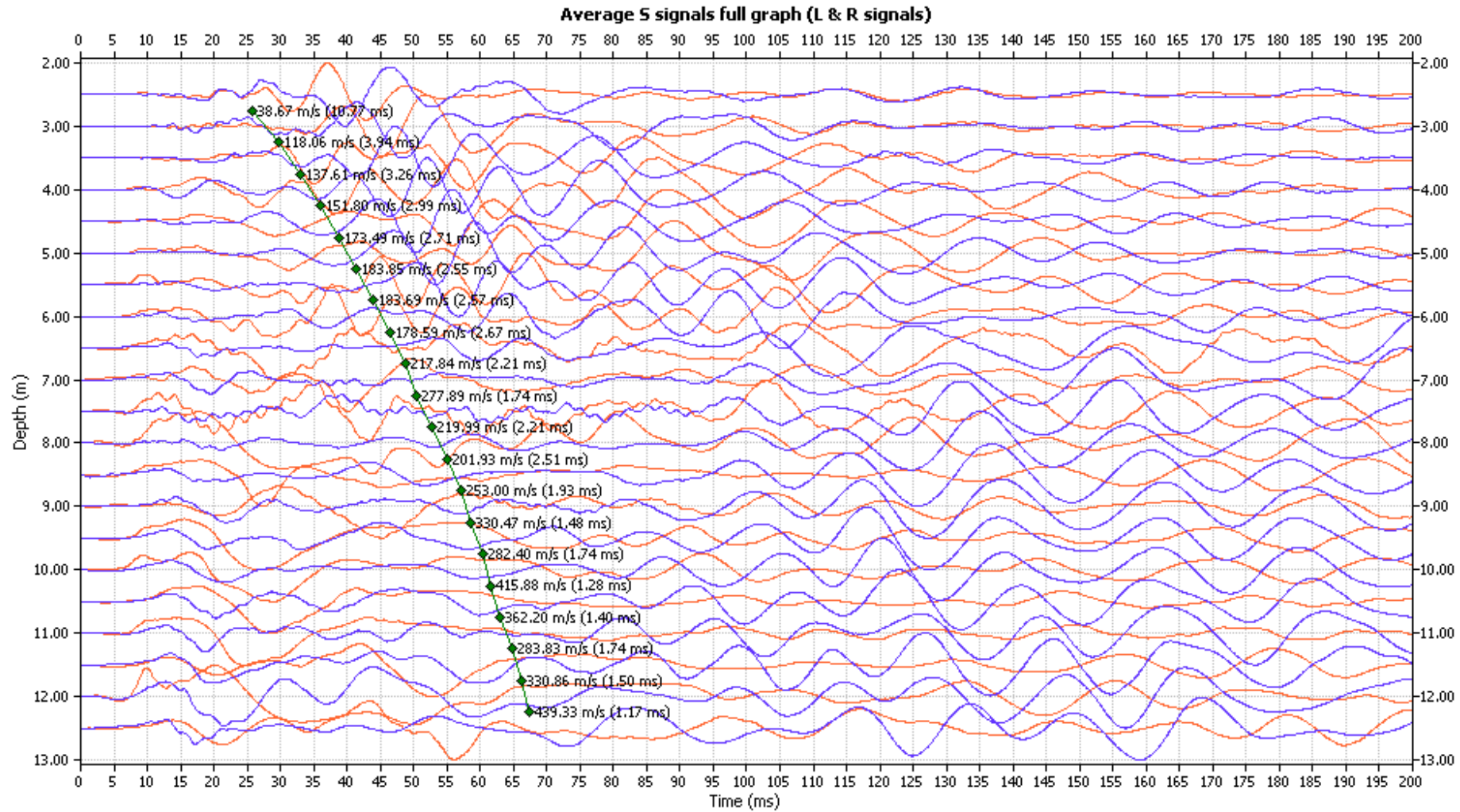
BOREHOLE: AEA358. X DIRECTION – RIGHT SIGNAL



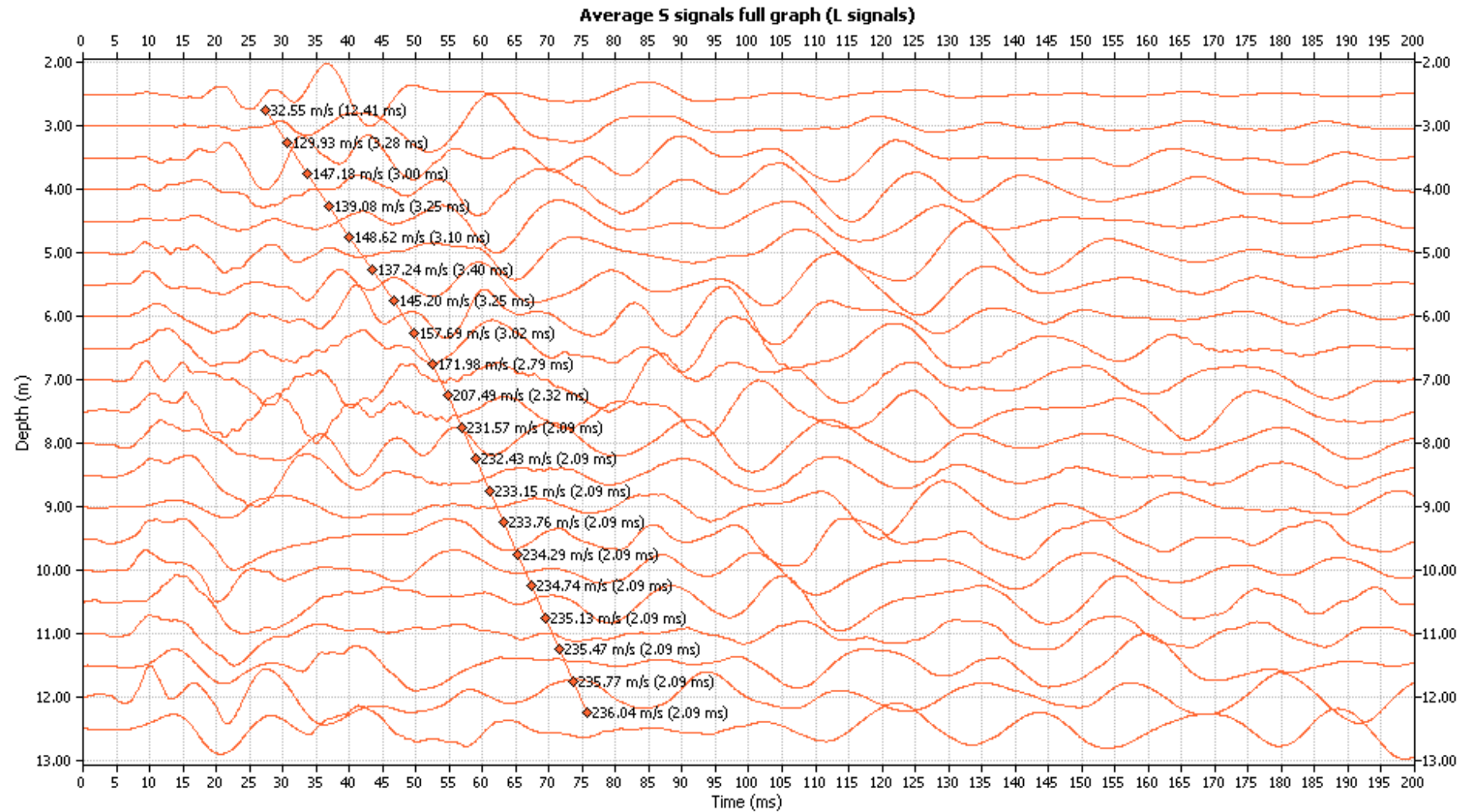
BOREHOLE: AEA358. X DIRECTION – BOTH SIGNAL



