



Passiv ytvågsseismik

Undersökning och praktisk tillämpning av
en geofysisk mätmetod

Anna Snellman

EXAMENSARBETE 30HP

ISRN LUTVDG(TVTG-5177)/1-143/(2023)

TEKNISK GEOLOGI

Lunds tekniska högskola

Lunds universitet



Passiv ytvågsseismik

Undersökning och praktisk tillämpning av en geofysisk
mätmetod

Anna Snellman



LUNDS
UNIVERSITET

EXAMENSARBETE

utfört vid avdelningen för Teknisk geologi för fullföljande av kraven för Civilingenjörsexamen
i Ekosystemteknik vid Lunds tekniska högskola, Lunds universitet.

Lund 2023

Omslagsbild: Geofoner i triangeluppställning i Grevie. Foto: Snellman, Anna

Lunds universitet, Lunds tekniska högskola

Avdelningen för Teknisk geologi

Passiv ytvågsseismik – Undersökning och praktisk tillämpning av en geofysisk mätmetod

Passive surface wave seismics – Investigation and implementation of a geophysical method

Författare: Snellman, Anna

Handledare: Jonsson, Peter (Teknisk geologi); Mendoza, Alfredo (Teknisk geologi)

Examinator: Nils Rydén

ISRN LUTVDG(TVTG–5177)/1-143/(2023)

Sökord: Passiv ytvågsseismik, Rayleighvågor, SPAC, ESPAC, Tornhill, Grevie

Språk: Svenska

Digital utgåva Lund 2023

Sammanfattning

Vid byggande, sanering av före detta avfallsdeponier eller liknande företag som påverkar marken krävs noggranna markundersökningar för att kunna utföra arbetet så tids- och kostnadseffektivt som möjligt samt för att minimera miljöpåverkan. Sådana markundersökningar sker inte sällan med hjälp av geofysiska mätmetoder, där seismik är en av dem. Det är vanligt att använda aktiva metoder med exempelvis en slägga för att skapa en ljudkälla vars, ofta högfrekventa, vågor registreras. Som alternativ till den aktiva seismiken finns passiv seismik, som istället använder signaler från vågor som uppkommer av andra, ofta okända källor. Dessa ljudvågor tillhör ofta vågtypen ytvågor och undergruppen Rayleighvågor, kan komma från trafik och anses ibland utgöra brus i aktiva mätningar. Ytvågor är energirika och kan spridas långt, särskilt då ljudkällorna ofta är lågfrekventa vilket svarar mot långa våglängder. De lågfrekventa vågorna når även ett större djup än högfrekventa, vilket gör passiv ytvågsseismik till en intressant metod att studera närmare.

Rent praktiskt genomförs mätningarna med olika geometriska uppställningar av geofoner, där utformningen av uppställningen och avstånden mellan geofonerna påverkar vilka djup som blir detekterbara. I detta examensarbete har två uppställningar, dels i form av en cirkel, dels i form av en liksidig triangel testats och jämförts, både vad gäller kvaliteten på resultaten och hur de är att ställa upp i fält. Geofonerna har satts ut på två sätt; antingen med förberäknade koordinater i GNSS eller med hjälp av mätband. Att sätta ut geofoner med GNSS ger överlag en mer exakt utsättning av geofonerna, samt är smidigare och mer tidseffektiv i fält än att sätta ut med mätband.

Den seismiska data som mätningarna ger upphov till har analyserats i programmet Geogiga Seismic Pro 9.3 Surface Plus för att skapa frekvens-fasföreläggelse, dispersionskurvor samt inversa modeller över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Den använda analysmetoden är ESPAC (vidareutveckling av SPAC) som ger ett frekvens-fasföreläggelse som kan översättas till en dispersionskurva. Dispersionskurvan används sedan, som i aktiv ytvågsseismik, för att med hjälp av inversion modellera en skjuvhastighetsprofil. Utöver det har kombinationer av mätningar analyserats, likaså inaktivering av geofoner i dataprogrammet, det vill säga en minskad mängd data har analyserats.

Två tredjedelar av resultaten har varit av god kvalitet och diskuteras i texten. Båda fältundersökningslokalerna har haft tillgång till lågfrekventa ljudkällor, vilket har möjliggjort att passiv ytvågsseismik har kunnat användas. De slutsatser som kan dras är att även om triangeluppställningarna innehåller långt färre geofoner än cirkeluppställningarna, ger båda ofta resultat som stämmer överens med redan kända geologiska lagerföljder vad gäller lagersekvensen i de inversa modellerna. Däremot har det saknats möjlighet att jämföra den modellerade skjuvhastigheten med geoteknisk bakgrundsinformation. För cirkeluppställningarna skulle antalet geofoner kunna minskas till viss del utan att påverka resultatets kvalitet avsevärt, medan detta inte rekommenderas för triangeluppställningar.

Det finns mycket kvar att studera vad gäller passiv ytvågsseismik och dess användningsområden. En intressant aspekt skulle vara att utföra upprepade mätningar längs en transekt för att på så sätt skapa en profil av sonderingar. Denna kan sedan jämföras med andra geofysiska mätmetoder, för att se vilka styrkor och svagheter som finns hos olika metoder när det gäller att karakterisera lagerföljden på platsen.

Abstract

When performing activities concerning the ground, for example connected to construction or environmental remediation, thorough investigations of the ground properties are necessary to limit costs and time, and of course to prevent environmental damage. Such investigations often make use of geophysical methods, where seismics is one of them. It is common to use active methods, for example with a sledge hammer, to create a wave source, whose (often high frequency) waves are detected and analysed. An alternative to the active seismic methods is passive, where signals from waves created by other, unknown sources are utilised. These waves may originate from traffic, are often surface waves, especially Rayleigh waves, and may be considered to be ambient noise in some active measurements. Surface waves are energetic and may travel long distances, especially since the waves are prone to have a low frequency, corresponding to long wavelengths. Such waves can reach a greater depth than the ones with a high frequency, which makes passive surface wave seismics an interesting topic to investigate further.

In practice, the measurements are performed with arrays of geophones with different geometries, where the array shape and the distances between geophones affect the detectable depths. In this thesis, two array types have been used; a circular, and an equilateral triangle. They have then been compared to each other, regarding the quality of the results and the simplicity of the process of setting them up. The geophone stations have been staked with either GNSS or with a measuring tape. Generally, the geophones staked with GNSS are closer to their desired positions, and the method is simpler and more time efficient than with measuring tape.

The seismic data produced from the field work have been analysed in the programme Geogiga Seismic Pro 9.3 Surface Plus to create frequency-phase velocity spectra, dispersion curves and inverse models of the shear wave velocity in relation to depth. The method used to produce the frequency-velocity spectra, translated into a dispersion curve, is called ESPAC (which has been developed from SPAC). Besides analysis of individual measurements, combinations of measurements have been performed as well as inactivation of geophones to simulate arrays with fewer geophone stations.

Two thirds of the results were of good quality and are discussed in the text. Both locations for fieldwork have had low frequency wave sources present, which has made the measurements possible. The conclusions that can be drawn are although the circle consists of far more geophones than the triangle, both give rise to results of generally good quality and seem to correlate well with the known geological layer sequences in the inverse models. However, it has not been possible to compare the modelled shear wave velocity with geotechnical background information.

The number of geophones in the circular arrays may be decreased to some extent without affecting the results substantially, though this is not recommended for the triangular arrays.

There is much left to study regarding the usage of passive surface wave seismics. One interesting aspect would be to perform repeated measurements along a transect to create a profile of soundings and then compare it with other geophysical methods, to identify the strengths and weaknesses of different methods when it comes to characterizing the layer sequences of an area.

Förord

Detta examensarbete har utförts på avdelningen för Teknisk geologi vid Lunds Tekniska Högskola, LTH från slutet av augusti 2022 till början av januari 2023. Ett examensarbete krävs för min examen från Civilingenjörsprogrammet i Ekosystemteknik, som jag påbörjade hösten 2018. Under en kurs i Fältundersökningsmetodik under hösten 2021, vilken gavs av avdelningen för Teknisk geologi, väcktes mitt intresse för kombinationen av litteraturstudier, fältarbete, datahantering, rapportskrivning och naturligtvis geofysiska mätmetoder. Att få göra examensarbetet vid samma avdelning har därför varit otroligt givande och värdefullt för min framtida yrkesbana som civilingenjör. Effektiva och välfungerande geofysiska mätmetoder är viktiga för samhällsutvecklingen och kan appliceras på flera områden, exempelvis inom byggsektorn, grundvattenfrågor och sanering av förorenad mark. Min förhoppning är att detta examensarbete kan ge fler insikter om användbarheten hos passiv ytvågsseismik som geofysisk mätmetod och att passiv ytvågsseismik i större utsträckning kommer användas där den är bäst lämpad.

Jag skulle vilja rikta ett stort tack till mina handledare Peter Jonsson och Alfredo Mendoza för all hjälp med att genomföra mitt examensarbete. Ert engagemang och er uppmuntran har sannerligen gjort arbetsprocessen till en positiv, utvecklande och minnesvärd upplevelse. Jag vill även tacka Simon Rejkjær som varit till stor hjälp i fältarbetet som utförts i mitt examensarbete och som har lärt mig mer om hur geofysiska mätningar med seismik bäst utförs i praktiken. Slutligen riktas ett varmt tack till hela avdelningen för Teknisk geologi, som varit väldigt välkomnande och genuint intresserade av mitt projekt under hela processen.

Lund, januari 2023

Anna Snellman

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
1.1	Syfte och problemställningar	1
1.1.1	Avgränsningar	2
2	Seismik	3
2.1	Markvågor och ytvågor	3
2.2	Skillnad mellan aktiv och passiv seismik	4
2.3	Passiv ytvågsseismik som geofysisk mätmetod	5
2.3.1	Passiv ytvågsseismik	5
2.3.2	Passiva vågkällor	5
2.3.3	Ytvågsseismik	5
3	Kort beskrivning av mätmetoden i fält	7
3.1	Uppställningsgeometrier och mättid	7
3.1.1	Samplingsintervall och mättid	9
3.1.2	Geofonavstånd	9
3.1.3	Formler för avstånd och upprepningar av avstånd	10
3.2	Beräkning av stationskoordinater i Matlab	12
4	Fältundersökningslokaler	15
4.1	Tornhill	15
4.1.1	Geografisk placering och utformning	15
4.1.2	Geologi och stratigrafi	17
4.1.3	Data från tidigare markundersökningar	17
4.2	Grevie	18
4.2.1	Geografisk placering och utformning	18
4.2.2	Geologi och stratigrafi	19
4.2.3	Data från tidigare markundersökningar	19
5	Fältarbeten	21
5.1	Generell information om fältarbetet	21
5.2	Tornhill – Stor cirkel	24
5.2.1	Förutsättningar och observationer	24
5.2.2	Materiel	25
5.2.3	Uppställning av geofoner samt mätningar	25
5.3	Tornhill – Liten cirkel samt triangel	28
5.3.1	Förutsättningar och observationer	28
5.3.2	Materiel	29
5.3.3	Uppställning av geofoner samt mätningar	29
5.4	Grevie – Stor och liten cirkel	37
5.4.1	Förutsättningar och observationer	37
5.4.2	Materiel	37
5.4.3	Uppställning av geofoner samt mätningar	38
5.5	Grevie – Triangel	40
5.5.1	Förutsättningar och observationer	40
5.5.2	Materiel	40
5.5.3	Uppställning av geofoner samt mätningar	40

6	Utvärderingsmetodik	44
6.1	Datahantering	44
6.1.1	Ekvivalensproblemet	45
6.1.2	Vikningseffekter och artefakter	45
6.2	Arbetsprocessen i Geogiga Seismic Pro	46
6.2.1	Kombination av fv-spektrum	52
6.2.2	Inaktivering av geofoner	52
6.2.3	Antaganden	53
7	Resultat	54
7.1	Individuella mätningar	54
7.1.1	Tornhill – Stor cirkel	54
7.1.2	Tornhill – Liten cirkel	58
7.1.3	Tornhill – Triangel	62
7.1.4	Grevie – Stor cirkel	64
7.1.5	Grevie – Liten cirkel	66
7.1.6	Grevie – Triangel	67
7.2	Kombination av mätningar	70
7.2.1	Tornhill – Stor cirkel	70
7.2.2	Tornhill – Liten cirkel	73
7.2.3	Tornhill – Triangel	73
7.2.4	Grevie – Stor cirkel	74
7.2.5	Grevie – Liten cirkel	76
7.2.6	Grevie – Triangel	77
7.3	Inaktiverade geofoner	80
7.3.1	Inaktivering i cirkeluppställning	80
7.3.2	Inaktivering i triangeluppställning	90
7.3.3	Inaktivering av mittpunkt i cirkeluppställning	94
7.3.4	Inaktivering av mittpunkt i triangeluppställning	101
8	Övriga observationer från mätningarna	105
8.1	Signal från geofoner	105
8.2	Tidsåtgång i fält för olika uppställningar	106
9	Mätgeometri	108
9.1	Tornhill – Stor cirkel	108
9.2	Tornhill – Liten cirkel	109
9.3	Tornhill – Triangel	110
9.4	Grevie – Stor cirkel	111
9.5	Grevie – Liten cirkel	111
9.6	Grevie – Triangel	112
10	Diskussion	114
10.1	Individuella mätningar	114
10.1.1	Tornhill – Stor cirkel	115
10.1.2	Tornhill – Liten cirkel och triangel	116
10.1.3	Grevie – Stor cirkel	118
10.1.4	Grevie – Liten cirkel	119
10.1.5	Grevie – Triangel	120

10.2	Kombinerade mätningar	121	
10.3	Inaktiverade geofoner	122	
10.3.1	Cirkel	122	
10.3.2	Triangel	122	
10.3.3	Mittgeofon	123	
10.4	Cirkel- kontra triangeluppställning	124	
10.5	Samplingsintervall och mättid	125	
10.6	Misfit	125	
11	Diskussion av praktiska erfarenheter	126	
11.1	Personal	126	
11.2	Utsättning av geofoner med mätband jämfört med GNSS	127	127
11.2.1	Mätband	127	
11.2.2	GNSS	127	
11.2.3	Koordinater: förberäknade och inmätta	127	
11.2.4	Sammanfattning	128	
11.3	Olika typer av geofonuppställningar	129	
11.4	Generella rekommendationer	129	
12	Slutsatser	131	
12.1	Besvarande av problemställningar	131	
12.1.1	Passiv seismik i de undersökta områdena	131	
12.1.2	Geologisk och geoteknisk bakgrundsinformation	131	
12.1.3	Plats, källsignal och uppställning	132	
12.1.4	Framtidsutsikter	134	
12.2	Felkällor	135	
12.2.1	Antaganden om lagerföljd	135	
12.2.2	Geofoner	136	
12.2.3	Datahantering	136	
12.2.4	Rumsliga vikningseffekter	136	
12.3	Förslag till framtida arbete	137	
12.3.1	Uppställningsgeometrier	137	
12.3.2	Samplingsintervall och mättid	137	
12.3.3	Profil av sonderingar	138	
12.3.4	Urban miljö	138	
12.3.5	Kombination av passiv och aktiv seismik	138	
12.3.6	Datahantering	139	
13	Referenser	140	
14	Bilagor	143	

Figurförteckning

Figur 1	Principiell figur som visar exempel på triangeluppställning till vänster och cirkeluppställning till höger. Antalet geofonstationer, liksom uppställningarnas storlekar, kan variera och anpassas till mätuppgiften. En geofon kan även sättas ut i mitten av triangel- och cirkeluppställningen.....	8
Figur 2	Principiell bild som visar begreppen spacings och pairings. I den vänstra bilden kan fyra olika intervall a-d identifieras. I den högra ses åtta upprepningar av det utvalda intervallet a.	11
Figur 3	Beräknade koordinater för geofonerna i två cirklar samt mittpunkt för mätningar i Grevie.	13
Figur 4	Till vänster: Triangeluppställningen. Till höger: Beräknade koordinater för geofonerna i triangeluppställningen.	13
Figur 5	Översiktskarta över mätplatserna Tornhill och Grevies placering i Skåne och Sverige.	15
Figur 6	Ortofoto över mätplatsen i Tornhill, markerat i rött. Trädpartiet är beläget precis norr om mätplatsen. Järnvägen syns i det övre vänstra hörnet och den större bilvägen (Svenshögsvägen) till höger (Bakgrundsbild © Lantmäteriet).....	16
Figur 7	Lagerföljd för Tornhill (efter Larsson, 2001), ej skalenlig.	17
Figur 8	Ortofoto över mätplatsen i Grevie, markerat i grönt. Staffanstorp börjar strax norr om Grevievägen (Bakgrundsbild © Lantmäteriet).	18
Figur 9	Lagerföljd i Grevie (efter VA SYD, 2022), ej skalenlig.	19
Figur 10	Principiell bild av den seismiska mätutrustning som använts, DMT SUMMIT X One från DMT Group AG. Geofoner ansluts till remote units (RU) som i texten kallas klämmor. Varje klämma är ett komplett enkanaligt seismiskt instrument med analog-till-digitalomvandlare, filter och förstärkare samt ett kommunikationsgränssnitt. Ett antal (beroende på uppställning potentiellt 2x50) klämmor kopplas sedan till en centralenhet (DC), som i sin tur kommunicerar med mätprogrammet i datorn (PC). För ännu fler kanaler kan fler centralenheter användas (se även DMT Group, 2021).....	22
Figur 11	Exempel på geofon (här röd) och klämma (gul och svart), kopplad till kabel (gul). Från fältarbete i Tornhill.....	23
Figur 12	Delar av utrustningen som användes under fältarbetena, här från en mätning i Grevie. Bland annat kabel, GNSS-mottagare monterade på stänger med handdatorer, batteri, centralenhet samt fältdator placerad på upp- och nervända grå lådor, som geofoner och klämmor tidigare lastats i.	24
Figur 13	Mätband draget utifrån mittpunkten av cirkeln samt mätmarkörer, plashammare och ytterligare ett mätband. Utrustningen användes för att sätta ut geofonerna på cirkelns ytterkant.	25
Figur 14	Inmätta koordinater för geofonernas utsättning i den stora cirkeln i Tornhill (Bakgrundsbild © Lantmäteriet).	26
Figur 15	Centralenhet (gul) och fältdator (svart) på ett hopfällbart bord. Undertill ett batteri. Från mätning i Tornhill med stor cirkeluppställning.....	27
Figur 16	Geofoner utsatta i en cirkel med radie på 25 m i Tornhill. Totalt bestod cirkeln av 79 geofoner med knappt 2 meters mellanrum. Geofonerna (röda) kopplades till kabeln med hjälp av klämmor (gul-svarta).....	28