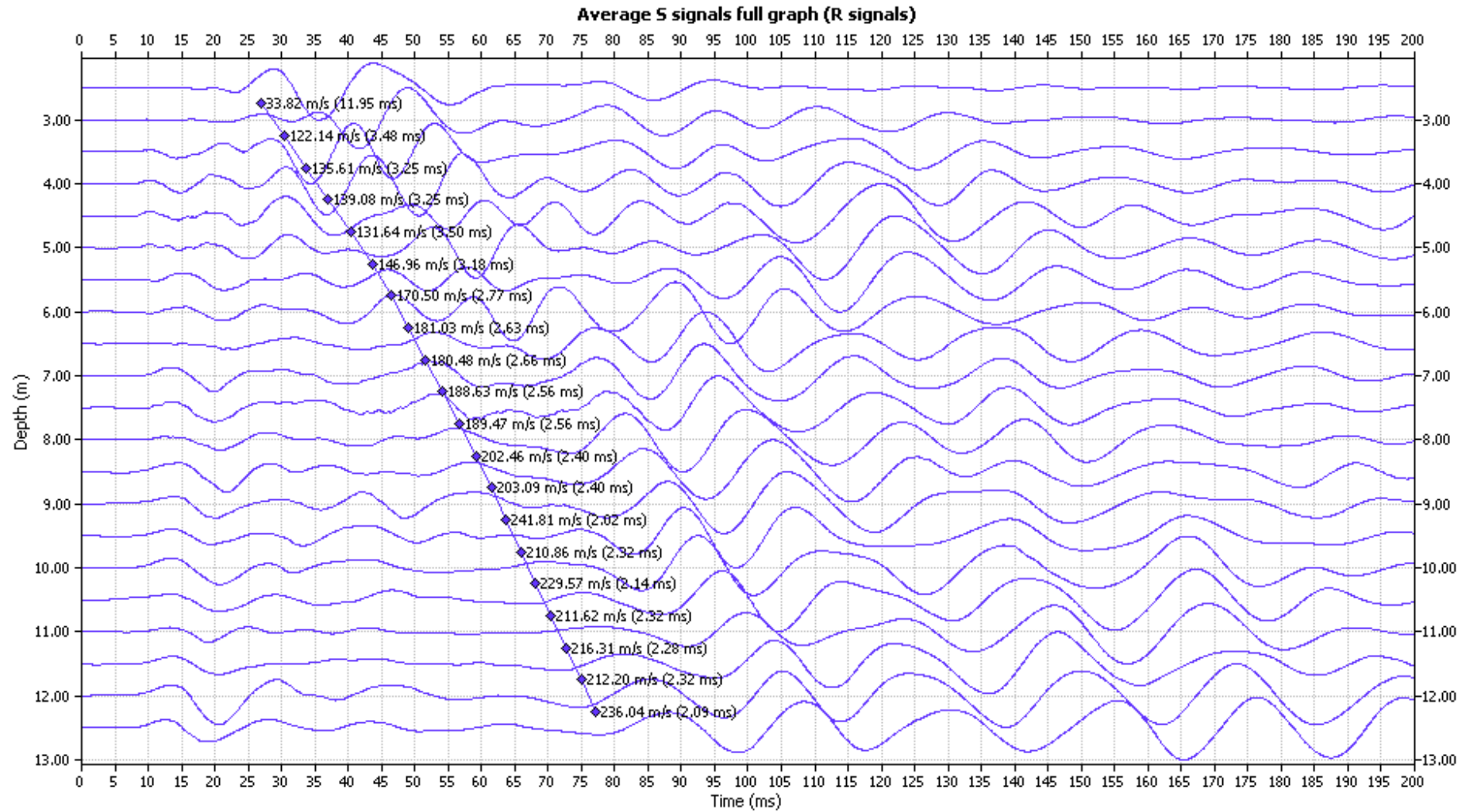
BOREHOLE: AEA358. X DIRECTION – RIGHT SIGNAL



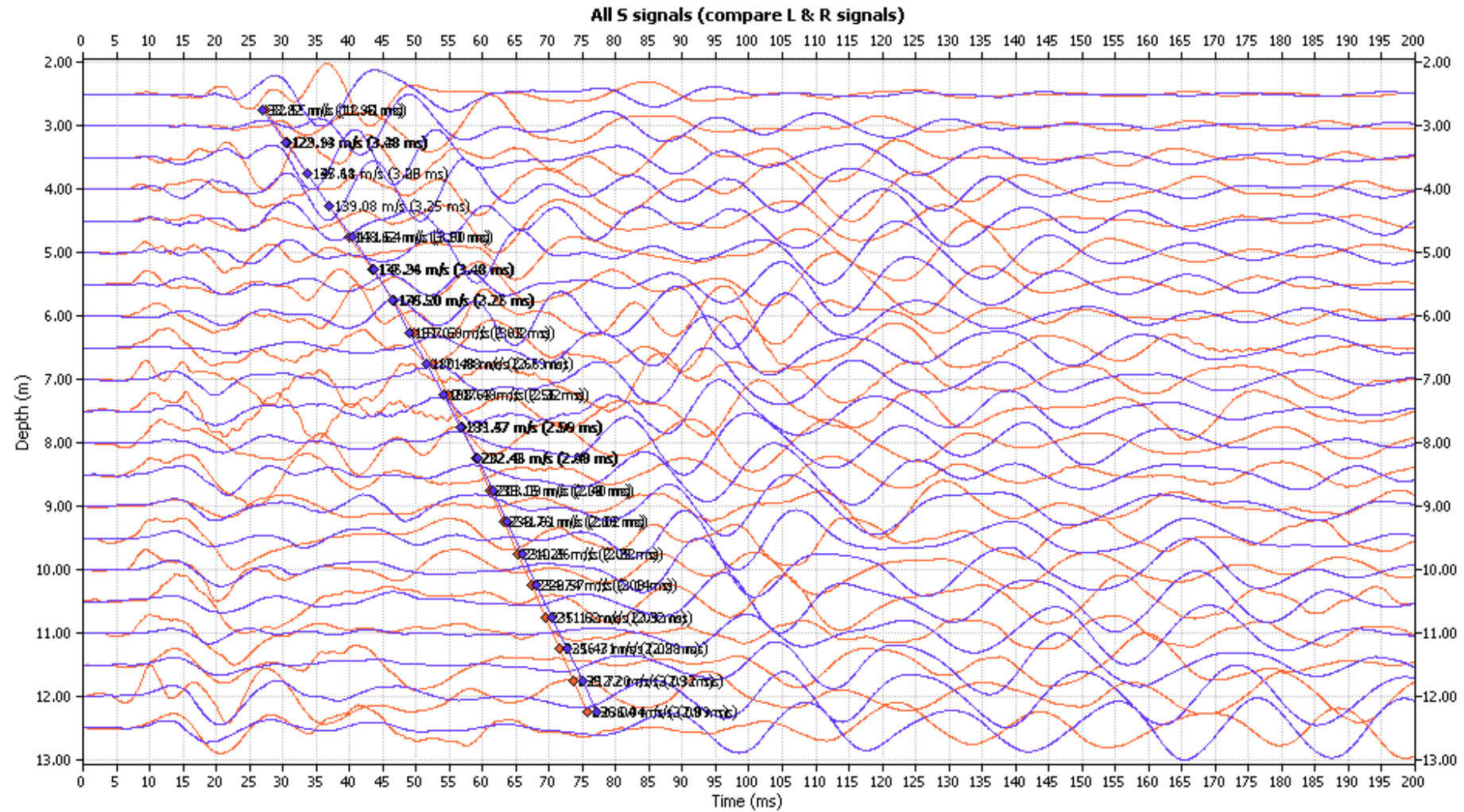
BOREHOLE: AEA358. Y DIRECTION - LEFT SIGNAL