Figur 17	Inmätta koordinater för geofonstationerna i den mindre cirkeln i Tornhill (Bakgrundsbild © Lantmäteriet).	30
Figur 18	Utplacering av hörnpunkter i den yttersta triangeln, samt mätbandsdragning i grönt, rött, blått och gult.	31
Figur 19	Mätbandsdragning för triangeluppställning i Tornhill motsvarande Figur 18 ovan. Sedd från punkt 16.	32
Figur 20	Det andra steget i triangeluppställningen; utplacering av punkter längs mittlinjen samt på mitten av sidomätbanden.	33
Figur 21	Mätmarkör i metall vid mittpunkten av den längsta sidlängden, motsvarande punkt 11 eller 13 i Figur 20 ovan för triangeluppställning i Tornhill.	34
Figur 22	Det tredje steget innebar utplacering av punkt 8 och 9 på mitten av sidomätbanden.	35
Figur 23	De sista två stegen är en upprepning av det tredje steget, men för de inre trianglarna. Här placerades punkt 2 och 6 ut (till vänster) respektive punkt 3 och 5 (till höger).	35
Figur 24	Kabeldragning för triangeluppställning. Samma dragning användes i både Tornhill och Grevie. Stjärnorna symboliserar geofonernas placering och den gula linjen motsvarar kabeldragningen, med start vid geofon 1.	36
Figur 25	Inmätta koordinater för geofonstationerna i triangeluppställningen i Tornhill (Bakgrundsbild © Lantmäteriet).	37
Figur 26	GNSS-mottagare i Grevie, monterad på stång med handdator.	38
Figur 27	Cirkeluppställning i Grevie. Geofonerna är kopplade till kabeln med klämmor.	39
Figur 28	Inmätta koordinater för geofonstationerna i stor och liten cirkel, samt mittpunkt och brunn, i Grevie (Bakgrundsbild © Lantmäteriet).	40
Figur 29	Geofon (här i gult), kopplad till kabeln med hjälp av en klämma, i vegetationen i Grevie.	41
Figur 30	De innersta trianglarna i fält, med geofoner kopplade till kabeln med klämmor. Kabeln drogs i en viss ordning för att på ett så effektivt sätt som möjligt nå alla geofoner.	42
Figur 31	Inmätta koordinater för geofonstationerna i triangeln i Grevie (Bakgrundsbild © Lantmäteriet).	43
Figur 32	Exempel på hur seismiska rådata i tidsdomän från mätningarna visas i datahanteringsprogrammet. Den horisontella axeln visar stationsnummer (här 1–79) och den vertikala visar mättiden, här 960 sekunder (se avsnitt 3.1.1 Samplingsintervall och mättid). Vid varje station redovisas ett spår (trace) som är den signal geofonen där har registrerat. Sammanhängande horisontella strukturer, som vid 384 sekunder, visar att en starkare signal ankommit till (alla) geofonerna. Skillnader i ankomsttid för en viss signalkomponent, på mikro- eller millisekundnivå, kan sedan användas för att bland annat avgöra riktningen till källan.	46
Figur 33	Flödesschema för den genomförda datahanteringen.	47
Figur 34	Illustration av olika array tolerance för cirkeluppställningar. De svarta punkterna symboliserar geofoner som inkluderas i uppställningen i datahanteringen, medan de vita punkterna är geofonstationer som ignoreras vid olika inställningar. Med ökad array tolerance inkluderas även dessa.	48
Figur 35	Exempel på hur koordinater har kombinerats med de geofoner som de motsvarar i programmet, här i en triangeluppställning.	49

Figur 36	Exempel på ett fv-spektrum till vänster och en dispersionskurva (svart) med manuellt utvalda punkter till höger. Inga punkter har valts för frekvenser lägre än 4,5 Hz då det är geofonens resonansfrekvens. På y-axeln visas frekvensen i Hz.....	49
Figur 37	Ovan: Exempel på den modellerade dispersionskurvan i blått och modellen från inversionen i rött. Nedan: NRMS Error som funktion av antalet iterationer i inversionsprocessen. Lägsta misfit läses av i övre högra hörnet, här 4,22 %.....	50
Figur 38	Exempel på startmodellen (i blå heldragen linje) av skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet tillsammans med modellen från inversionen (i röd heldragen linje). De mörkgrå fälten visar upplösningen för djupet och de ljusgrå fälten visar upplösningen för skjuvvågshastigheten. De kryssade blå och röda linjerna står för Depth-Velocity curve, där den blå är den observerade och den röda den av modellen skapade kurvan.....	51
Figur 39	Exempel på hur två olika fv-spektrum, från samma uppställning och med samma samplingsintervall och mättid, visas bredvid varandra i programmet innan de kombineras. Y-axlarna visar frekvens i Hz.	52
Figur 40	Till vänster: Fv-spektrum för mätning med stor cirkel i Tornhill utan mittgeofon med 4 ms samplingsintervall och 480 000 ms mättid. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet, motsvarar fv-spektrumet från figuren till vänster. Modellen hade en misfit på 5,61%.....	55
Figur 41	Till vänster: Fv-spektrum för mätning med stor cirkel i Tornhill utan mittgeofon med 8 ms samplingsintervall och 960 000 ms mättid. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet, motsvarar fv-spektrumet från figuren till vänster. Modellen hade en misfit på 4,31%.....	56
Figur 42	Till vänster: Fv-spektrum för mätning med stor cirkel i Tornhill med mittgeofon med 4 ms samplingsintervall och 480 000 ms mättid. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet, motsvarar fv-spektrumet från figuren till vänster. Modellen hade en misfit på 3,95%.....	57
Figur 43	Till vänster: Fv-spektrum för mätning med stor cirkel i Tornhill med mittgeofon med 8 ms samplingsintervall och 960 000 ms mättid. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet, motsvarar fv-spektrumet från figuren till vänster. Modellen hade en misfit på 4,22%.....	57
Figur 44	Till vänster: Fv-spektrum för mätning med liten cirkel i Tornhill med 4 ms samplingsintervall och 480 000 ms mättid. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet, motsvarar fv-spektrumet från figuren till vänster. Modellen hade en misfit på 44,61%.....	58
Figur 45	Från vänster till höger: Fv-spektrum med array tolerance på 3%, 4% och 20%. Notera att spektrumet med array tolerance på 4% och 20% är visuellt identiska. Y-axeln visar frekvens i Hz.	59
Figur 46	Från vänster till höger: Fv-spektrum med array tolerance på 4%, med en ökande frekvens på y-axeln; 25 Hz, 50 Hz och 100 Hz.....	59
Figur 47	Till vänster: Fv-spektrum för mätning med liten cirkel i Tornhill med 4 ms samplingsintervall och 480 000 ms mättid och med en array tolerance på 4% istället för standardvärdet 3%. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet, motsvarar fv-spektrumet från figuren till vänster. Modellen hade en misfit på 15,26%. 60	60
Figur 48	Från vänster till höger: Fv-spektrum med array tolerance på 3% respektive 4% för en sekvens på 120 000 ms utklippt data med 4 ms samplingsintervall. Y-axeln visar frekvens i Hz.....	61

Figur 49	Modell över skjuvvågshastigheten för dispersionskurva från en urklippt sekvens på 120 000 ms med 4 ms samplingsintervall. Array tolerance för fv-spektrumet är 4% (se spektrumet till höger i Figur 48 ovan). Den inversa modellen hade en misfit på 19,67%.	62
Figur 50	Exempel på två fv-spektrum från mätningarna med triangeluppställning i Tornhill. Båda är av för dålig kvalitet för att kunna välja ut punkter manuellt från. Y-axlarna visar frekvens i Hz. Den vänstra är från en mätning med 1 ms samplingsintervall och 120 000 ms mättid och uppvisar ett mönster i peakvärdena, men alltför tudelat för att en dispersionskurva skall kunna tas fram. Till höger visas fv-spektrumet från en mätning med 8 ms samplingsintervall och 960 000 ms mättid. Här saknas mönster helt.	63
Figur 51	Från övre vänstra hörnet till nedre högra hörnet: fv-spektrum med en array tolerance på 3%, 4%, 10% och 20%. Y-axlarna visar frekvens i Hz. Mätningen är från triangeluppställning i Tornhill, se Figur 50.	64
Figur 52	Till vänster: Fv-spektrum för mätning med stor cirkel i Greve med 4 ms samplingsintervall och 480 000 ms mättid. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet, motsvarar fv-spektrumet från figuren till vänster. Modellen hade en misfit på 0,97%.	65
Figur 53	Till vänster: Fv-spektrum för mätning med stor cirkel i Greve med 8 ms samplingsintervall och 960 000 ms mättid. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet, motsvarar fv-spektrumet från figuren till vänster. Modellen hade en misfit på 0,94%.	65
Figur 54	Till vänster: Fv-spektrum för mätning med liten cirkel i Greve med 4 ms samplingsintervall och 480 000 ms mättid. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet, motsvarar fv-spektrumet från figuren till vänster. Modellen hade en misfit på 2,41%.	66
Figur 55	Till vänster: Fv-spektrum för mätning med liten cirkel i Greve med 8 ms samplingsintervall och 960 000 ms mättid. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet, motsvarar fv-spektrumet från figuren till vänster. Modellen hade en misfit på 2,01%.	67
Figur 56	Till vänster: Fv-spektrum för triangeluppställning i Greve, med ett samplingsintervall på 1 ms och mättid på 120 000 ms. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten mot djupet, motsvarande fv-spektrumet till vänster. Modellen hade en misfit på 3,79%.	68
Figur 57	Till vänster: Fv-spektrum för triangeluppställning i Greve, med ett samplingsintervall på 2 ms och mättid på 480 000 ms. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten mot djupet, motsvarande fv-spektrumet till vänster. Modellen hade en misfit på 5,89%.	68
Figur 58	Till vänster: Fv-spektrum för triangeluppställning i Greve, med ett samplingsintervall på 4 ms och mättid på 480 000 ms. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten mot djupet, motsvarande fv-spektrumet till vänster. Modellen hade en misfit på 1,05%.	69
Figur 59	Till vänster: Fv-spektrum för triangeluppställning i Greve, med ett samplingsintervall på 8 ms och mättid på 960 000 ms. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten mot djupet, motsvarande fv-spektrumet till vänster. Modellen hade en misfit på 3,71%.	69
Figur 60	Till vänster: Kombinerat fv-spektrum för två mätningar i en stor cirkeluppställning utan mittgeofon i Tornhill, vars enskilda misfits var 5,05% och 6,03%. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten. Denna kombination hade ett samplingsintervall på 4 ms och en mättid på 480 000 ms. Misfit blev 5,55%.	70

Figur 61	Till vänster: Kombinerat fv-spektrum för två mätningar i en stor cirkeluppställning utan mittgeofon i Tornhill, vars enskilda misfits var 5,14% och 4,31%. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten. Denna kombination hade ett samplingsintervall på 8 ms och en mättid på 960 000 ms. Misfit blev 4,65%.....	71
Figur 62	Till vänster: Kombinerat fv-spektrum för två mätningar i en stor cirkeluppställning med mittgeofon i Tornhill, vars enskilda misfits var 3,95% och 4,78%. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten. Denna kombination hade ett samplingsintervall på 4 ms och en mättid på 480 000 ms. Misfit blev 3,49%.....	72
Figur 63	Till vänster: Kombinerat fv-spektrum för två mätningar i en stor cirkeluppställning med mittgeofon i Tornhill, vars enskilda misfits var 5,26% och 4,22%. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten. Denna kombination hade ett samplingsintervall på 8 ms och en mättid på 960 000 ms. Misfit blev 4,55%.....	72
Figur 64	Exempel på fv-spektrum skapad av två kombinerade fv-spektrum från en mätning av den mindre cirkeluppställningen i Tornhill. Y-axeln visar frekvens i Hz. Mätningen hade ett samplingsintervall på 4 ms och en mättid på 480 000 ms.	73
Figur 65	Exempel på fv-spektrum för ett kombinerat fv-spektrum för triangeluppställningen i Tornhill. Y-axeln visar frekvens i Hz. Denna kombination hade ett samplingsintervall på 2 ms och en mättid på 240 000 ms.	74
Figur 66	Till vänster: Kombinerat fv-spektrum för två mätningar i en stor cirkeluppställning i Greve, vars enskilda misfits var 0,97% och 1,30%. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten. Denna kombination hade ett samplingsintervall på 4 ms och en mättid på 480 000 ms. Misfit blev 0,98%.....	75
Figur 67	Till vänster: Kombinerat fv-spektrum för två mätningar i en stor cirkeluppställning med mittgeofon i Tornhill, vars enskilda misfits var 0,94% och 1,62%. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten. Denna kombination hade ett samplingsintervall på 8 ms och en mättid på 960 000 ms. Misfit blev 0,92%.....	75
Figur 68	Till vänster: Kombinerat fv-spektrum för två mätningar i en liten cirkeluppställning i Greve, vars enskilda misfits var 4,21% och 2,41%. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten. Denna kombination hade ett samplingsintervall på 4 ms och en mättid på 480 000 ms. Misfit blev 3,62%.....	76
Figur 69	Till vänster: Kombinerat fv-spektrum för två mätningar i en stor cirkeluppställning med mittgeofon i Tornhill, vars enskilda misfits var 2,01% och 2,88%. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten. Denna kombination hade ett samplingsintervall på 8 ms och en mättid på 960 000 ms. Misfit blev 1,98%.....	77
Figur 70	Till vänster: De två fv-spektrumen bredvid varandra innan kombination skett. Till höger: Resultatet av kombinationen av fv-spektrum. Denna kombination hade ett samplingsintervall på 1 ms och en mättid på 120 000 ms. Y-axlarna visar frekvens i Hz.....	77
Figur 71	Till vänster: Kombinerat fv-spektrum för två mätningar, vars enskilda misfits var 5,89% och 5,97%. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten. Observera att denna kurva börjar vid cirka 18 meters djup, vilket är större än för kurvor från samma mätplats och uppställning. Denna kombination hade ett samplingsintervall på 2 ms och en mättid på 240 000 ms. Misfit blev 1,14%.....	78
Figur 72	Till vänster: Kombinerat fv-spektrum för två mätningar, vars enskilda misfits var 1,05% och 3,71%. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten. Observera att denna kurva börjar vid cirka 18 meters djup, vilket är större än för kurvor från samma mätplats och uppställning. Denna kombination hade ett samplingsintervall på 4 ms och en mättid på 480 000 ms. Misfit blev 2,59%.....	79