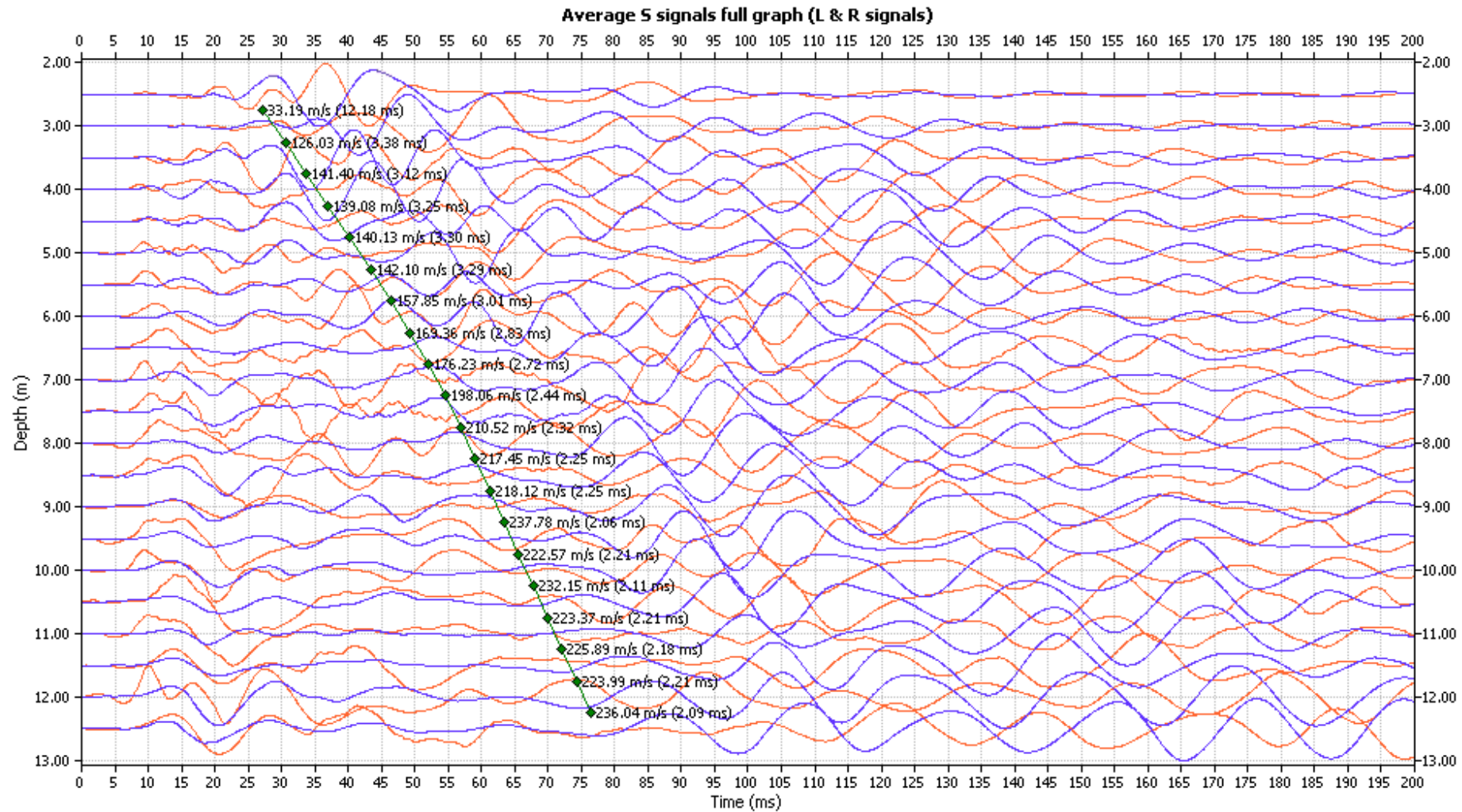
BOREHOLE: AEA358. Y DIRECTION – RIGHT SIGNAL



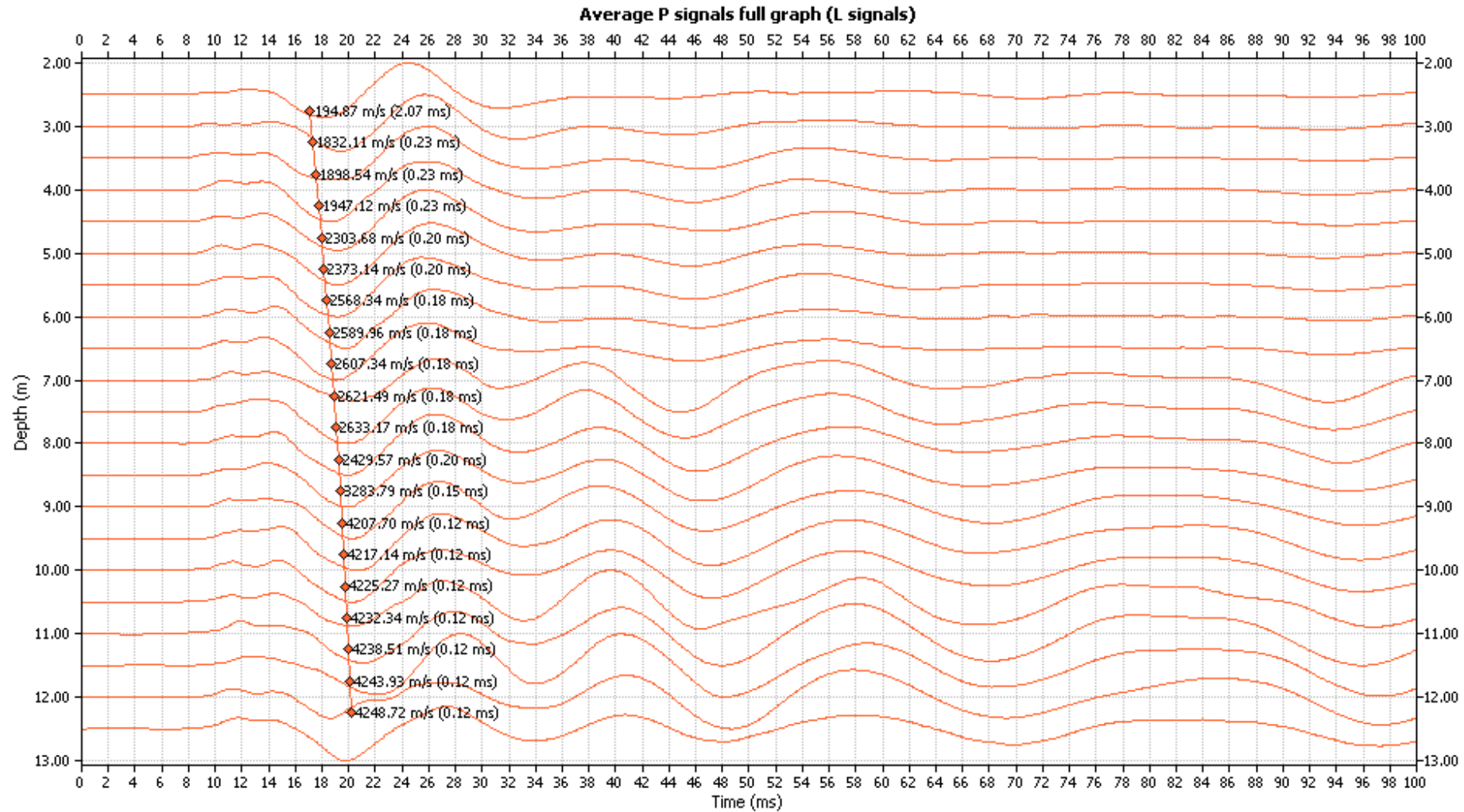
BOREHOLE: AEA358. Y DIRECTION – BOTH SIGNAL