- Figur 73 Till vänster: Kombinerat fv-spektrum för två mätningar, vars enskilda misfits var 5,22% och 3,43%. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten. Observera att denna kurva börjar vid cirka 18 meters djup, vilket är större än för kurvor från samma mätplats och uppställning. Denna kombination hade ett samplingsintervall på 8 ms och en mättid på 960 000 ms. Misfit blev 4,00%. 79
- Figur 74 Från vänster till höger: Fv-spektrum för cirkel med 25 m i diameter, med minskande antal aktiva geofoner. Y-axlarna visar frekvens i Hz. Mätningen hade ett samplingsintervall på 4 ms och mättid på 480 000 ms. Längst till höger är 100% av geofonerna aktiva, därefter 50%, 33% och slutligen 25%. Observera att skalan i x-led för hastighet varierar. Notera hur amplituden i fv-spektra minskar med lägre andel aktiva geofoner för högre frekvenser. 80
- Figur 75 Från vänster till höger: Fv-spektrum för cirkel med 25 m i diameter, med minskande antal aktiva geofoner. Y-axlarna visar frekvens i Hz. Mätningen hade ett samplingsintervall på 8 ms och mättid på 960 000 ms. Längst till höger är 100% av geofonerna aktiva, därefter 50%, 33% och slutligen 25%. Observera att skalan i x-led för hastighet varierar. Notera hur amplituden i fv-spektra minskar med lägre andel aktiva geofoner. 81
- Figur 76 Från övre vänstra hörnet till nedre högra hörnet: modeller av skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet med 100% av geofonerna aktiva respektive 50%, 33% och 25%. Dessa grafer tillhör cirkeluppställningen med 25 meters radie och motsvarar Figur 74 ovan. De fyra inversa modellerna är lika varandra mellan cirka 8 och 40 meter. Vid djup större än 40 meter skiljer sig modellerna åt, där de med lägre andel geofoner aktiva visar på en minskande skjuvvågshastighet med djupet. Kurvan för 25% aktiva geofoner börjar på ett större djup än de övriga; cirka 13,5 meter jämfört med cirka 8 meter. Observera att skalan för djupet skiljer sig något åt mellan de fyra graferna. 82
- Figur 77 Från övre vänstra hörnet till nedre högra hörnet: modeller av skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet med 100% av geofonerna aktiva respektive 50%, 33% och 25%. Dessa grafer tillhör cirkeluppställningen med 25 meters radie och motsvarar Figur 75 ovan. De fyra inversa modellerna är lika varandra mellan cirka 7,5 och 40 meter. Vid djup större än 40 meter skiljer sig modellerna åt, där de med lägre andel geofoner aktiva visar på en minskande skjuvvågshastighet med djupet. Kurvan för 25% aktiva geofoner börjar på ett större djup än de övriga; cirka 12,5 meter jämfört med cirka 7,5 meter. Observera att skalan för djupet skiljer sig något åt mellan de fyra graferna. 83
- Figur 78 Från vänster till höger: Fv-spektrum för cirkel med 15 m i diameter, med minskande antal aktiva geofoner. Y-axlarna visar frekvens i Hz. Mätningen hade ett samplingsintervall på 4 ms och mättid på 480 000 ms. Längst till höger är 100% av geofonerna aktiva, därefter 50%, 33% och slutligen 25%. Observera att skalan i x-led för hastighet varierar. 84
- Figur 79 Från vänster till höger: Fv-spektrum för cirkel med 15 m i diameter, med minskande antal aktiva geofoner. Y-axlarna visar frekvens i Hz. Mätningen hade ett samplingsintervall på 8 ms och mättid på 960 000 ms. Längst till höger är 100% av geofonerna aktiva, därefter 50%, 33% och slutligen 25%. Observera att skalan i x-led för hastighet varierar. 84
- Figur 80 Från övre vänstra hörnet till nedre högra hörnet: modeller av skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet med 100% av geofonerna aktiva respektive 50%, 33% och 25%. Dessa grafer tillhör cirkeluppställningen med 15 meters radie och motsvarar Figur 78 ovan. De fyra modellerna skiljer sig åt från varandra vad gäller form, startdjup, antal lager och skjuvvågshastighet. Observera att skalan för djup och skjuvvågshastighet skiljer sig något åt mellan de fyra graferna. 85
- Figur 81 Från övre vänstra hörnet till nedre högra hörnet: modeller av skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet med 100% av geofonerna aktiva respektive 50%, 33% och 25%. Dessa grafer tillhör cirkeluppställningen med 15 meters radie och motsvarar Figur 79 ovan. De fyra modellerna skiljer sig åt från varandra vad gäller form, startdjup, antal lager och

skjuvvågshastighet. Observera att skalan för djup och skjuvvågshastighet skiljer sig något åt mellan de fyra graferna.86

Figur 82 Från vänster till höger: Fv-spektrum för cirkel med 5 m i diameter, med minskande antal aktiva geofoner. Y-axlarna visar frekvens i Hz. Mätningen hade ett samplingsintervall på 4 ms och mättid på 480 000 ms. Längst till höger är 100% av geofonerna aktiva, därefter 50%, 33% och slutligen 25%. Observera att skalan i x-led för hastighet varierar. Notera hur amplituden i peakvärdena i fv-spektrumen minskar i amplitud med lägre andel aktiva geofoner.87

Figur 83 Från vänster till höger: Fv-spektrum för cirkel med 5 m i diameter, med minskande antal aktiva geofoner. Y-axlarna visar frekvens i Hz. Mätningen hade ett samplingsintervall på 8 ms och mättid på 960 000 ms. Längst till höger är 100% av geofonerna aktiva, därefter 50%, 33% och slutligen 25%. Observera att skalan i x-led för hastighet varierar. Notera hur amplituden i peakvärdena i fv-spektrumen minskar i amplitud med lägre andel aktiva geofoner.87

Figur 84 Från övre vänstra hörnet till nedre högra hörnet: modeller av skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet med 100% av geofonerna aktiva respektive 50%, 33% och 25%. Dessa grafer tillhör cirkeluppställningen med 5 meters radie och motsvarar Figur 82 ovan. De fyra modellerna skiljer sig åt från varandra vad gäller form, startdjup, antal lager och skjuvvågshastighet. Observera att skalan för djupet skiljer sig något åt mellan de fyra graferna.

88

Figur 85 Från övre vänstra hörnet till nedre högra hörnet: modeller av skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet med 100% av geofonerna aktiva respektive 50%, 33% och 25%. Dessa grafer tillhör cirkeluppställningen med 5 meters radie och motsvarar Figur 83 ovan. De fyra modellerna skiljer sig åt från varandra vad gäller form, startdjup, antal lager och skjuvvågshastighet. Observera att skalan för djupet skiljer sig något åt mellan de fyra graferna.

89

Figur 86 Från vänster till höger: Fv-spektrum för triangeluppställning, med minskande antal aktiva geofoner. Y-axlarna visar frekvens i Hz. Mätningen hade ett samplingsintervall på 4 ms och mättid på 480 000 ms. Längst till höger är alla geofonerna aktiva, har en triangel inaktiverats i taget från den yttersta och inåt. Observera att skalan i x-led för hastighet varierar. Notera hur de högre frekvenserna ökar i amplitud med minskande antal geofoner, medan de lägre frekvenserna får en mer diffus spridning.90

Figur 87 Från vänster till höger: Fv-spektrum för triangeluppställning, med minskande antal aktiva geofoner. Y-axlarna visar frekvens i Hz. Mätningen hade ett samplingsintervall på 8 ms och mättid på 960 000 ms. Längst till höger är alla geofonerna aktiva, därefter har en triangel inaktiverats i taget från den yttersta och inåt. Observera att skalan i x-led för hastighet varierar. Notera hur de högre frekvenserna ökar i amplitud med minskande antal geofoner, medan de lägre frekvenserna får en mer diffus spridning.91

Figur 88 Från övre vänstra hörnet till nedre högra hörnet: modeller av skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet med alla geofoner aktiva respektive med en, två och tre inaktiverade trianglar med start från den yttersta triangeln. Dessa grafer motsvarar Figur 86 ovan. Den fjärde kurvan är olik resten då den visar en minskande skjuvvågshastighet runt 6 meters djup som därefter ökar. Den sista angivna skjuvvågshastigheten har ett lägre värde för den fjärde grafen än hos de andra tre graferna.92

Figur 89 Från övre vänstra hörnet till nedre högra hörnet: modeller av skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet med alla geofoner aktiva respektive med en, två och tre inaktiverade trianglar med start från den yttersta triangeln. Dessa grafer motsvarar Figur 87 ovan. De två första kurvorna är mer lika varandra, exempelvis vad gäller startdjup. Den tredje och fjärde kurvan visar en minskande skjuvvågshastighet runt 6,5 respektive 4,5 meters djup som därefter ökar.93

Figur 90	Till vänster: Fv-spektrum för mätning för stor cirkel med mittgeofon aktiv i Tornhill. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Fv-spektrum för samma mätning med mittgeofonen inaktiverad. Mätningen hade ett samplingsintervall på 4 ms och en mättid på 480 000 ms.....	94
Figur 91	Till vänster: Fv-spektrum för mätning för stor cirkel med mittgeofon aktiv i Tornhill. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Fv-spektrum för samma mätning med mittgeofonen inaktiverad. Mätningen hade ett samplingsintervall på 8 ms och en mättid på 960 000 ms.....	95
Figur 92	Till vänster: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet för mätning för stor cirkel med mittgeofon aktiv i Tornhill. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet för samma mätning med mittgeofonen inaktiverad. Mätningen hade ett samplingsintervall på 4 ms och en mättid på 480 000 ms.	96
Figur 93	Till vänster: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet för mätning för stor cirkel med mittgeofon aktiv i Tornhill. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet för samma mätning med mittgeofonen inaktiverad. Mätningen hade ett samplingsintervall på 8 ms och en mättid på 960 000 ms.	96
Figur 94	Till vänster: Fv-spektrum för mätning för stor cirkel med mittgeofon aktiv Grevie. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Fv-spektrum för samma mätning med mittgeofonen inaktiverad. Mätningen hade ett samplingsintervall på 4 ms och en mättid på 480 000 ms.....	97
Figur 95	Till vänster: Fv-spektrum för mätning för stor cirkel med mittgeofon aktiv Grevie. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Fv-spektrum för samma mätning med mittgeofonen inaktiverad. Mätningen hade ett samplingsintervall på 8 ms och en mättid på 960 000 ms.....	97
Figur 96	Till vänster: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet för mätning för stor cirkel med mittgeofon aktiv i Grevie. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet för samma mätning med mittgeofonen inaktiverad. Mätningen hade ett samplingsintervall på 4 ms och en mättid på 480 000 ms.	98
Figur 97	Till vänster: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet för mätning för stor cirkel med mittgeofon aktiv i Grevie. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet för samma mätning med mittgeofonen inaktiverad. Mätningen hade ett samplingsintervall på 8 ms och en mättid på 960 000 ms.	99
Figur 98	Till vänster: Fv-spektrum för mätning för liten cirkel med mittgeofon aktiv Grevie. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Fv-spektrum för samma mätning med mittgeofonen inaktiverad. Mätningen hade ett samplingsintervall på 4 ms och en mättid på 480 000 ms.....	99
Figur 99	Till vänster: Fv-spektrum för mätning för liten cirkel med mittgeofon aktiv Grevie. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Fv-spektrum för samma mätning med mittgeofonen inaktiverad. Mätningen hade ett samplingsintervall på 8 ms och en mättid på 960 000 ms.....	100
Figur 100	Till vänster: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet för mätning för liten cirkel med mittgeofon aktiv i Grevie. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet för samma mätning med mittgeofonen inaktiverad. Mätningen hade ett samplingsintervall på 4 ms och en mättid på 480 000 ms.	101
Figur 101	Till vänster: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet för mätning för liten cirkel med mittgeofon aktiv i Grevie. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet för samma mätning med mittgeofonen inaktiverad. Mätningen hade ett samplingsintervall på 8 ms och en mättid på 960 000 ms.	101
Figur 102	Till vänster: Fv-spektrum för mätning för triangel med mittgeofon aktiv i Grevie. Till höger: Fv-spektrum för samma mätning med mittgeofonen inaktiverad. Y-axlarna visar frekvens i Hz. Mätningen hade ett samplingsintervall på 4 ms och en mättid på 480 000 ms. Amplituden i peakvärdena i fv-spektrumet för de högre frekvenserna är lägre när mittgeofonen är inaktiverad.....	102

Figur 103	Till vänster: Fv-spektrum för mätning för triangel med mittgeofon aktiv i Grevie. Till höger: Fv-spektrum för samma mätning med mittgeofonen inaktiverad. Y-axlarna visar frekvens i Hz. Mätningen hade ett samplingsintervall på 8 ms och en mättid på 960 000 ms. Amplituden i peakvärdena i fv-spektrumen för de högre frekvenserna är lägre när mittgeofonen är inaktiverad.	102
Figur 104	Till vänster: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet för mätning för triangel med mittgeofon aktiv i Grevie. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten för samma mätning med mittgeofonen inaktiverad. Mätningen hade ett samplingsintervall på 4 ms och en mättid på 480 000 ms och motsvarar fv-spektrumen i Figur 102.	103
Figur 105	Till vänster: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet för mätning för triangel med mittgeofon aktiv i Grevie. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten för samma mätning med mittgeofonen inaktiverad. Mätningen hade ett samplingsintervall på 8 ms och en mättid på 960 000 ms och motsvarar fv-spektrumen i Figur 103.	104
Figur 106	Fv-spektrum för triangeluppställning i Grevie, med ett samplingsintervall på 1 ms och mättid på 120 000 ms. Y-axeln visar frekvens i Hz. Tidsdomändata tyder på att en geofon i den yttersta triangeln inte var fungerande under just denna mätning, se Bilaga A.	106
Figur 107	Hypotetiska förberäknade koordinater samt inmätta koordinater för stor cirkel i Tornhill.	108
Figur 108	Hypotetiska förberäknade koordinater samt inmätta koordinater för liten cirkel i Tornhill.	109
Figur 109	Hypotetiska förberäknade koordinater samt inmätta koordinater för triangel i Tornhill.	110
Figur 110	Hypotetiska förberäknade koordinater samt inmätta koordinater för stor cirkel i Grevie.	111
Figur 111	Hypotetiska förberäknade koordinater samt inmätta koordinater för liten cirkel i Grevie.	112
Figur 112	Förberäknade koordinater samt inmätta koordinater för triangel i Grevie.	113
Figur 113	En triangeluppställning skulle kunna tolkas som flera cirkeluppställningar.	117

Tabellförteckning

Tabell 1	Sammanfattning av de mätningar som gjorts under fältundersökningarna. Här redovisas antalet mätningar med olika kombinationer av samplingsintervall och mättider.	9
Tabell 2	Geofonantal, radie samt geofonavstånd för de olika cirkeluppställningarna som har genomförts. Observera att den stora cirkeln i Tornhill har större radie än den stora cirkeln i Grevie. Radien motsvarar alltså avståndet till mittgeofonen.	10
Tabell 3	Samma uppställning för triangeln utfördes i både Tornhill och i Grevie. Uppställningen bestod av 16 geofoner fördelade på 5 trianglar med 3 geofoner i varje samt en mittgeofon. Avstånd till mittgeofon avser avståndet från en av hörngeofonerna till mitten.	10
Tabell 4	Överslagsräkning av den kortaste våglängden för peakvärdena i fv-spektrumet för cirkel- och triangeluppställningarna i Tornhill och Grevie.	55
Tabell 5	Misfit för stor cirkeluppställning i Tornhill med mätningar med samplingsintervall på 4 ms respektive 8 ms och mättid på 480 000 ms respektive 960 000 ms. Parametrar för upplösningen av hastighet och djup i inversionsprocessen anges.	83
Tabell 6	Misfit för stor cirkeluppställning i Grevie med mätningar med samplingsintervall på 4 ms respektive 8 ms och mättid på 480 000 ms respektive 960 000 ms. Parametrar för upplösningen av hastighet och djup i inversionsprocessen anges.	86
Tabell 7	Misfit för liten cirkeluppställning i Grevie med mätningar med samplingsintervall på 4 ms respektive 8 ms och mättid på 480 000 ms respektive 960 000 ms. Parametrar för upplösningen av hastighet och djup i inversionsprocessen anges.	89
Tabell 8	Misfit för triangeluppställning i Grevie med mätningar med samplingsintervall på 4 ms respektive 8 ms och mättid på 480 000 ms respektive 960 000 ms. Parametrar för upplösningen av hastighet och djup i inversionsprocessen anges.	93
Tabell 9	Misfit för inaktivering av mittgeofoner triangeluppställning i Grevie med mätningar med samplingsintervall på 4 ms respektive 8 ms och mättid på 480 000 ms respektive 960 000 ms. Parametrar för upplösningen av hastighet och djup i inversionsprocessen anges även.	104
Tabell 10	Uppskattad tidsåtgång för olika moment för en cirkeluppställning med ca 80 geofoner, utförd av 2 personer.	107
Tabell 11	Uppskattad tidsåtgång för olika moment för en triangeluppställning med ca 16 geofoner, utförd av 2 personer.	107
Tabell 12	Skillnad mellan de hypotetiska förberäknade koordinaterna och de inmätta koordinaterna i fält för den stora cirkeln i Tornhill (avrundat till två decimaler).	109
Tabell 13	Skillnad mellan de förberäknade koordinaterna och de inmätta koordinaterna i fält för den lilla cirkeln i Tornhill (avrundat till två decimaler).	109
Tabell 14	Skillnad mellan de hypotetiska förberäknade koordinaterna och de inmätta koordinaterna i fält för triangeln i Tornhill (avrundat till två decimaler).	110
Tabell 15	Skillnad mellan de hypotetiska förberäknade koordinaterna och de inmätta koordinaterna i fält för den stora cirkeln i Grevie (avrundat till två decimaler). Mittpunktens koordinater har inte jämförts.	111
Tabell 16	Skillnad mellan de hypotetiska förberäknade koordinaterna och de inmätta koordinaterna i fält för den stora cirkeln i Grevie (avrundat till två decimaler). Mittpunktens koordinater har inte jämförts.	112
Tabell 17	Skillnad mellan de förberäknade koordinaterna och de inmätta koordinaterna i fält för triangeln i Grevie (avrundat till två decimaler).	113

Tabell 18	Jämförelse mellan den kortaste observerade våglängden för peakvärdena i fvspektrumet för cirkel- och triangeluppställningarna i Tornhill och Grevie och de faktiska avstånden mellan geofoner i fält.....	114
Tabell 19	Sammanfattning av den längsta uppmätta våglängden för peakvärdena i fvspektrumet för cirkel- och triangeluppställningarna i Tornhill och Grevie samt den gräns för största trovärdiga som genereras.	115
Tabell 20	Djup i meter i fyra inversa modeller av skjuvvågshastigheten mot djupet i triangeluppställningen i Grevie jämfört med lagerföljden från brunnsprotokollet. Modellerade djup med liknande värden har förts till samma lager. Rubriken Lagerföljd Grevie hänvisar till Figur 9 i avsnitt 4.2.2 Geologi och stratigrafi.....	118
Tabell 21	Skjuvvågshastighet (V_s i m/s) i fyra inversa modeller av skjuvvågshastigheten mot djupet i triangeluppställningen i Grevie. Lagren motsvarar de ovan angivna i Tabell 20, där även medelvärdet för djup i meter är hämtat från.	119
Tabell 22	Djup i meter i sju inversa modeller av skjuvvågshastigheten mot djupet i triangeluppställningen i Grevie jämfört med lagerföljden från brunnsprotokollet. Modellerade djup med liknande värden har förts till samma lager. Antal lager i modellerna skiljer sig åt. Rubriken Lagerföljd Grevie hänvisar till Figur 9 i avsnitt 4.2.2 Geologi och stratigrafi.....	120
Tabell 23	Skjuvvågshastighet (V_s i m/s) i sju inversa modeller av skjuvvågshastigheten mot djupet i triangeluppställningen i Grevie. Lagren motsvarar de ovan angivna i Tabell 22, där även medelvärdet för djup i meter är hämtat från.	120

1 Inledning

Detta examensarbete syftar till att implementera och utöka kunskaperna om passiv ytvågsseismik som geofysisk mätmetod. Först presenteras en mer utförlig beskrivning av syftet med examensarbetet och problemställningarna formuleras. Därefter följer en kort beskrivning av seismiska mätningar samt skillnaden mellan aktiv och passiv seismik och vilka vågtyper som observeras. Mätmetodiken, fältundersökningslokalerna och hur det praktiska arbetet har gått till i fält beskrivs likaså. Hädanefter kommer ett avsnitt om hur data från mätningarna har hanterats för att skapa frekvens-fas hastighetsspektrum, dispersionskurvor och grafer över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet.