BOREHOLE: AEA358. Y DIRECTION - MEAN SIGNAL

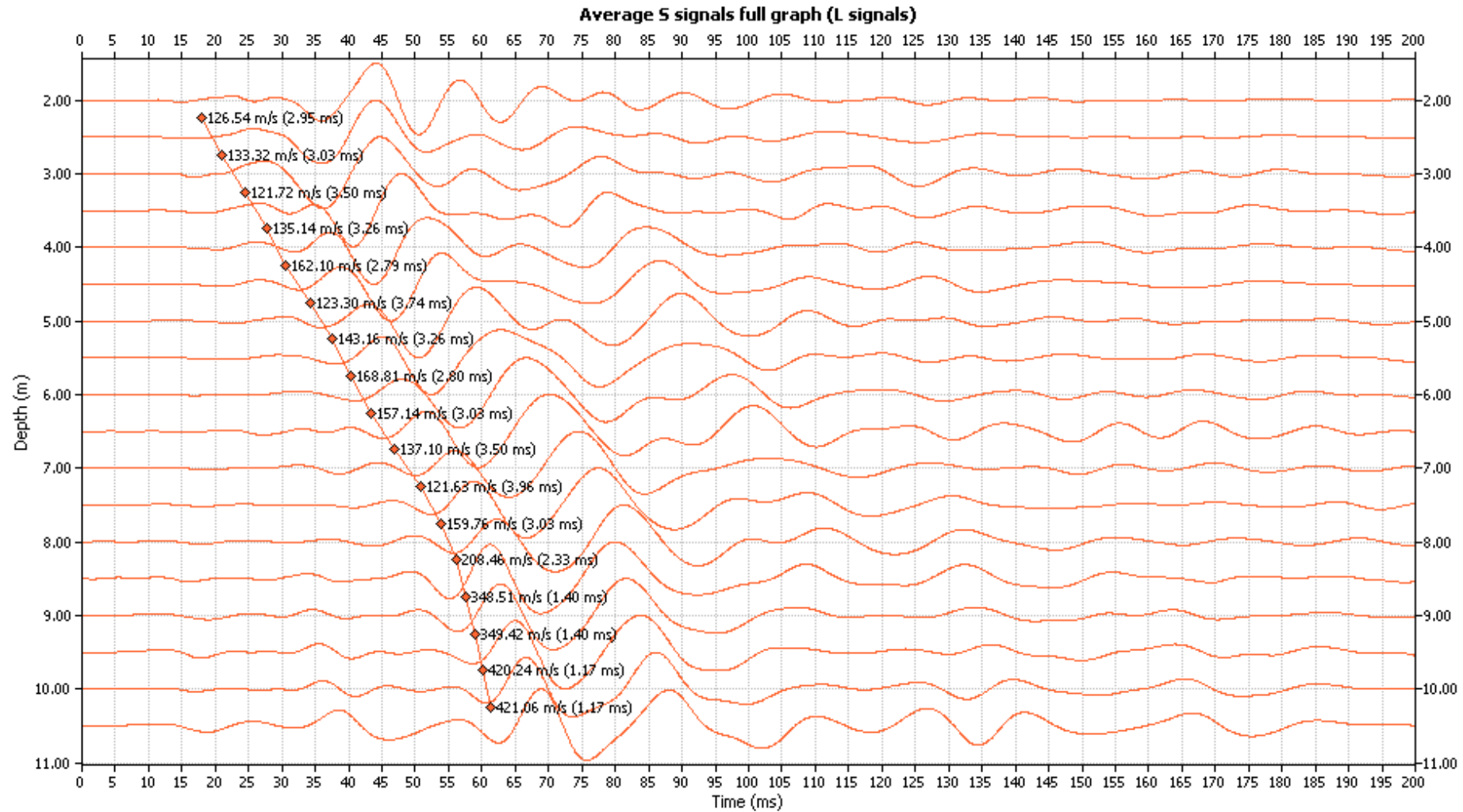


BOREHOLE: AEA358. Z DIRECTION – P SIGNAL