Ett urval av resultaten från datahanteringen beskrivs och diskuteras senare, samt praktiska erfarenheter av det utförda fältarbetet. Examensarbetets frågeställningar besvaras och en kritisk reflektion angående möjliga felkällor och förbättringsmöjligheter redovisas. Slutligen ges det förslag på framtida arbete inom passiv ytvågsseismik.

Samtliga fotografier i examensarbetet är tagna av skribenten själv. Ortofoton och topografiska kartor har skapats i QGIS (2022) med bakgrundskartor från Lantmäteriet. Figurer över resultatet från datahanteringen kommer från det bearbetningsprogram som har använts (Geogiga Seismic Pro 9.3 Surface Plus, 2022) och ett antal figurer över geofonstationernas koordinater har skapats i programmet Matlab (2022).

1.1 Syfte och problemställningar

Syftet med examensarbetet är att utöka kunskaperna om hur man bäst genomför undersökningar med passiv ytvågsseismik i praktiken. För att kunna användas som geofysisk mätmetod behöver det vara relativt lätt att använda metoden, utförandet behöver vara kostnads- och tidseffektivt och naturligtvis bör trovärdiga resultat av hög kvalitet erhållas.

För att studera detta har två lokaler valts ut. På varje lokal har två olika typer av uppställningsgeometrier testats, i olika storleksskala. Olika tillvägagångssätt för uppställningen av geofoner i fält har prövats, nämligen med mätband och GNSS. I den påföljande datahanteringen har sedan insamlade data analyserats, kombinerats och modifierats för att skapa resultat i form av grafer över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Examensarbetet syftar till att besvara följande frågeställningar:

- Hur väl fungerar den undersökta passiva seismiska metoden i de undersökta områdena?
- Hur väl stämmer resultaten med tillgänglig geologisk och geoteknisk bakgrundsinformation?
- Hur varierar resultaten med plats, variationer i källsignal och uppställning?
- Vad är framtidsutsikterna för denna typ av seismiska mätningar; var är den mer och mindre lämpad?

1.1.1 Avgränsningar

Ett antal avgränsningar vad gäller examensarbetets omfattning har gjorts.

- Lagerföljden på fältundersökningslokalerna kommer att beskrivas, men inte lagrens interna geologiska uppbyggnad i detalj.
- När det gäller uppställningsgeometrier i fält kommer endast cirkel- och triangeluppställning (se Figur 3 samt Figur 4 i avsnittet 3.2 Beräkning av stationskoordinater i Matlab) att användas och beskrivas närmare, men inga övriga uppställningar.
- Då fokus för examensarbetet ligger på mätningarnas praktiska genomförande och resultat kommer den matematiska bakgrunden till datahanteringen inte att beskrivas annat än översiktligt.
- Inga mätningar med aktiv ytvågsseismik genomfördes med mätuppställningarna för passiv ytvågsseismik på grund av praktiska skäl, men kan studeras i framtiden.

2 Seismik

Geofysiska mätmetoder berör många delar inom fysiken. Seismiken behandlar här mätningar med hjälp av mekaniska vågor som utbreder sig i marken. Vanliga seismiska metoder är refraktions- och reflektionsseismik som används till att karaktärisera de övre jordlagren respektive att lokalisera oljefyndigheter djupt nere i marken (Nationalencyklopedin, u.å.).

Detta examensarbete handlar om en typ av seismik som benämns ytvågsseismik, men med variationen att de använda signalerna inte genererats för mätningen skull (en så kallad aktiv metod), utan består av existerande vågfält i marken (därför begreppet passiv).

Nedan följer en beskrivning av de vågtyper som är av intresse för examensarbetet. En närmare beskrivning av ytvågsseismik ges samt en fördjupad förklaring av vad det innebär att seismiken är passiv till skillnad från aktiv.

2.1 Markvågor och ytvågor

Mekaniska vågor i olika media kan karakteriseras på olika sätt, men en distinktion som är viktig i detta examensarbete är skillnaden mellan *markvågor* (*body waves*), som också kallas *volymvågor*, och *ytvågor*. Båda vågtyperna är mekaniska vågor, men markvågorna uppträder i (det vill säga inuti) en volym medan ytvågorna uppträder i gränsskiktet mellan två medier, här markvolymen och den överliggande luften (Möller et al., 2000).

Markvågorna indelas i skjuvvågor och kompressionsvågor och karakteriseras med hjälp av sina partikelrörelser. Kompressionsvågorna har en partikelrörelse som är parallell med utbredningsriktningen, medan skjuvvågorna har en partikelrörelse som är vinkelrät mot den (Bohlin och Landen, 2009). Det finns två varianter av skjuvvågor med partikelrörelser 90° från varandra. Dessa varianter kallas polarisationsriktningar, och beskrivs oftast som horisontell respektive vertikal polarisation (Ulriksen, 2010).

Skjuvvågens hastighet är av intresse inom geotekniken för hållfasthetsberäkningar, då man med hjälp av markens (skrym)densitet kan beräkna skjuvmodulen, G , för marken (Möller et al., 2000; SGF, 2008).

Ytvågorna är den mest energirika vågtypen (SGF, 2008). Två typer av ytvågor finns i gränsskiktet mellan ett fast material och en fluid (till exempel luft), där så kallade Rayleighvågor är de vågor vars partikelrörelser finns i ett vertikalt plan, till skillnad från Lovevågor med horisontellt polariserade partikelrörelser (Kearey et al. 2002).

Rayleighvågornas partikelrörelse finns alltså i ett vertikalt plan och är elliptisk i en retrograd (moturs) bana (Kearey et al., 2002). Ytvågorna brukar sägas vara begränsade till att nå ungefär en våglängd ner i marken. Vågens frekvens och våglängdsinnehåll är därför betydelsefulla för hur djupt Rayleighvågor kan påverka markvolymen (Möller et al., 2000; Knödel et al., 2007).

Att observera Rayleighvågor som har en stor våglängd (därigenom också låg frekvens) ger således information om en markvolym som inkluderar djupare liggande lager i marken. Om en ytligt liggande markvolym ska karakteriseras krävs en signal med kortare våglängder (det vill säga högre frekvenser krävs), vilket ställer krav på valet av ljudkälla (SGF, 2008).

När en våg utbreder sig minskas dess amplitud (styrka). Detta beror på två faktorer som verkar samtidigt:

- En materialberoende inre dämpning som beror på vågens och materialets egenskaper som leder till förluster så att vågens rörelseenergi omvandlas till värme.
- En avståndsberoende så kallad geometrisk dämpning, som beror på att vågens energi sprids över allt större yta, ju längre från källan man kommer. Oftast brukar man räkna med att energin sprids över en halvsfär, men olika betraktelser förekommer (Kearey et al., 2002).

2.2 Skillnad mellan aktiv och passiv seismik

Passiv seismik skiljer sig från aktiv seismik, som är en vanligare metod. Aktiva metoder bygger på att man kan kontrollera sin ljudkälla, i form av

- vilken typ det är,
- på vilket avstånd den ska vara placerad från mätupställningen och
- när ljudkällan ska aktiveras (Berkhout och Verschuur, 2011).

I passiva mätningar kan man däremot inte på förhand veta om eller när det kommer att finnas en eller flera källor närvarande, och inte heller deras azimut (Asten, 2007), det vill säga från vilken riktning vågen kommer.

Aktiva källor används inom reflektions-, refraktions- och ytvågsseismiken i form av till exempel sprängmedel, slägga eller fallvikt (Knödel et al., 2007). Vid aktiva seismiska mätningar är det vid reflektions- och refraktionsseismik kompressionsvågor som används (ibland skjuvvågor), medan ytvågor ofta betraktas som brus i mätningarna och benämns då som *ground roll* (Kearey et al., 2002). Vid ytvågsmätningar med aktiv källa är det naturligtvis så att ytvågorna är den önskade komponenten i signalen.

Det finns både för- och nackdelar med aktiv källa. Kearey et al. skriver om vikten av att seismiska undersökningar ska vara säkra både vad gäller personlig skaderisk och miljöpåverkan. Utöver det ska kostnaderna för undersökningarna hållas nere. Samtidigt används ofta exempelvis sprängmedel, skott, släggor och tunga vikter som vågkälla till olika typer av aktiva seismiska undersökningar (Kearey et al., 2002). Dock möjliggör utbudet av aktiva källor att valet av ljudkälla, exempelvis vad gäller frekvens och energi, kan anpassas till undersökningens syfte och förutsättningar (Knödel et al., 2007).

2.3 Passiv ytvågsseismik som geofysisk mätmetod

2.3.1 Passiv ytvågsseismik

Grunden till den forskning som bedrivs idag kring passiv seismik lades mycket tidigt i samband med att seismologiska mätningar för lokalisering av jordbävningar började användas; redan 1889 kunde en jordbävning detekteras med en seismograf på avståndet mellan Tyskland och Japan (Hammond, 2019).

Under senare delen av 1950-talet började passiva metoder användas för tekniska ändamål. Då benämndes det som *microtremors* från trafik, och man ville finna lämpliga uppställningar för sin mätutrustning samt utveckla matematiken bakom mätningarna och analysen av data, för att ta reda på mer om dessa vågor och vilken information de kunde ge (Aki, 1957). Ibland benämns det även som *ambient noise* (Asten, 2006).

Inom samhällsplaneringen kan passiv ytvågsseismik ge värdefulla insikter om var bebyggelse bör planeras och ej (Martínez-Pagán et al., 2018) i och med att markens respons på rörelser (till exempel från jordbävningar) kan karteras. Det största användningsområdet för passiv seismik är fortfarande seismologi (jordbävningar), men dess användningsområden inom andra fält är under ständig utveckling (Asten, 2006).

Det forskas ständigt på nya applikationer för passiv seismik både på land och i hav, och nya mättekniker som exempelvis fiberoptik introduceras. Samtidigt efterfrågas en snabbare utveckling av framförallt utrustning för mätningar med passiv seismik på land, för att möta behovet av snabba och enkla mätningar som samtidigt är energieffektiva (Hammond, 2019). Forskning bedrivs även på hur man kan använda sig av både aktiv och passiv seismik i mätningar för att få fram mer heltäckande resultat när man vill karaktärisera markens egenskaper (Adly et al., 2017).

2.3.2 Passiva vågkällor

Två exempel på passiva vågkällor är ljud från tåg och trafik, som exempelvis lastbilar och personbilar. Båda skapar vibrationer i marken och de ytvågor som skapas dämpas minst, jämfört med markvågor (Möller et al., 2000). Dessa kan klassas som kulturella källor, till skillnad från vind som är en naturlig källa (Asten, 2006). De naturliga och kulturella källorna skiljer sig bland annat i när och hur vågorna uppträder (där de kulturella till exempel kan vara olika under dygnet beroende på trafik), vilka frekvenser som är vanligast och vilken typ av vågor som genereras. Enligt ett forskningsprojekt förekommer främst fundamentalmod för låga frekvenser för dessa vågor (Setiawan et al., 2016).

2.3.3 Ytvågsseismik

Rayleighvågorna brukar beskrivas som dispersiva (Kearey et al., 2002). Dispersion innebär att fashastigheten skiljer sig åt för olika frekvenser hos en våg, och därmed våglängden (Park et al., 1999). Denna dispersion, som mäts i den passiva ytvågsseismiken, kan sedan användas för att identifiera hur skjuvvågshastigheten varierar på olika djup i lagerföljden (Knödel et al., 2007).

Orsaken till dispersionen kan, som tidigare nämnts, förklaras med att olika jordlager i verkligheten är (åtminstone vertikalt) heterogena med olika egenskaper, exempelvis

(skjuvvågs)hastigheter. Om vi betraktar marken som uppbyggd av lager med olika hastigheter, så kommer Rayleighvågor med kortare våglängd att utbreda sig i zoner eller lager som avspeglar förhållandena närmare ytan, medan långa våglängder (alltså låga frekvenser) påverkas av djupare liggande lager (Foti et al., 2015). Observera att ytvågsseismik i sig kan vara både aktiv och passiv.

Knödel uttrycker dock att en viss skepticism till hur pass väl metoden fungerar i fält när variationerna inom lagren är stora (Knödel, 2007).

3 Kort beskrivning av mätmetoden i fält

En uppställning för insamling av seismiska data består vanligtvis av geofoner (mottagare) som omvandlar de mekaniska rörelserna från vågorna till en elektrisk signal, som via en kabel leds till en seismograf där den digitaliseras (Knödel et al., 2007).

I detta examensarbete används ett system där en digital omvandlare, i fortsättningen kallad klämma, direkt kopplas till geofonen ute vid geofonstationen. När klämman kläms åt tränger två vassa piggar in i kabeln, likt tändar. Den digitaliserade geofonsignalen förs sedan över via en kabel till en insamlingsdator. Ytterligare beskrivning av materiel som använts finns i avsnitt 5.1 Generell information om fältarbetet, se exempelvis Figur 10.

Eftersom omfattningen av geofysiska mätningar i slutändan är en kostnadsfråga, är det viktigt att planera sin mätning väl i förväg. Det kan handla om hur många geofoner som ska användas och av vilken typ, samt hur mycket personal som krävs för att utföra mätningarna (Setiawan et al., 2016).

Exempelvis behöver man välja vilken resonansfrekvens ens geofoner ska ha, utifrån vilka våglängder man avser att samla in. Några vanliga frekvenser för detta är 4,5 Hz och 10 Hz (SGF, 2008; Barzilai et al., 1998). När frekvensen hos den förbipasserande vågen understiger geofonens resonansfrekvens minskas känsligheten kraftigt, och brus uppträder i mätningarna (Barzilai et al., 1998), se även avsnitt 6.1.2 Vikningseffekter och artefakter. I detta examensarbete har vertikolgeofoner med en resonansfrekvens på 4,5 Hz använts eftersom en relativt stor djupnedträngning eftersträvs. Större våglängder (alltså lägre frekvenser) ska därför kunna registreras.

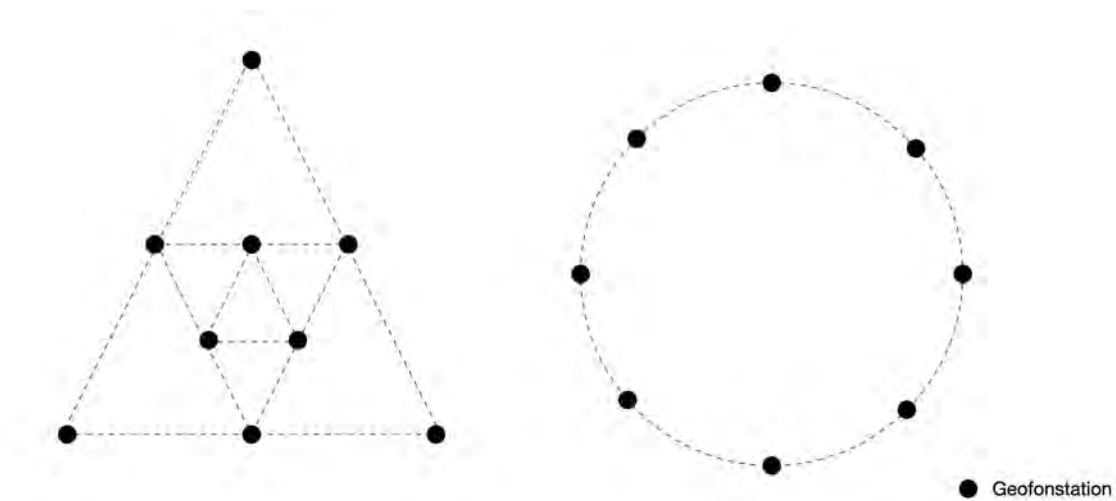
3.1 Uppställningsgeometrier och mättid

Uppställningen kan utformas på många olika sätt beroende på hur djupt man vill nå, hur många geofoner man har tillgång till och hur mätplatsen ser ut.