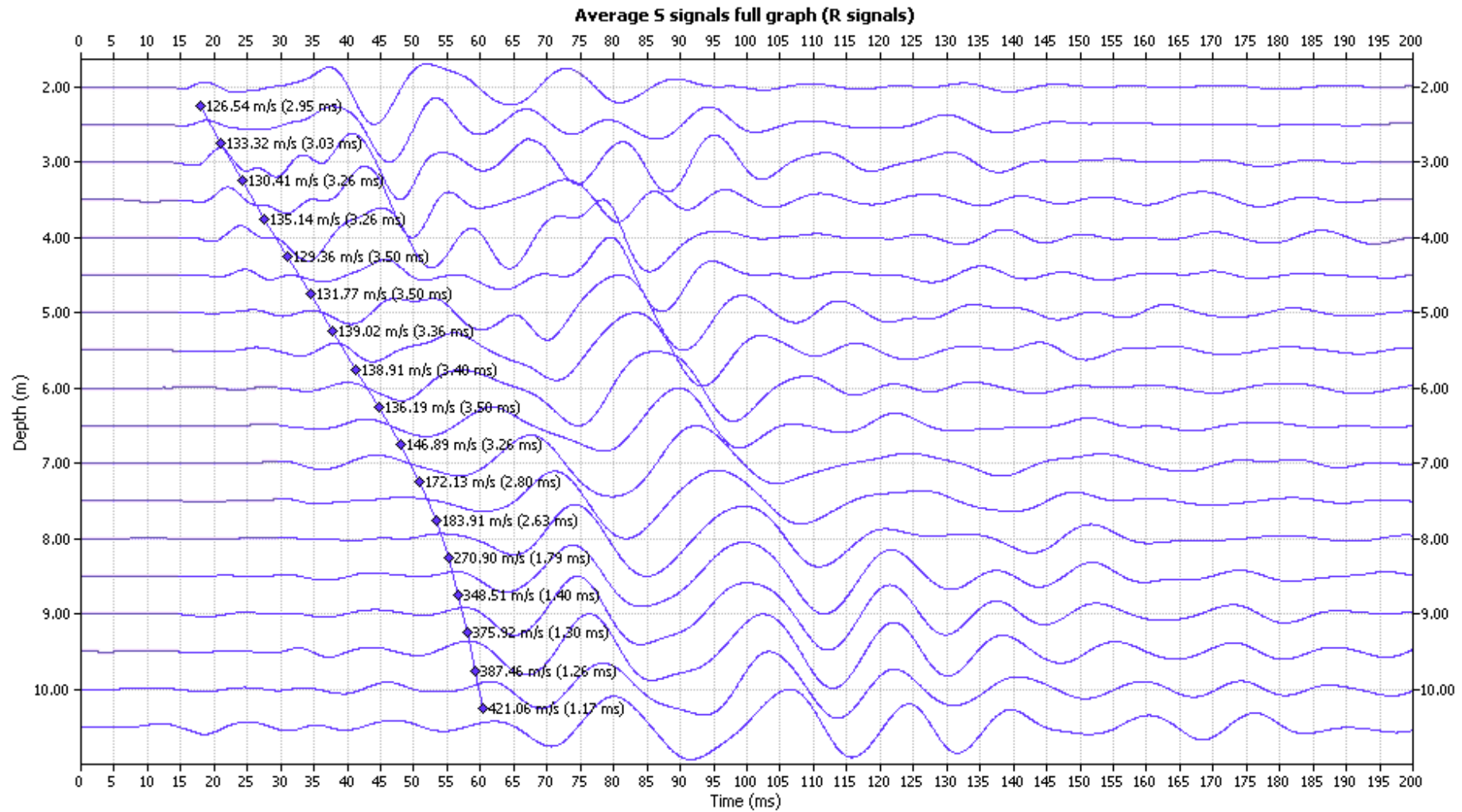


BOREHOLE: AEG35.

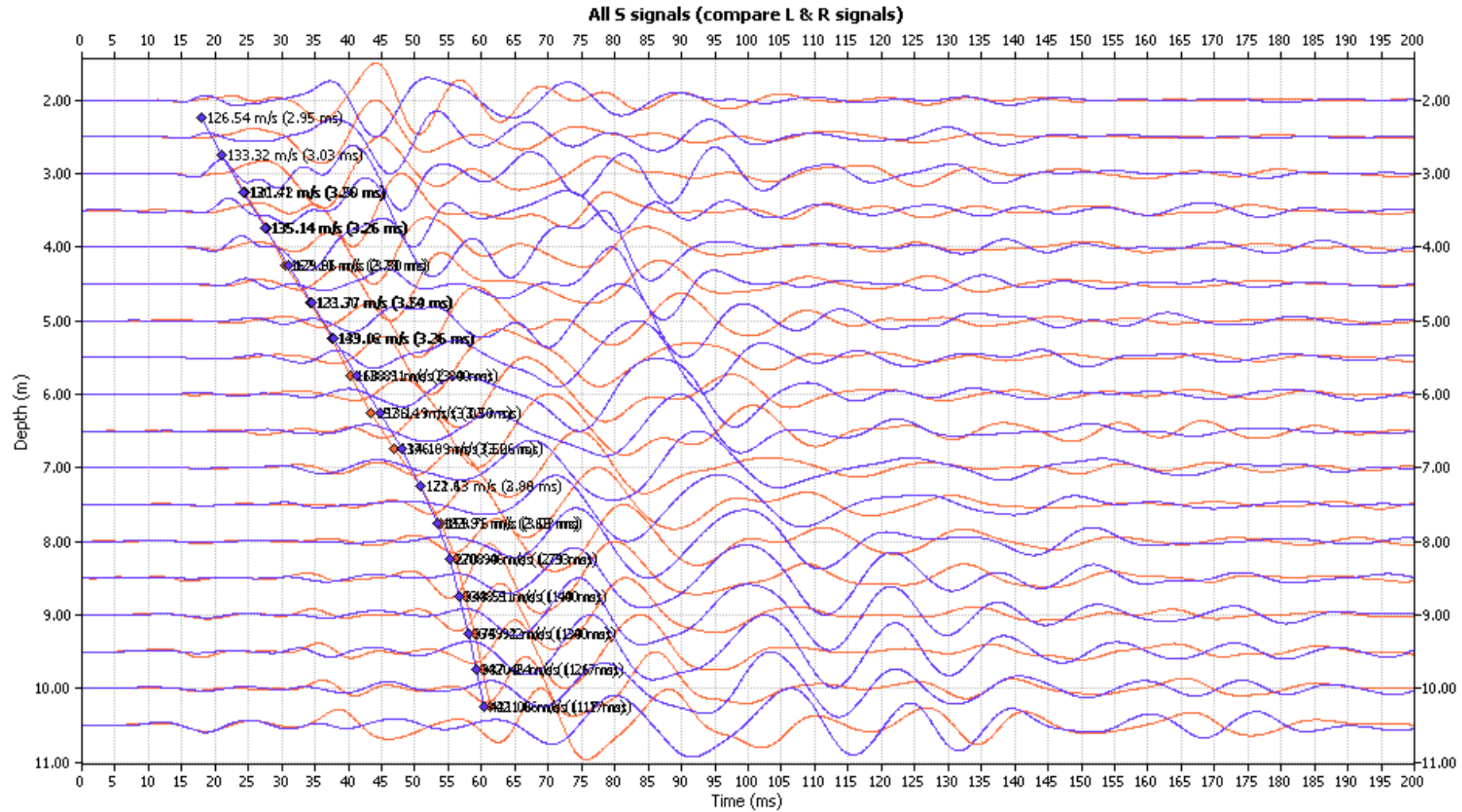
BOREHOLE: AEG35. X DIRECTION – LEFT SIGNAL