Den enklaste formen av uppställning är en linje. Uppställningar i ett plan är mer komplicerade men ger också bättre resultat. Det finns flera sorters uppställningar, till exempel L-form, en cirkel eller flera cirklar i varandra och trianglar inskrivna i varandra.

Stefan Burns har gjort omfattande studier av olika geometriska uppställningar i Napa Valley, California i det så kallade Napa Valley Seismic Project. Han framhåller för- och nackdelar med de olika uppställningarna och framhäver sina försök med geofonutsättning utifrån Fibonaccis talföljd, exempelvis i form av en Fibonaccispiral, som framgångsrika och intressanta (Napa Seismic, u.å.).

I detta examensarbete har geofonerna inte varit beroende av fixa avstånd på en geofonkabel, utan placeringen har varit fri. Detta har möjliggjort eller förenklat mer komplexa geofonuppställningar (än exempelvis en rak linje) och de som har valts är cirkel- och triangeluppställning, vilket är tvådimensionella uppställningar. För exempel på hur sådana uppställningar skulle kunna se ut, se Figur 1.



Figur 1 Principiell figur som visar exempel på triangeluppställning till vänster och cirkeluppställning till höger. Antalet geofonstationer, liksom uppställningarnas storlekar, kan variera och anpassas till mätuppgiften. En geofon kan även sättas ut i mitten av triangel- och cirkeluppställningen.

Syftet med uppställningen är att skapa många olika avstånd (*spacings*) mellan geofonpar i uppställningen samt många upprepningar av samma avstånd (*pairings*). För både cirkel- och triangeluppställning skapas generellt många versioner av samma avstånd, men däremot inte särskilt många olika avstånd. Däremot är de lätta att anpassa storleksmässigt efter behov, genom att exempelvis justera radien på cirkeln (Napa Seismic, u.å.).

I uppställningarna kan man ha en geofon utsatt i mitten av uppställningen, men detta kan vara överflödigt (Asten, 2006). I praktiska exempel har förhållandevis enkla uppställningar använts, med exempelvis fem geofoner i cirkeluppställning, en mittgeofon och radier på 3 till 25 meter. Resultaten har här varit goda nog att föreslås fungera som underlag i samhällsplanering, i kombination med andra undersökningar (Martínez-Pagán et al., 2018). Den enkla uppställningen i cirkelform, här med sex geofoner samt mittgeofon (som även kan beskrivas som hexagonform), återfinns även i försök utförda av Setiawan et al. med en radie på 50 meter (Setiawan et al., 2016).

Oavsett vilken form man väljer blir resultatet av en mätning inte tvådimensionellt som i en profil, utan en sondering utifrån mittpunkten av ens uppställning. Det är därför viktigt att vara noggrann när man sätter ut sina geofoner i fält. Tunnare lagerföljder kan vara svåra att detektera i datahanteringen, men kan observeras om lagrets tjocklek motsvarar cirka 20% av det totala mätdjupet. Om man i förväg vet att ens lager är tunna bör man därför skapa en uppställning som möjliggör ett mindre mätdjup (SGF, 2008).

Avståndet mellan individuella geofoner spelar även roll när det gäller att minimera effekten av så kallad rumsliga vikningseffekter, som kommer beskrivas i ett senare kapitel (se 6.1.2 Vikningseffekter och artefakter). Här gäller det att det kortaste avståndet mellan geofoner motsvarar halva den kortaste möjliga våglängden (samplingsteomet) (Park et al., 1999). Den kortaste våglängden är relaterad till det minsta djupet.

Det största mätdjupet kan som tumregel anges halva den längsta uppmätta våglängden (Park et al., 1999).

I detta examensarbete kommer två uppställningsgeometrier att användas i fältarbetet, nämligen cirkel- och triangeluppställning. Cirkeluppställningen kommer utföras med olika radie och med eller utan mittgeofon. Dessa benämns som stor och liten cirkel. Triangelns uppställning består av flera liksidiga trianglar inskrivna i varandra och

kommer ha samma antal och placering av geofoner i de olika mätningarna. Närmare beskrivningar av de olika uppställningarna kommer i senare avsnitt (se 5 Fältarbete).

En uppfattning om den aktuella lagerföljden på platsen är viktig vid senare steg i datahanteringen. Ju mer information som finns tillgängligt om lagerföljd, tvärkontraktionstal och densiteten hos lagren, desto bättre blir förutsättningarna för att skapa en kurva över skjuvvågshastigheten mot djupet (Park et al., 1999). Vidare ger kunskap om lagerföljden i området en möjlighet att reflektera över om lagerföljden överlag är densamma i hela området för uppställningen, eller om det finns stora variationer som kan påverka resultatet. En alltför (geometriskt) stor uppställning kan således medföra osäkerheter gällande detta (Park et al., 1999).

3.1.1 Samplingsintervall och mättid

Med mättid avses här den totala tid som datainsamlingen omfattar vid mättillfället. När det gäller mättid förespråkas ofta långa mättider, på exempelvis en halvtimme till en timme (Setiawan et al., 2016; Burns, 2020). Mätningarna som utförts i detta examensarbete har av instrumenttekniska skäl haft kortare mättid än så, på upp till 16 minuter.

De olika mätningarna har haft liknande samplingsintervall och mättider, som initialt valdes utifrån instruktioner och rekommendationer i mjukvaran. En sammanfattning ses nedan i Tabell 1. På sedvanligt vis erhålls samplingsfrekvensen som 1/samplingsintervallet. De använda samplingsfrekvenserna är alltså mellan 125 Hz (8 ms samplingsintervall) och 1 000 Hz (1 ms samplingsintervall).

Tabell 1 Sammanfattning av de mätningar som gjorts under fältundersökningarna. Här redovisas antalet mätningar med olika kombinationer av samplingsintervall och mättider.

MÄTUPPSTÄLLNING	ANTAL MÄTNINGAR	SAMPLINGSINTERVALL [ms]	MÄTTID [ms]
Tornhill			
Stor cirkel	4	4	480 000
	5	8	960 000
Liten cirkel	2	4	480 000
	2	8	960 000
Triangel	2	1	120 000
	2	2	240 000
	2	4	480 000
	2	8	960 000
Grevie			
Stor cirkel	2	4	480 000
	2	8	960 000
Liten cirkel	2	4	480 000
	2	8	960 000
Triangel	2	1	120 000
	2	2	240 000
	2	4	480 000
	2	8	960 000

3.1.2 Geofonavstånd

Då två typer av uppställningsgeometrier har testats liksom olika storlek på dessa, har avståndet mellan geofonerna varierat, likaså avståndet från en geofon till mittgeofonen.

Detta finns därför beskrivet nedan i Tabell 2 för cirkeluppställningarna och i Tabell 3 för triangeluppställningarna.

Cirkeluppställningarnas geometri har varierat vad avser både antal geofoner och radie, medan triangeluppställningen har varit densamma vid båda mätillfällena. Alla uppställningar kommer att beskrivas mer ingående i avsnitt 5 Fältarbete.

Tabell 2 Geofonantal, radie samt geofonavstånd för de olika cirkeluppställningarna som har genomförts. Observera att den stora cirkeln i Tornhill har större radie än den stora cirkeln i Grevie. Radien motsvarar alltså avståndet till mittgeofonen.

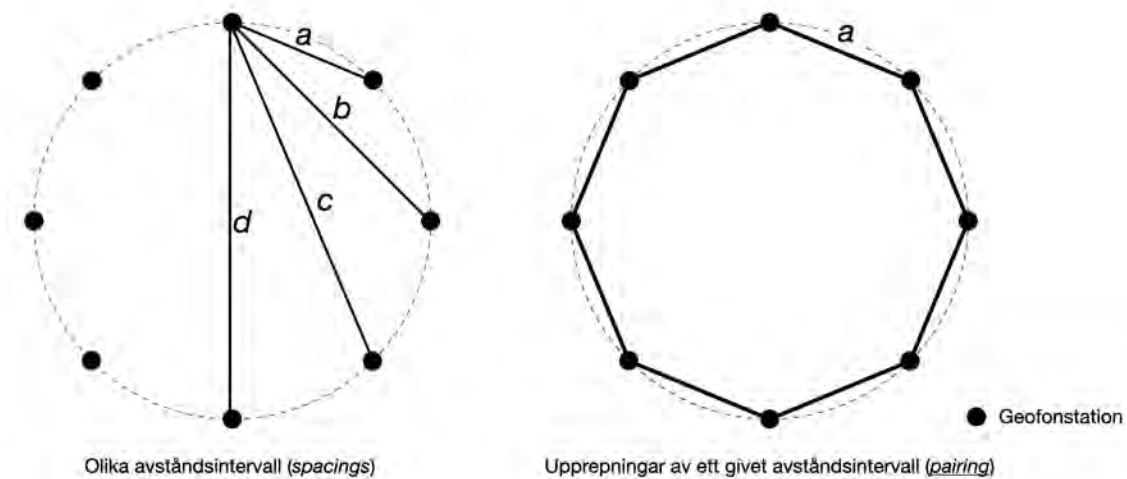
MÄTUPPSTÄLLNING	ANTAL GEOFONER EXKL. MITTGEOFON	RADIE [m]	GEOFONAVSTÅND [m]
Tornhill			
Stor cirkel	79	25	1,92
Liten cirkel	48	5	0,63
Grevie			
Stor cirkel	78	15	1,21
Liten cirkel	50	5	0,63

Tabell 3 Samma uppställning för triangeln utfördes i både Tornhill och i Grevie. Uppställningen bestod av 16 geofoner fördelade på 5 trianglar med 3 geofoner i varje samt en mittgeofon. Avstånd till mittgeofon avser avståndet från en av hörngeofonerna till mitten.

MÄTUPPSTÄLLNING	SIDLÄNGD [m]	AVSTÅND TILL MITTGEOFON [m]
Yttersta triangeln	40	23,09
Näst yttersta triangeln	20	11,55
Mittentriangeln	10	5,77
Näst innersta triangeln	5	2,89
Innersta triangeln	2,5	1,44

3.1.3 Formler för avstånd och upprepningar av avstånd

Den utvärderingsmetod (SPAC/ESPAC) som används (se Aki, 1957 samt avsnittet 6.1 Datahantering nedan) definierar två nyckeltal för att karakterisera en uppställning, dels hur många olika avståndsintervall som uppstår mellan stationerna i uppställningen, dels hur många gånger ett givet intervall kan upprepas.



Figur 2 Principiell bild som visar begreppen spacings och pairings. I den vänstra bilden kan fyra olika intervall a - d identifieras. I den högra ses åtta upprepningar av det utvalda intervallet a .

För att beräkna hur många avståndintervall (*spacings*) respektive upprepningar av avstånd (*pairings*) som en uppställning ger upphov till har en formel tagits fram. För en illustration av begreppen *spacings* och *pairings*, se Figur 2 ovan.

För uppställningar med mittgeofon skapas *spacings* och *pairings* både mellan mittgeofonen och geofonerna, samt mellan geofonerna. De kan därför delas upp i två skilda delar.

3.1.3.1 Formel för cirkeluppställning

När det gäller antalet *spacings* och *pairings* för en cirkeluppställning behöver man använda sig av två fall: jämnt eller udda totalt antal geofoner, n , i cirkeluppställningen (exklusive mittgeofon). Varje geofon skapar avstånd mellan alla andra geofoner längs cirkelns radie utom till sig själv. När antalet *spacings* så upprepas exakt samma *spacings* på båda sidor av en halvcirkel och därför blir det totala antalet *spacings*, s ,

$$s = \frac{n}{2}$$

för jämnt antal geofoner, respektive

$$s = \frac{n-1}{2}$$

för udda antal geofoner.

Dessa *spacings* skapar sedan *pairings*, p , mellan alla geofoner enligt

$$p = n(s - 1) + \frac{n}{2}$$

för jämnt antal geofoner och

$$p = ns$$

för udda antal geofoner.

Till mittgeofonen ut till geofonerna längs cirkeln skapas endast en *spacing* (som är densamma som radien), och detta avstånd upprepas lika många gånger som det finns antal geofoner i uppställningen. Det innebär att det totala antalet *spacings* för en cirkel med mittgeofon blir

$$s = 1 + \frac{n}{2}$$

och

$$s = 1 + \frac{n-1}{2}$$

För jämnt respektive udda antal geofoner. Antalet *pairings*, inklusive mittgeofon blir då.

$$p = n(s - 1) + \frac{3n}{2}$$

för jämnt antal geofoner samt

$$p = n(1 + s)$$

för udda antal geofoner.

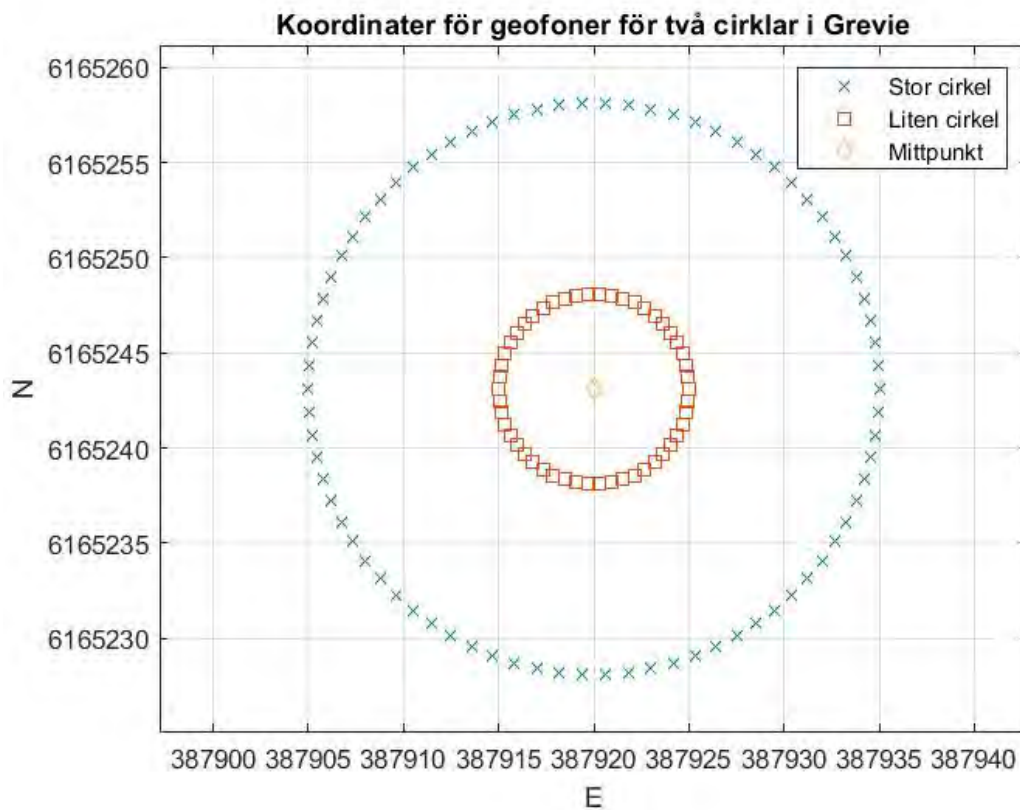
3.1.3.2 Formel för triangeluppställning

För triangeluppställningen är sambandet mellan antal trianglar och antalet *spacings* och *pairings* enkelt om man bara ser till relationen mellan mittgeofonen och hörnpunkterna i respektive triangel, samt mellan hörnpunkterna i en enskild triangel.

Mönstret blir dock tämligen komplext när det gäller geofonernas avstånd till varandra, utanför den triangel som punkten tillhör. Antalet kombinationer blir snabbt väldigt stort beroende på antalet trianglar i uppställningen och det har därför avståtts från att framställa en formel för detta i examensarbetet.