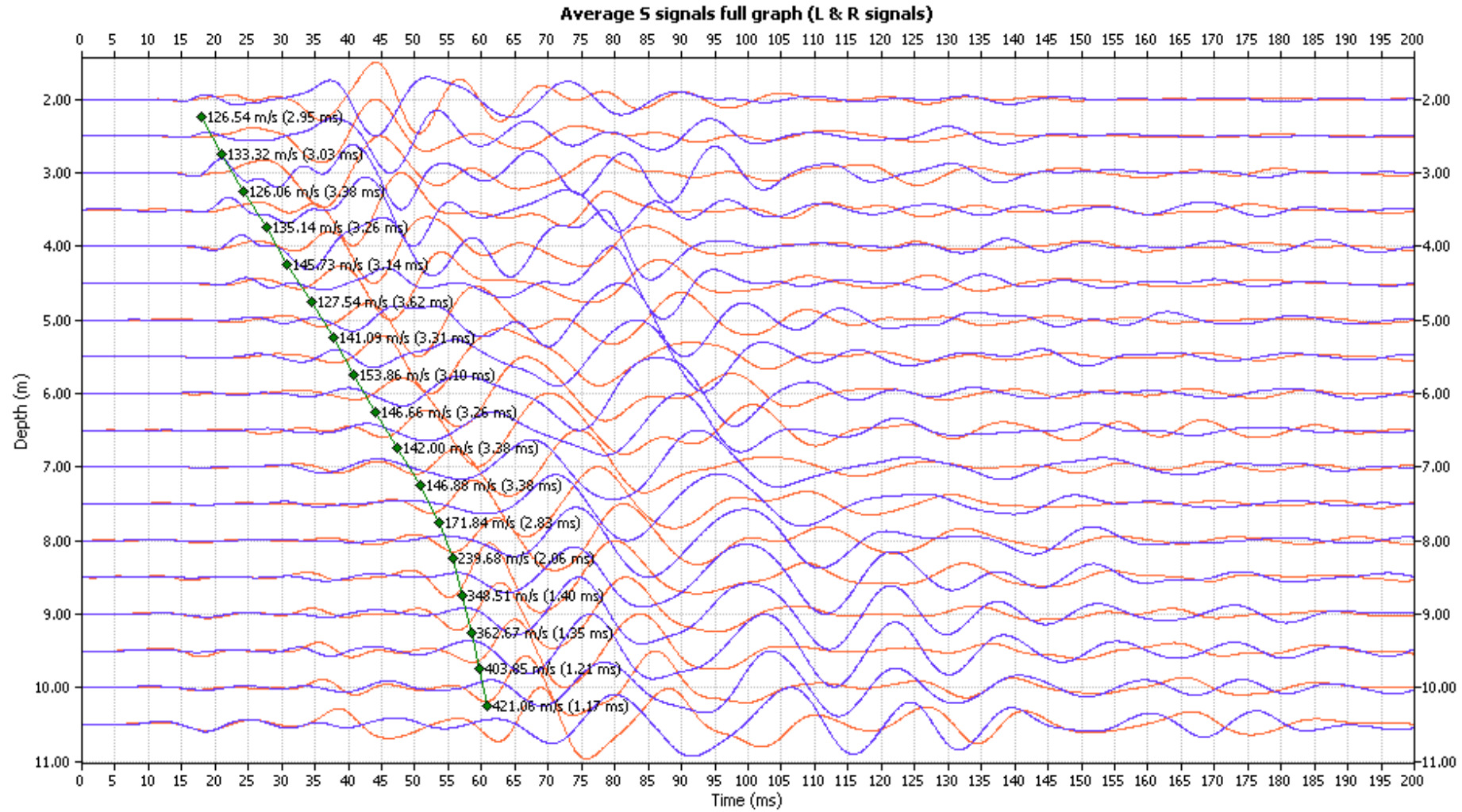
BOREHOLE: AEG35. X DIRECTION – RIGHT SIGNAL



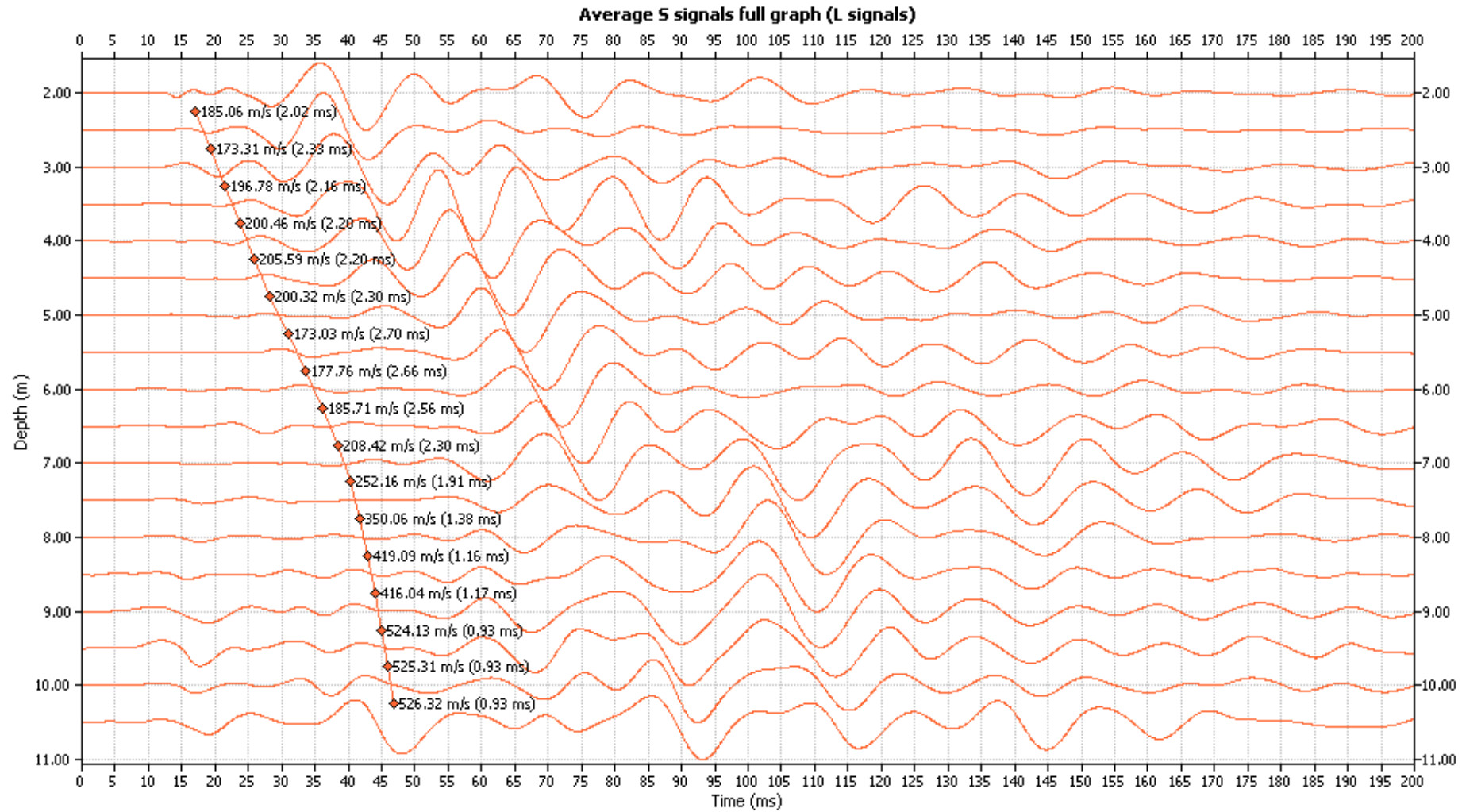
BOREHOLE: AEG35. X DIRECTION – BOTH SIGNAL