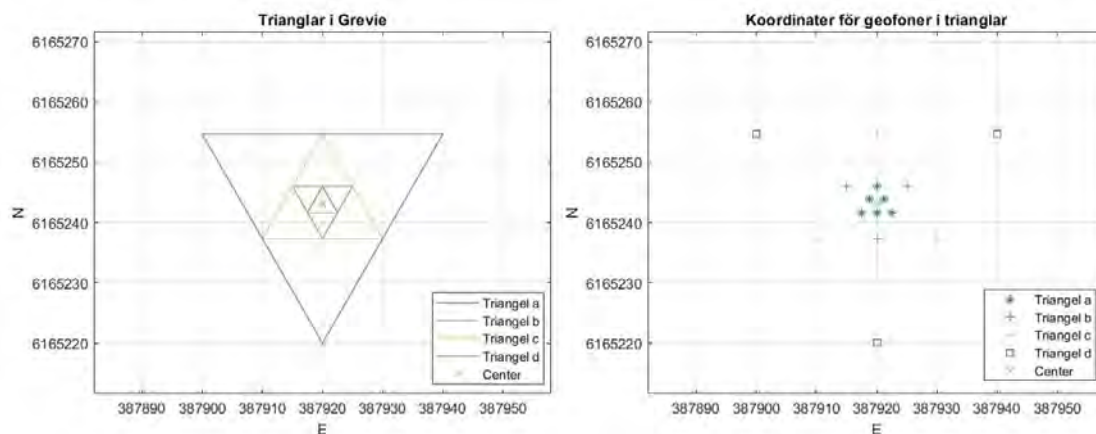
3.2 Beräkning av stationskoordinater i Matlab

Ett verktyg för beräkning av geofonstationernas koordinater givet en mittkoordinat för uppställningen har tagits fram. I Figur 3 och Figur 4 nedan visas exempel på beräknade koordinater för cirkeluppställning respektive triangeluppställning.



Figur 3 Beräknade koordinater för geofonerna i två cirklar samt mittpunkt för mätningar i Grevie.

För cirkeluppställningarna har kod skrivits för att generera koordinater för det önskade antalet geofoner utifrån en mittpunkt med bestämda koordinater, på en bestämd radie. Geofonerna blir jämnt fördelade på cirkelns omkrets.



Figur 4 Till vänster: Triangeluppställningen. Till höger: Beräknade koordinater för geofonerna i triangeluppställningen.

För triangeln har kod skapats som bildar trianglar inskrivna i varandra utifrån en mittpunkt. Det är även möjligt att välja en vinkel, om man vill att spetsen på den yttersta triangeln ska vara placerad åt ett särskilt håll (exempelvis om det finns hinder på platsen).

Utifrån koordinaterna skapas översiktsfigurer. Koordinaterna har även lagts in i ett GIS-program (QGIS) för att skapa kartor inför fältarbetet. Vidare har koordinaterna överförs

till handdatorn till GNSS-mottagaren för att möjliggöra utsättningen av stationer för geofonerna.

Verktyg har även tagits fram för att beräkna geofonavstånden (se avsnitt 3.1.2 Geofonavstånd), då stationer sätts ut med hjälp av ett mätband (inbindning). Samtliga Matlab-koder finns i Bilaga C-M.

4 Fältundersökningslokaler

Fältarbetet i detta examensarbete har utförts på två lokaler; Tornhill och Grevie, båda belägna nära Lund, Skåne (se Figur 5). Nedan följer en närmare beskrivning av platserna och tidigare undersökningar.



Figur 5 Översiktsskarta över mätplatserna Tornhill och Grevies placering i Skåne och Sverige.

4.1 Tornhill

4.1.1 Geografisk placering och utformning

Strax norr om stadsdelen Annehem i staden i Lund finns platta jordbruksmarker där en del av fältarbetet i detta examensarbete har utförts (se Figur 6). Omedelbart norr om området där mätningar skett ligger några bostadshus och en väg (Tornhillsvägen) samt gården Tornhill, som givit namn åt området.

I södra delen av området för fältundersökningarna ligger alltså bostadsområden med hus och till väster om området går en mindre bilväg med enstaka förbipasserande.

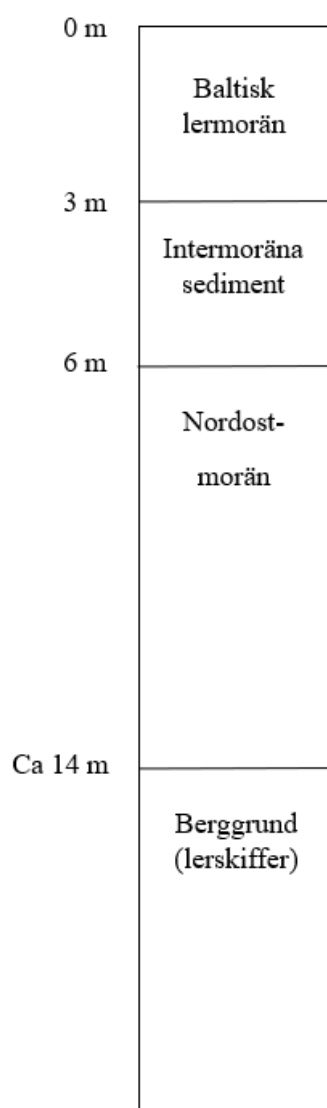
Längre västerut, cirka 500 meter från mätplatsen, går Södra Stambanan med tågtrafik till och från Lund. Järnvägen är belägen bakom buskage och träridåer. Norrut finns ett trädparti (före detta tomtmark) i jordbruksmarken och österut går en större bilväg, även med tyngre trafik, i nord-sydlig riktning cirka 350 meter från mätplatsen. Marken är som sagt platt, men med en lätt sluttning söderut.

Längre österut finns motorvägen E22 (cirka 2,5 km bort) samt tre vindkraftverk, sådana finns också åt sydväst.



Figur 6 Ortofoto över mätplatsen i Tornhill, markerat i rött. Trädpartiet är beläget precis norr om mätplatsen. Järnvägen syns i det övre vänstra hörnet och den större bilvägen (Svenshögsvägen) till höger (Bakgrundsbild © Lantmäteriet).

4.1.2 Geologi och stratigrafi



Figur 7 Lagerföljd för Tornhill (efter Larsson, 2001), ej skalenlig.

Som på många andra jordbruksmarker i sydvästra Skåne domineras marken vid Tornhill av lermorän. Tidigare markundersökningar av platsen har fastslagit att lagerföljden består av baltisk lermorän och nordostmorän, och däremellan en blandning av dessa som uppkommit under istiden (Svensson, 2001). Lermoränernas namn är relaterade till varifrån de kommer (Dueck, 1994).

De översta 3 metrarna består av baltisk lermorän, därefter på 3 till 6 meters djup finner man blandningen av de båda (Larsson, 2001). Man måste dock komma ihåg att variationen i kornstorlek kan vara stor även inom lagren, vilket innebär att vissa delar kanske innehåller mer sand, grus eller silt jämfört med bara en halvmeter bort i samma lager (Dueck, 1994).

Avståndet ner till berggrunden har uppmätts till 14 meter vid borrningar i trädpartiet, vilket ger att tjockleken på nordost-moränen bör vara cirka 8 meter.

Som kontrast finns det närliggande provtagningspunkter (bland annat på den östra sidan av trädpartiet) där djupet till berggrund istället varit 16 respektive 24 meter (Larsson, 2001). En annan källa menar däremot att berggrunden ligger på cirka 23 meters djup (Dueck, 1994). Själva berggrunden består av lerskiffer (Larsson, 2001). Se Figur 7 för illustration. Det är för närvarande oklart om eller hur det varierande jorddjupet påverkat mätningarna.

När det gäller grundvatten ligger nivån, enligt tidigare markundersökningar, på mellan 0 och 2 meters djup. Detta på grund av att den höga andelen lera som leder till en låg permeabilitet i marken, vilket innebär att vatten från exempelvis nederbörd tar lång tid på sig att tränga ner genom de olika lagren (Larsson, 2001).

4.1.3 Data från tidigare markundersökningar

Området i trädpartiet har sedan 1993 använts av främst Avdelningen för geoteknik vid Lunds Tekniska Högskola för olika typer av geotekniska tester, exempelvis CPT, borrningar, provtagning av kärnor för laboratorieundersökningar och plattbelastningstest. Dessa tester har genomförts inne i trädpartiet, precis norr om undersökningsområdet i detta examensarbete (Larsson, 2001).

CPT står för Cone Penetration Test och är en geoteknisk metod som används för att bestämma jordlagerföljder och uppskatta markens geotekniska egenskaper. I en variant, seismisk CPT (S-CPT) kan dessutom skjuvvågshastigheten hos marken bestämmas genom att ha geofoner placerade på sonden (Robertson et al., 1986; SGF, 2013).

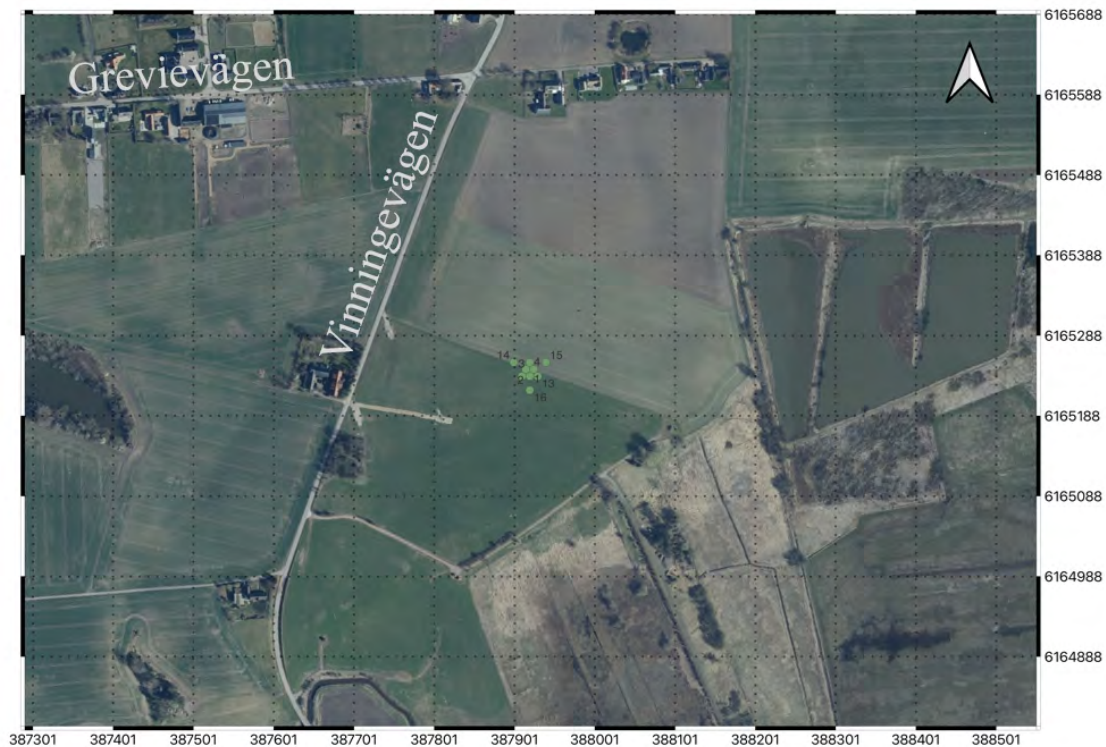
S-CPT har utförts på Tornhill, där resultaten presenterades som ett förhållande mellan skjuvvågshastigheten, V_s , och djupet. I dessa tester nåddes ett djup av 7 meter. Även SASW-mätningar (förkortning av *Spectral Analysis of Surface Waves*) av Rayleigh-vågor har genomförts. Slutsatsen som kunde dras av mätningarna med SASW var att de är bäst lämpade för jordar med ökande fasthet mot djupet, vilket inte är fallet i Tornhill, där fastheten varierar i lermoränen (Larsson, 2001). Denna slutsats är troligen mest relevant för grunda mätningar.

Densiteten hos jorden har också mätts, dock med viss variation i resultaten. Från cirka 7 meters djup och nedåt är densiteten cirka $2,3 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ och mätningar i laboratorium av provtagning från nordost-moränen visar på en densitet på $2,42 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, vid cirka 11 meters djup (Larsson, 2001). Studier har även gjorts på hur pass väl simuleringar stämmer överens med riktiga data från plattbelastningsförsök utförda på Tornhill. I dessa försök har tvärkontraktionstalet satts till 0,25 (Lindh, 2012).

4.2 Grevie

4.2.1 Geografisk placering och utformning

Grevie ligger strax söder om Staffanstorp, nära väg 11 (cirka 1,5 km). Området vid platsen för fältundersökningarna sluttar söderut ner mot Torrebergabäcken och består av ett böljande landskap med jordbruksmarker. Österut finns några vindkraftverk (cirka 3 km) och utöver det karakteriseras landskapet av åkerholmar, mindre skogsdungar och enstaka hus. Det är mindre trafik och ljud i Grevie än vid Tornhill. Se Figur 8 för en översigtsbild.



Figur 8 Ortofoto över mätplatsen i Grevie, markerat i grönt. Staffanstorp börjar strax norr om Grevievägen (Bakgrundsbild © Lantmäteriet).

I området kring Grevie finns ett stort antal brunnar, då man pumpat vatten härifrån för dricksvattenförsörjning sedan slutet av 1800-talet. Därför finns studier på hur brunnarna ska rensas och resultat från olika pumpningsförsök som gjort i området (Follin och Johansson, 1994). Där mätningarna i detta examensarbete skulle utföras fanns en nyanlagd brunn och flera andra brunnar i närheten. De närmaste brunnarna verkade inte vara aktiva eller pumpade.



Området kring mätningarna ingår i Grevie vattentäkt, men ingår inte i något vattenskyddsområde, utan ligger strax norr om vattenskyddsområdet nära Klågerup (Svedala kommun, 2018). Däremot har VA SYD hållit samråd om att utöka vattenskyddsområdet (VA SYD, 2021). I samrådshandlingarna benämns området nära mätningarna för *Torvtäkten*, och innefattas i det nya vattenskyddsområdet enligt förslaget (Sweco, 2021).

4.2.2 Geologi och stratigrafi

Anledningen till att just detta område är en vattentäkt är på grund av Alnarpsströmmen, en akvifer som återfinns längs en linje NV-SO, tvärs igenom det sydvästra hörnet av Skåne, inklusive mätplatsen i Grevie. Alnarpsströmmen är en betydande grundvattenförekomst i den någon halvmil breda så kallade Alnarpsdalen, som skyddas under olika jordlager (Sweco, 2021).

Berggrunden består av Danienkalksten och i den fördjupning av kalkberget som kallas Alnarpsdalen finns ofta grövre sediment som sand, grus och sten. I moränen som överlagrar Alnarpsdalen finns inter- och submoräna sediment och olika typer av moränleror (Thorvaldsson, 2006).

Då det finns många brunnar i området finns även en stor mängd brunnsprotokoll tillgängliga. Den brunn som låg närmast platsen för mätningarna var nyligen anlagd och visade på en lagerföljd med lerig morän ner till 14 meter och därefter 1 meter med sandig grus. Mellan 15 till 21 meter är det stenig eller lerig morän, sedan följer 4 meter med siltig sand med lerinslag. På 25 till 28 meters djup är det lera och därefter följer 14 meter av lerig morän med inslag av block. Från 42 meter ner till berggrunden utgörs jordlagren av olika typer av sand. Berggrunden börjar vid ungefär 79

Figur 9 Lagerföljd i Grevie (efter VA SYD, 2022), ej skalenlig.

meters djup och består, som tidigare nämnt, av kalksten (VA SYD, 2022). Se Figur 9 för illustration,

4.2.3 Data från tidigare markundersökningar

Det finns ett pågående examensarbete inom avdelningen för Teknisk geologi vid LTH som har skapat resistivitetsprofiler för området i Grevie (Larsson och Berthelsen

Gustafsson, 2022). Däremot har inga uppgifter om geotekniska förhållanden hittats för exempelvis tvärkontraktionstal och densiteten för jordlagren.

5 Fältarbeten

Två platser har varit föremål för fältundersökningar, med tre uppställningar per plats. I detta avsnitt följer en redogörelse för vilka omständigheter som rått vid fältarbetena, vilken utrustning som använts samt hur uppställningen av geofoner och mätningar gick till.

För hanteringen av centralenheten SUMMIT X One i fält för passiv ytvågsseismik har en enkel manual skapats och förfinats under fältarbetets gång, se Bilaga B.

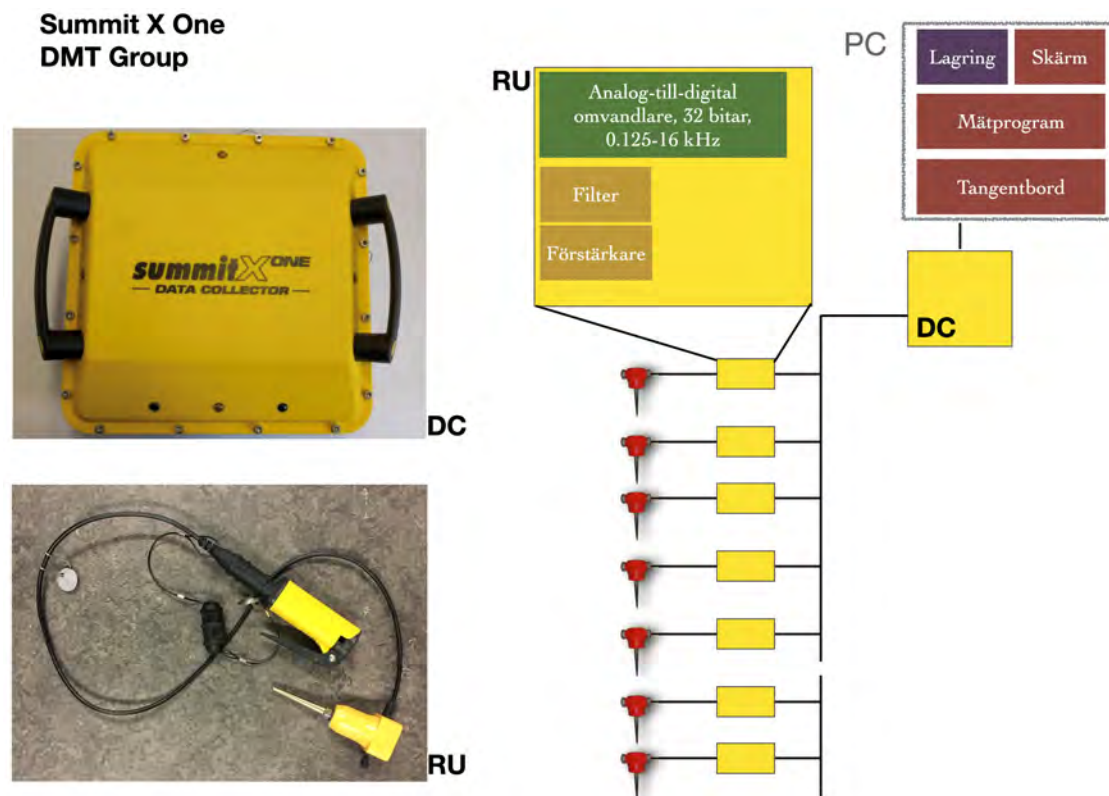
5.1 Generell information om fältarbetet

Generellt har följande materiel använts vid fältarbetet, med vissa variationer:

- 16 till 79 stycken 4,5 Hz vertikalgeofoner
- 1 till 2 spolrar med 300 meter kabel vardera
- 16 till 79 klämmor (analog-till-digitalomvandlare) för att digitalisera signaler och skicka dem till mät datorn via kabeln
- Upp till 20 stycken mätmarkörer i form av stakkäppar eller liknande
- Upp till 4 stycken mätband
- Anteckningsblock, penna
- Batteri
- Centralenhet och fältdator
- Vid behov ett hopfällbart bord
- 1 till 2 st GNSS-mottagare med tillbehör

Som transportfordon har en skåpbil eller personbil använts och som säkerhetsutrustning har reflexväst eller -jacka använts samt gummistövlar med stålhätta.

Datinsamlingen gjordes med programmet SUMMIT X One (DMT Group, www.dmt-group.com). En översikt över mätsystemet visas i Figur 10. I Figur 11 och Figur 12 nedan visas exempel på den utrustning som använts.



Figur 10 Principiell bild av den seismiska mätutrustning som använts, DMT SUMMIT X One från DMT Group AG. Geofoner ansluts till remote units (RU) som i texten kallas klämmor. Varje klämma är ett komplett enkanaligt seismiskt instrument med analog-till-digitalomvandlare, filter och förstärkare samt ett kommunikationsgränssnitt. Ett antal (beroende på uppställning potentiellt 2x50) klämmor kopplas sedan till en centralenhet (DC), som i sin tur kommunicerar med mätprogrammet i datorn (PC). För ännu fler kanaler kan fler centralenheter användas (se även DMT Group, 2021).

Innan varje fältarbete startar har ett fordon lastats med utrustningen och sedan körts till mätplatsen, där utrustningen sedan har lastats av och burits. När mätningarna avklarats har all utrustning plockats ner i respektive lådor och lastats in igen. Vid behov har utrustningen rengjorts med hjälp av vatten efter avslutat fältarbete. Dessa moment kommer ofta benämnas som etablering respektive avetablering i examensarbetet.



Figur 11 Exempel på geofon (här röd) och klämma (gul och svart), kopplad till kabel (gul). Från fältarbete i Tornhill.



Figur 12 Delar av utrustningen som användes under fältarbetena, här från en mätning i Grevie. Bland annat kabel, GNSS-mottagare monterade på stänger med handdatorer, batteri, centralenhet samt fältdator placerad på upp- och nervända grå lådor, som geofoner och klämmor tidigare lastats i.

5.2 Tornhill – Stor cirkel

5.2.1 Förutsättningar och observationer

På Tornhill utfördes fältarbete den 6:e september 2022 av Anna Snellman och Simon Rejkjær, doktorand vid avdelningen för Teknisk geologi, LTH. Vädret var under dagen soligt och utan nederbörd, med tilltagande vind under andra halvan av arbetet. Marken var torr. På marken fanns ca 10 cm höga gräsliknande växter men marken var till största delen bar. Marken var som mest fast närmast trädpartiet, jämfört med en bit ut på jordbruksmarken.

På grund av vinden, som kom österifrån, var det svårt att höra när tåg passerade på järnvägsspåret. Däremot kunde många lastbilar och liknande observeras på bilvägen på

östra sidan. På den mindre bilvägen passerade bara ett fåtal bilar, men däremot många cyklister.

5.2.2 Materiel

Till fältarbetet den 6:e september användes materielbeskrivet ovan samt i avsnittet 5.1 Generell information om fältarbetet. Antalet geofoner och klämmor var 79 st. Endast 3 mätmarkörer behövdes. En rekylfri plastklubba (2 kg) användes även till denna mätning till att hamra ned mätmarkörer, och användes inte i något av de påföljande fältarbetena.

5.2.3 Uppställning av geofoner samt mätningar

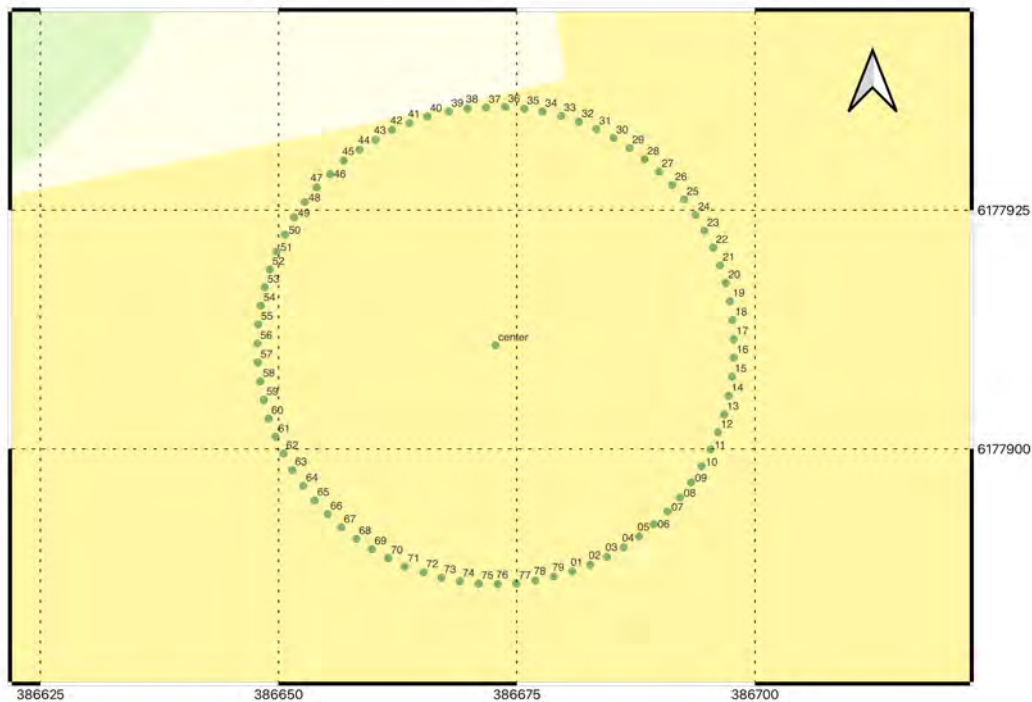


Figur 13 Mätband draget utifrån mittpunkten av cirkeln samt mätmarkörer, plasthammare och ytterligare ett mätband. Utrustningen användes för att sätta ut geofonerna på cirkelns ytterkant.

Då geofysiska mätningar tidigare skett i trädpartiet (se platsbeskrivning ovan i 4.1.1 Geografisk placering och utformning) längs en linje som var markerad med en markör i trä valdes mittpunkten för mätningarna med passiv ytvågsseismik i samma linje. Mittpunkten placerades 25 meter från trädpartiets kant och markerades med en

mätmarkör. Utifrån mittpunkten sattes sedan 79 stycken geofoner ut med 1,92 meters mellanrum längs radien i en cirkel, vilket gav en cirkel med en diameter på 50 meter.

Den uppmärksamme inser att detta är ett för kort avstånd för att vara jämnt fördelat över en cirkel med 79 geofoner. I de beräkningar som skedde innan fältarbetet förutsattes att geofonantalet skulle kunna vara 80 medan det i fält upptäcktes att det saknades en geofon.



Figur 14 Inmätta koordinater för geofonernas utsättning i den stora cirkeln i Tornhill (Bakgrundsbild © Lantmäteriet).

Utsättningen gjordes genom att ett mätband drogs från mittpunkten, där det satt fast med hjälp av en mätmarkör. På radien som bestämdes av detta mätband sattes sedan varje geofon ut på bestämda avstånd (1,92 m), se Figur 13.

Det krävdes två personer för att utföra detta; en som sträckte det längre mätbandet från mittpunkten och en som höll i det kortare mätbandet mellan geofonerna. Geofonerna trycktes ned i marken och kablar drogs tills alla geofoner.

Dessa kablar utgick från geofonstation 01 och 79 i Figur 14 och drogs åt varsitt håll. I närheten av geofon 40 i Figur 14 kopplades kablarna till en centralenhet som i sin tur var ansluten till en fältdator på ett bord. Geofonerna kopplades därefter till kabeln med hjälp av klämmor (Figur 16). I detta steg kunde två personer arbeta samtidigt från en punkt på cirkeln i varsin riktning för att effektivisera arbetet.

Geofonernas koordinater mättes som kontroll in med hjälp av en GNSS-mottagare och tilldelades stationsnummer som numrerades som i datainsamlingsprogrammet. Även mittpunkten mättes in och döptes till Center.

Ett batteri användes som strömkälla (Figur 15).



Figur 15 Centralenhet (gul) och fältdator (svart) på ett hopfällbart bord. Undertill ett batteri. Från mätning i Tornhill med stor cirkeluppställning.

Därefter utfördes ett antal mätningar tidigare beskrivna i Tabell 1 i avsnittet 3.1.1 Samplingsintervall och mättid.

Uppställningen av geofoner förändrades sedan genom att geofon nummer 79 placerades i mitten istället för på cirkelns rand. Det blev därför ett något längre avstånd mellan geofon 78 och 01, därefter upprepades mätningarna med samma intervaller. De första mätningarna benämndes som *Passive Circle* och de andra mätningarna som *Circle and Center*.



Figur 16 Geofoner utsatta i en cirkel med radie på 25 m i Tornhill. Totalt bestod cirkeln av 79 geofoner med knappt 2 meters mellanrum. Geofonerna (röda) kopplades till kabeln med hjälp av klämmor (gul-svarta).

5.3 Tornhill – Liten cirkel samt triangel

5.3.1 Förutsättningar och observationer

Fältarbetet för den mindre cirkeln på Tornhill utfördes samma dag som triangeluppställningen i Tornhill. Medverkade gjorde Anna Snellman och Peter Jonsson, universitetsadjunkt vid avdelningen för Teknisk geologi vid LTH, och datumet för fältarbetet var den 10:e november 2022.

Trots att det var november månad var vädret relativt fint med sol bakom molnen. Det blåste mycket, denna gång från väst. Tågen hördes därför bättre än vid det tidigare fältarbetet i Tornhill, men däremot hördes trafiken från den stora vägen sämre. Det var uppehållsväder fram till sena eftermiddagen, då det kom en kortare regnskur. Det hade regnat dagen innan så marken var fuktig och i hjulspåren från jordbruksmaskiner stod det mindre pölar med vatten. De tidigare gräsliknande växterna hade vuxit till sig sedan fältarbetet i september och var nu upp emot 30 cm höga med fylliga gröna blad, och kunde nu identifieras som raps.

5.3.2 Materiel

Till fältarbetet den 10:e november användes 51 geofoner och klämmor, samt 16 mätmarkörer och 4 stycken mätband. Bara en spole kabel användes. Se beskrivningen i avsnittet 5.1 Generell information om fältarbetet.

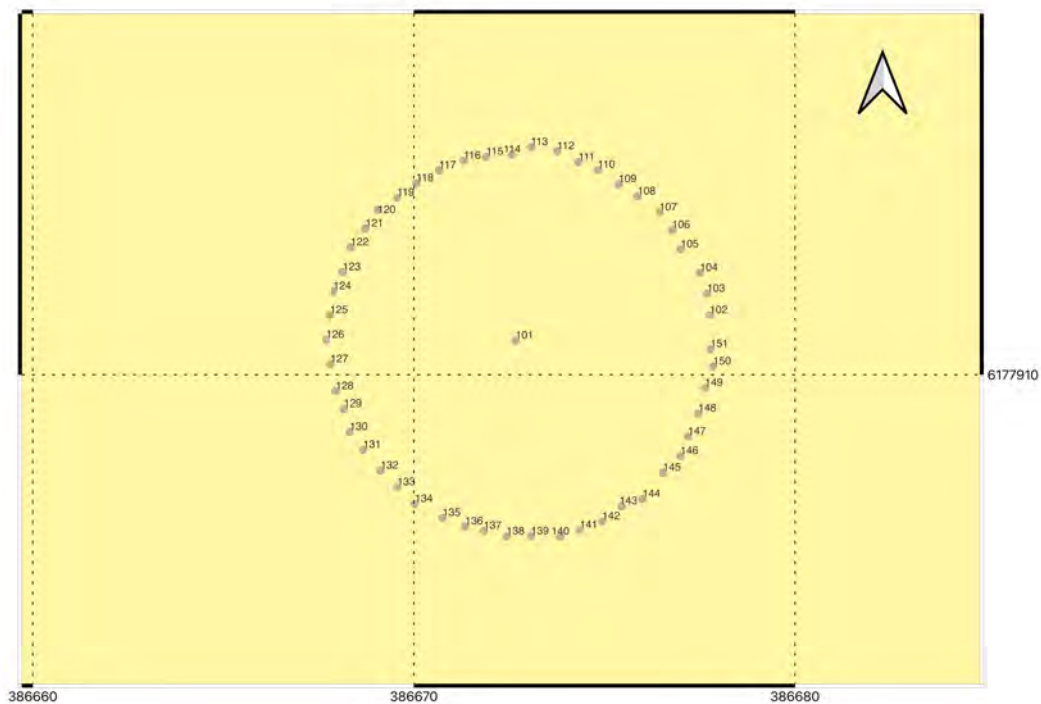
5.3.3 Uppställning av geofoner samt mätningar

Med hjälp av förberäknade koordinater (se avsnitt 3.2 Beräkning av stationskoordinater i Matlab) i GNSS-mottagaren sattes geofonerna ut i den mindre cirkeln, med en radie på 5 meter, utifrån samma mittpunkt som vid det tidigare fältarbetet i Tornhill (se Figur 17).

För att effektivisera utplaceringen användes två GNSS-mottagare, vilket möjliggjorde att två personer kunde arbeta i varsin riktning i cirkeln. Därefter drogs kabeln i samma ordning som geofonerna sattes ut i, för att numreringen av geofoner i datahanteringen skulle vara identiska med stationernas numrering. Centralenheten och fältdatorn kopplades upp och kabeln kopplades till centralenheten. Sedan anslöts geofonerna till kabeln med hjälp av klämmor.

Dock hade det i planeringen missats att en kabel (i utrustningen som användes i detta examensarbete) bara kan hantera maximalt 50 geofoner, medan den planerade uppställningen innehöll 50 geofoner i cirkeln samt en geofon i mitten. Mätprogrammet kunde alltså inte hantera alla inkopplade geofoner och lösningen i fält blev därför att eliminera mittgeofonen samt två geofoner på den östra sidan.