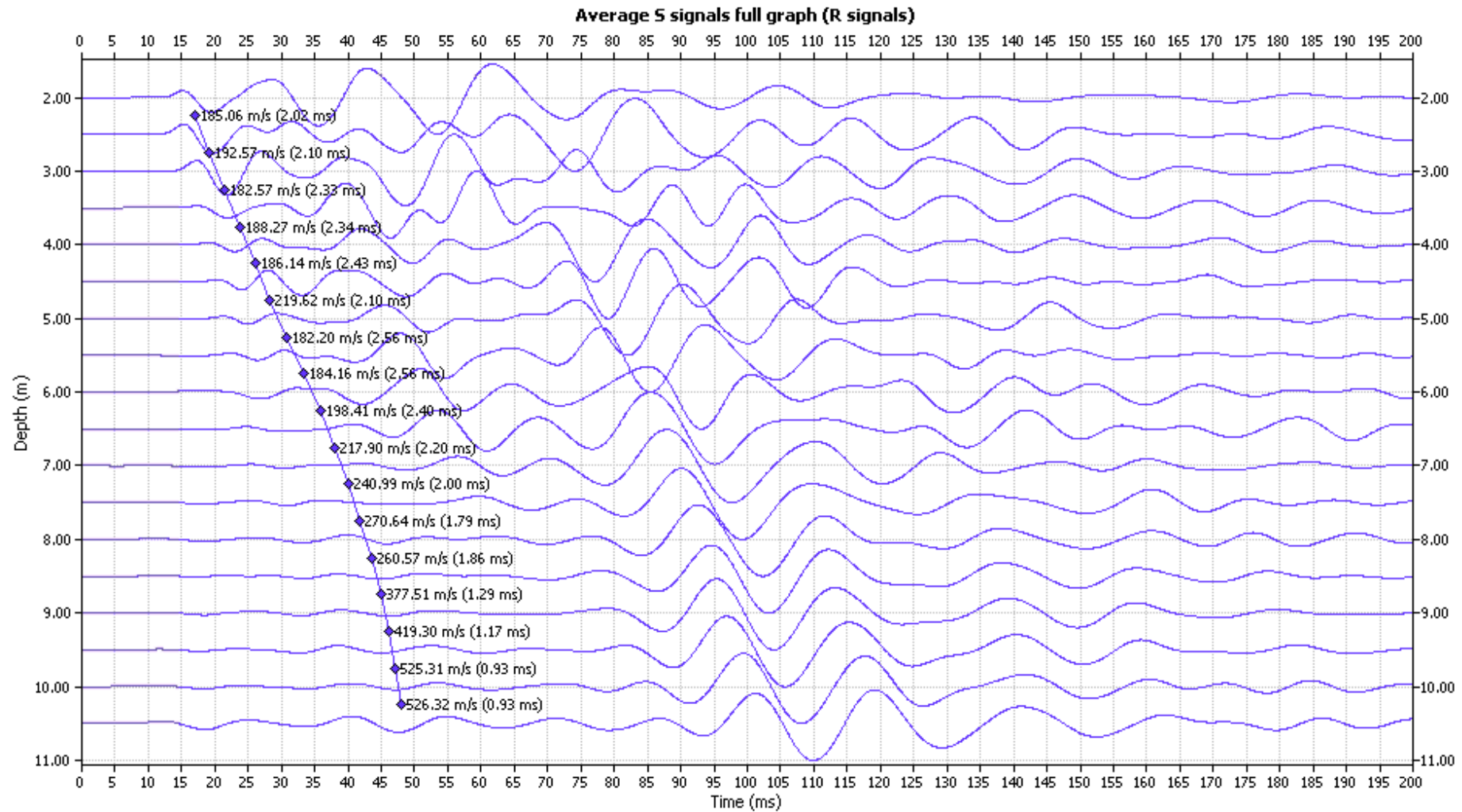
BOREHOLE: AEG35. X DIRECTION – RIGHT SIGNAL



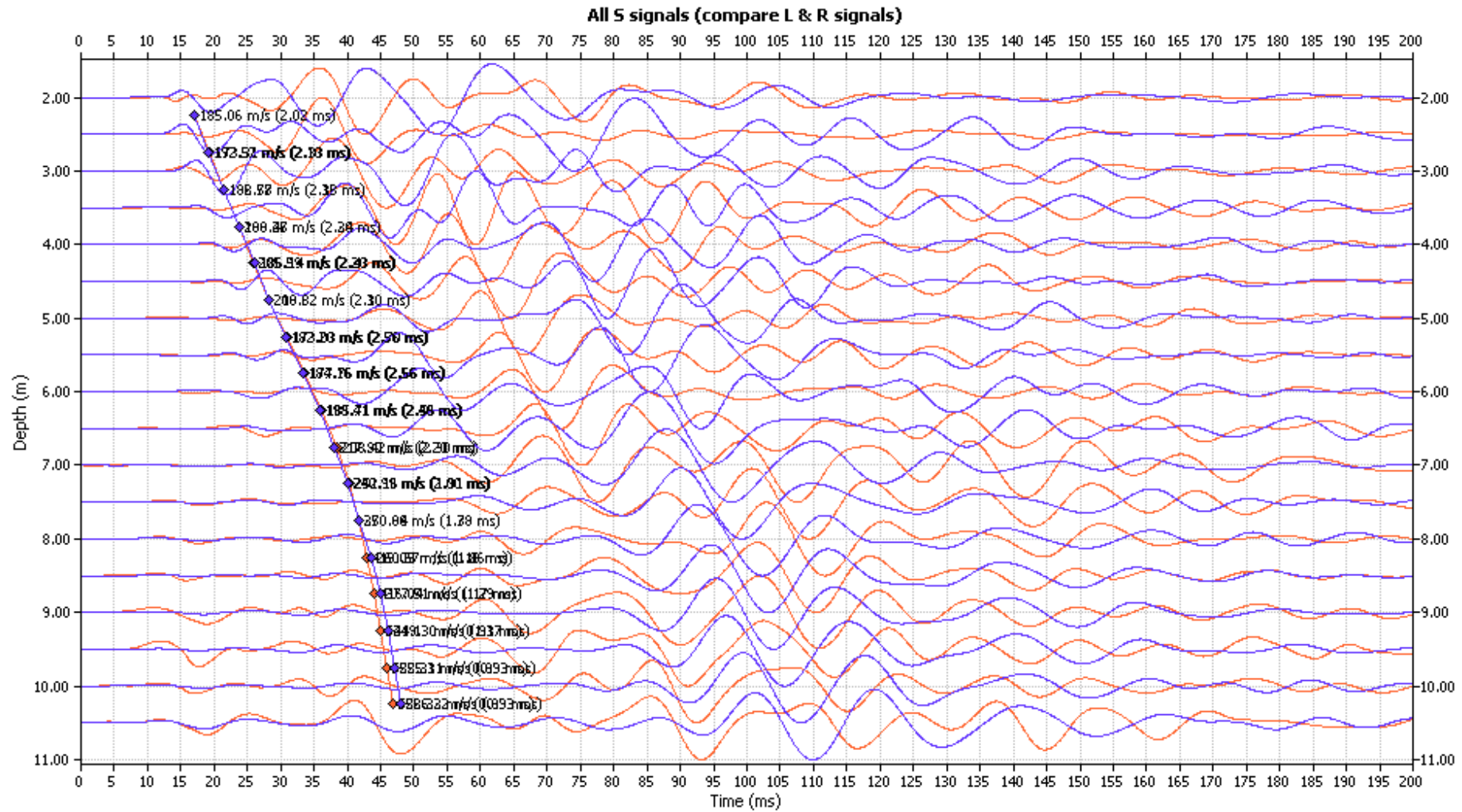
BOREHOLE: AEG35. Y DIRECTION – LEFT SIGNAL



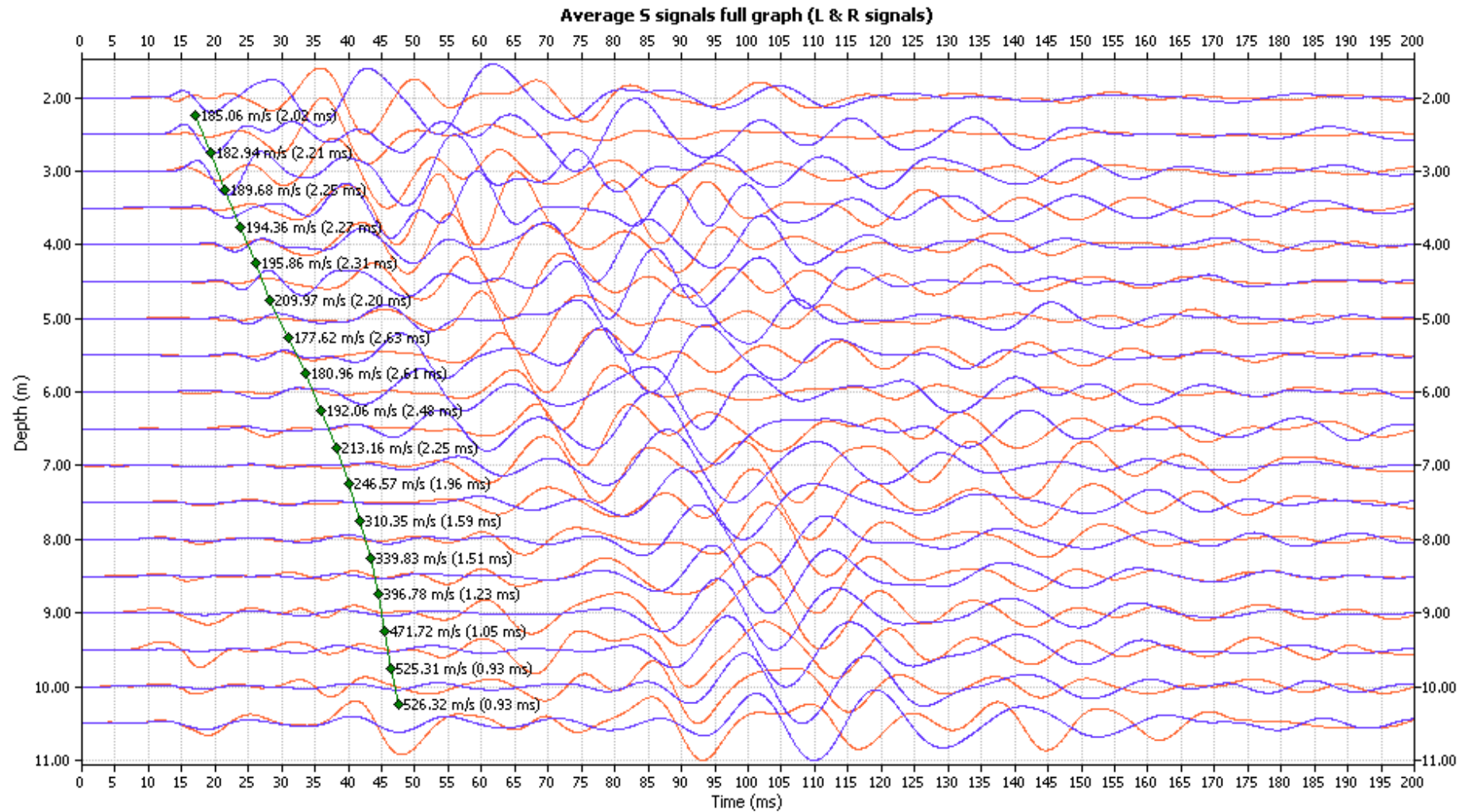
BOREHOLE: AEG35. Y DIRECTION – RIGHT SIGNAL



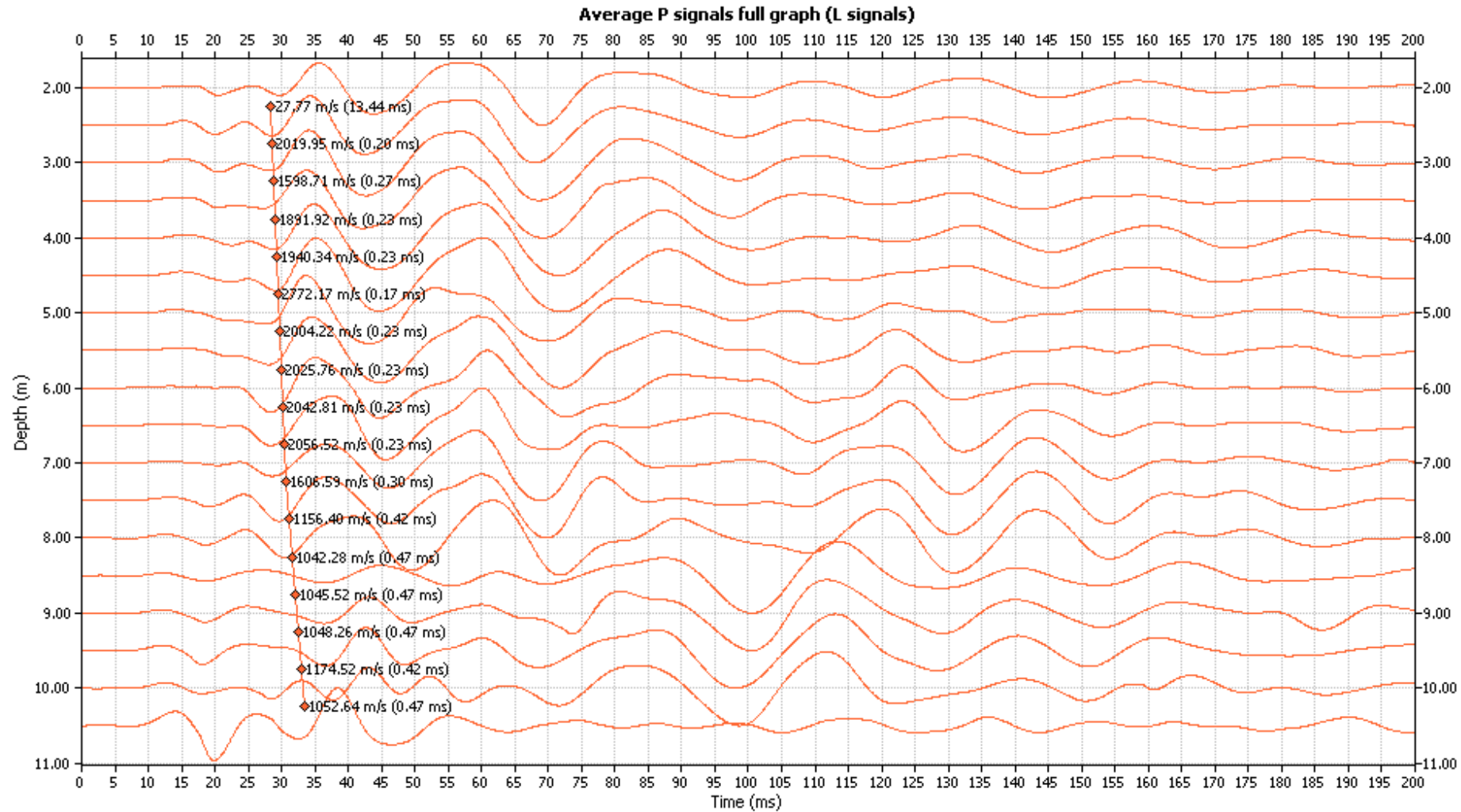
BOREHOLE: AEG35. Y DIRECTION – BOTH SIGNAL



BOREHOLE: AEG35. Y DIRECTION – MEAN SIGNAL



BOREHOLE: AEG35. Z DIRECTION – P SIGNAL





Statens geotekniska institut
581 93 Linköping

E-post: sgi@swedgeo.se
Växeln: 013-20 18 00