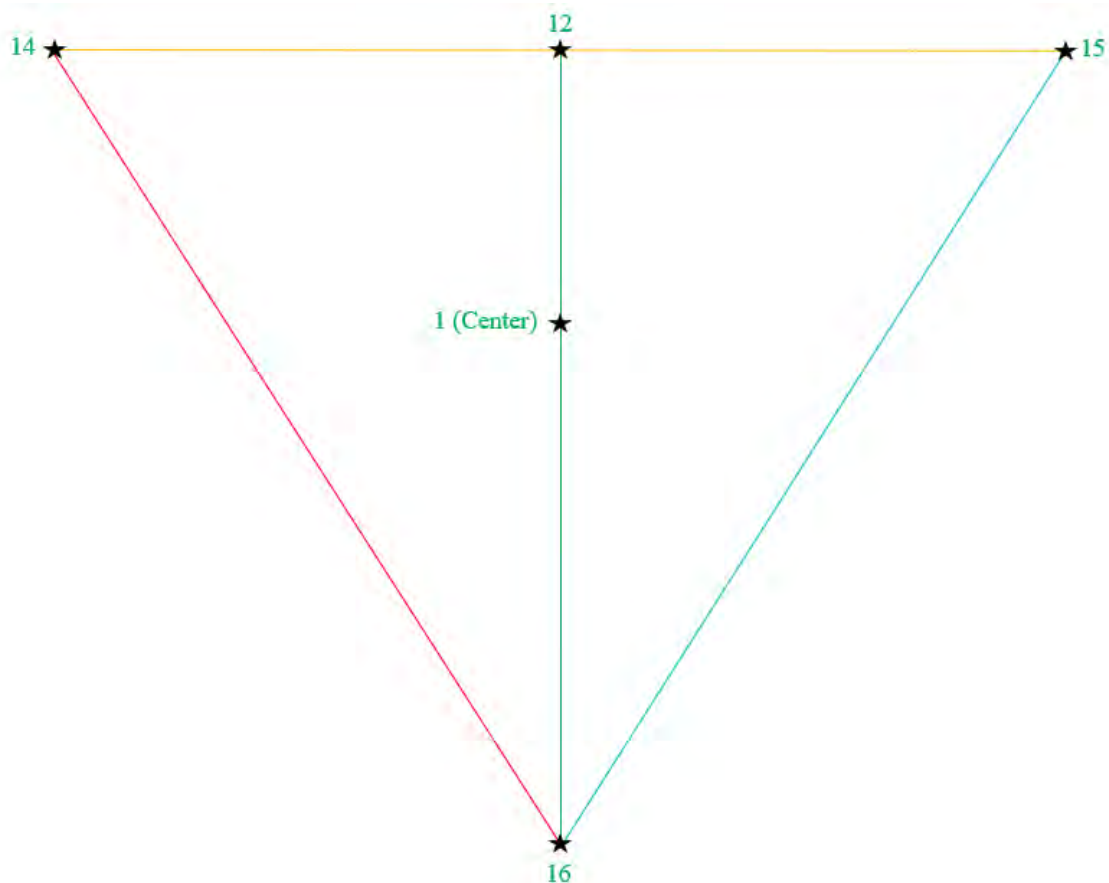
Mittgeofonen plockades bort eftersom andra mätningar redan har genomförts med mittgeofon, och de östliga geofonerna plockades bort eftersom de var placerade sist på kabeln. Den slutliga uppställningen bestod därför av 48 geofoner; av okänd anledning gick det vid tillfället inte att konfigurera mätprogrammet till att acceptera fler aktiva geofoner än så.



Figur 17 Inmätta koordinater för geofonstationerna i den mindre cirkeln i Tornhill (Bakgrundsbild © Lantmäteriet.).

Fyra mätningar genomfördes, som beskrivits ovan Tabell 1 i avsnittet 3.1.1 Samplingsintervall och mättid. Därefter mättes stationskoordinaterna in med hjälp av GNSS. Allteftersom stationerna var inmätta kopplades geofonerna från kabeln och lades åt sidan.

Därefter påbörjades triangeluppställningen. Denna utgick från mittpunkten, som skulle vara samma för båda mätningarna. I förväg hade avstånden mellan geofonerna placerade på mittlinjen i triangeln beräknats (mellan bas och spets, i Figur 18 namngivna som 12 respektive 16), se Bilaga L. Därför placerades en mätmarkör vid mittgeofonen (namngiven som 1 (Center) nedan) och däri fästes ett mätband (grön färg i Figur 18). Mätbandet drogs till triangelns spets söderut (16), tills det nådde längden 23,09 meter. Där placerades en mätmarkör och mätbandet från mitten fästes istället i denna punkt. Från punkt 16 drogs mätbandet förbi mittpunkten till längden 34,64 meter.

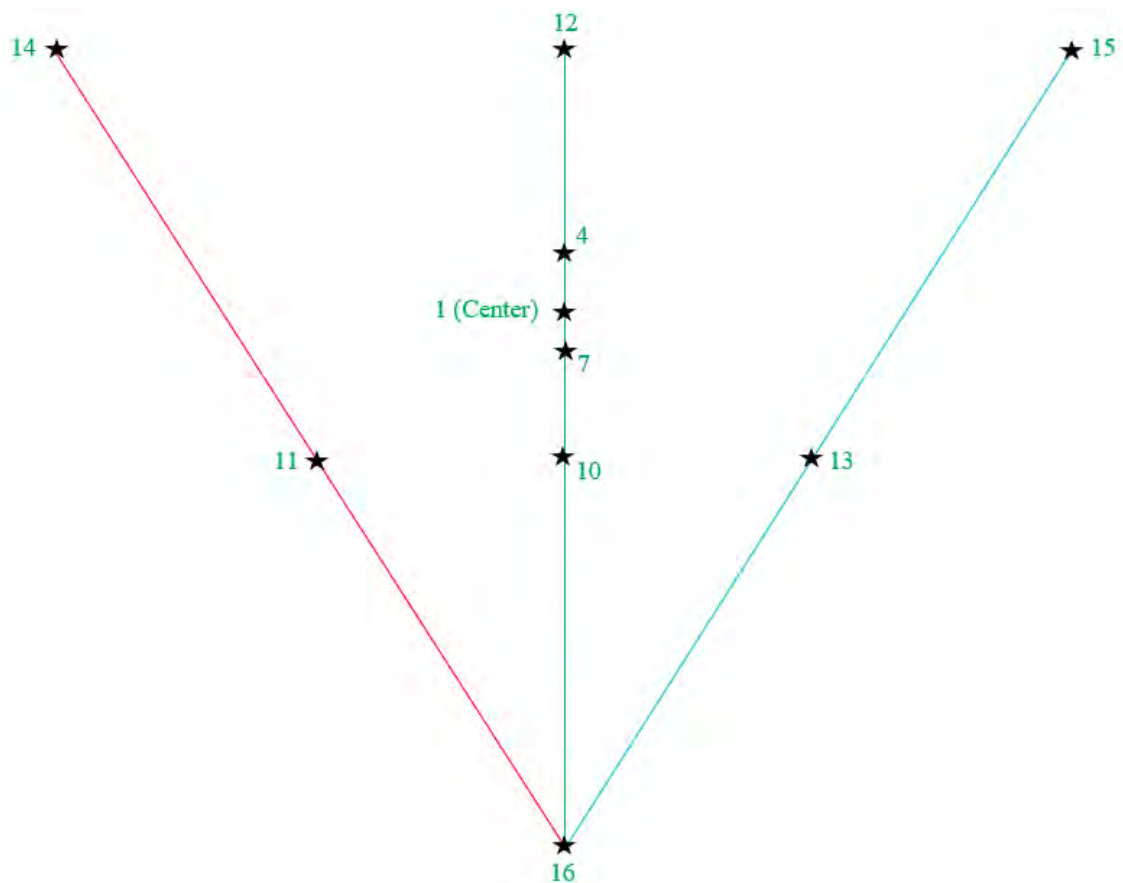


Figur 18 Utplacering av hörnpunkter i den yttersta triangeln, samt mätbandsdragning i grönt, rött, blått och gult.

Därefter fästes ytterligare två mätband i punkt 16 (röd och blå), som sedan drogs åt varsitt håll från mittlinjen så att en vinkel på cirka 30 grader skapades mellan mittlinjen och mätbandet. Mätbandet drogs till längden 40 meter, då detta var sidlängden för den största triangeln. Från punkt 12 fästes därefter ett fjärde mätband som drogs till 20 meter för att skapa halva baslinjen för triangeln. Där detta mätband mötte sidomätbandet vid 40 meter placerades en mätmarkör. Detta skapade alltså en hörnpunkt i den största triangeln (punkt 15). Därefter drogs det fjärde mätbandet (gul) från sagda hörnpunkt till 40 meters längd för att mättas in med sidlängden. På så sätt skapades den tredje och sista hörnpunkten för den största triangeln (punkt 14). Det fjärde mätbandet användes inte mer efter detta. Se Figur 19 för hur det såg ut i fält.



Figur 19 Mätbandsdragning för triangeluppställning i Tornhill motsvarande Figur 18 ovan. Sedd från punkt 16.



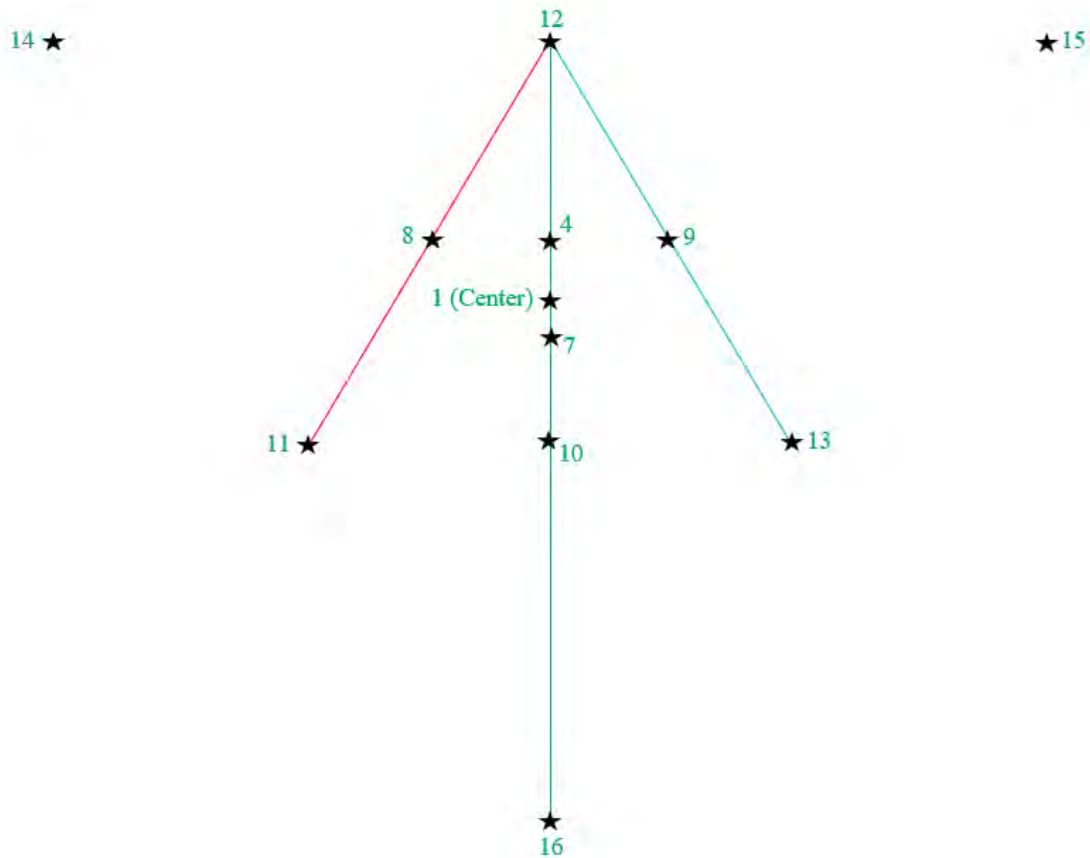
Figur 20 Det andra steget i triangeluppställningen; utplacering av punkter längs mittlinjen samt på mitten av sidomätbanden.

Mätbandet tvärs igenom triangeln fick ligga kvar under hela utsättningen och vid 17,32 m, 21,65 m och 25,98 m vid detta placerades tre geofoner (namngivna 4, 7 och 10 i Figur 20 ovan).

På de utdragna mätband som utgjorde sidorna av triangeln mättes mittpunkten ut, alltså vid 20 meter (se Figur 21). Där placerades en mätmarkör, vid båda mätbanden. Dessa punkter (punkt 11 och 13), tillsammans med punkt 12, skapade hörnpunkterna för den näst största triangeln (med en sidlängd på 20 meter).

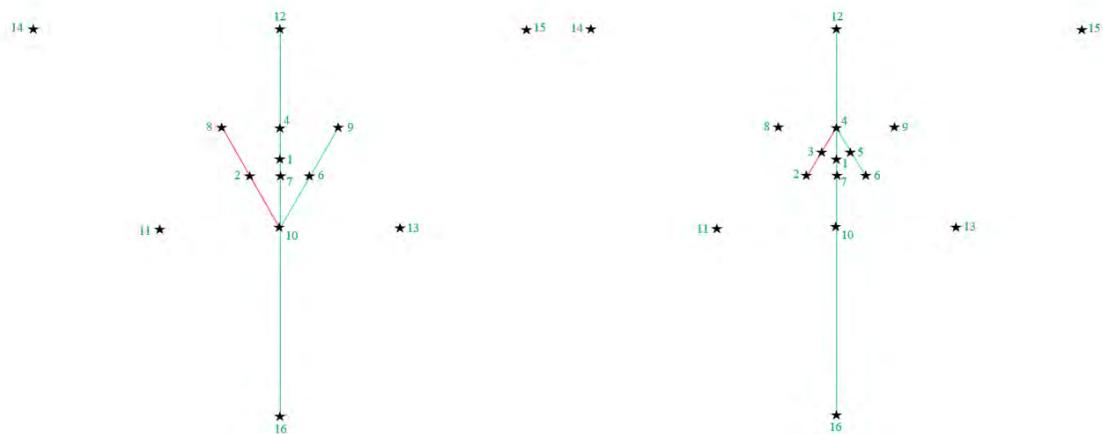


Figur 21 Mätmarkör i metall vid mittpunkten av den längsta sidlängden, motsvarande punkt 11 eller 13 i Figur 20 ovan för triangeluppställning i Tornhill.



Figur 22 Det tredje steget innebar utplacering av punkt 8 och 9 på mitten av sidomätbanden.

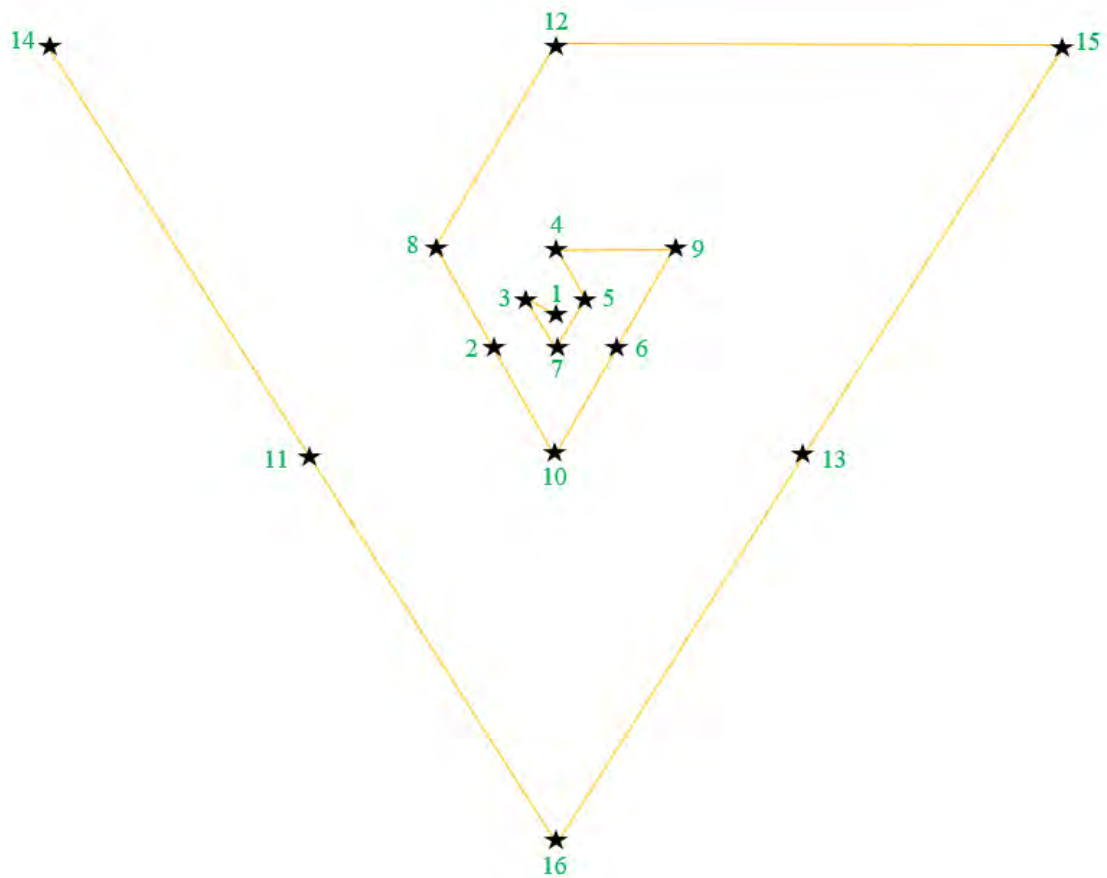
Mellan dessa nya hörnpunkter drogs mätband (mellan punkt 11 och 12 respektive punkt 12 och 13) och vid mitten av dessa (vid 10 meter) sattes nya mätmarkörer ut. Dessa punkter är markerade som 8 och 9 i Figur 22 ovan.



Figur 23 De sista två stegen är en upprepning av det tredje steget, men för de inre trianglarna. Här placerades punkt 2 och 6 (till vänster) respektive punkt 3 och 5 (till höger).

Proceduren upprepades så att geofoner sattes ut vid 5 meter och 2,5 meter längs sidorna i de mindre trianglarna. Dessa punkter kan ses i Figur 23 ovan som 2 och 6 samt 3 och 5. Eftersom några geofoner redan var utsatta längs triangelns mittlinje var det lätt att kontrollera om avstånden stämde. Tidigt märktes det dock att triangeln var något skev då sidlängderna inte kunde sättas ut med tillräcklig noggrannhet.

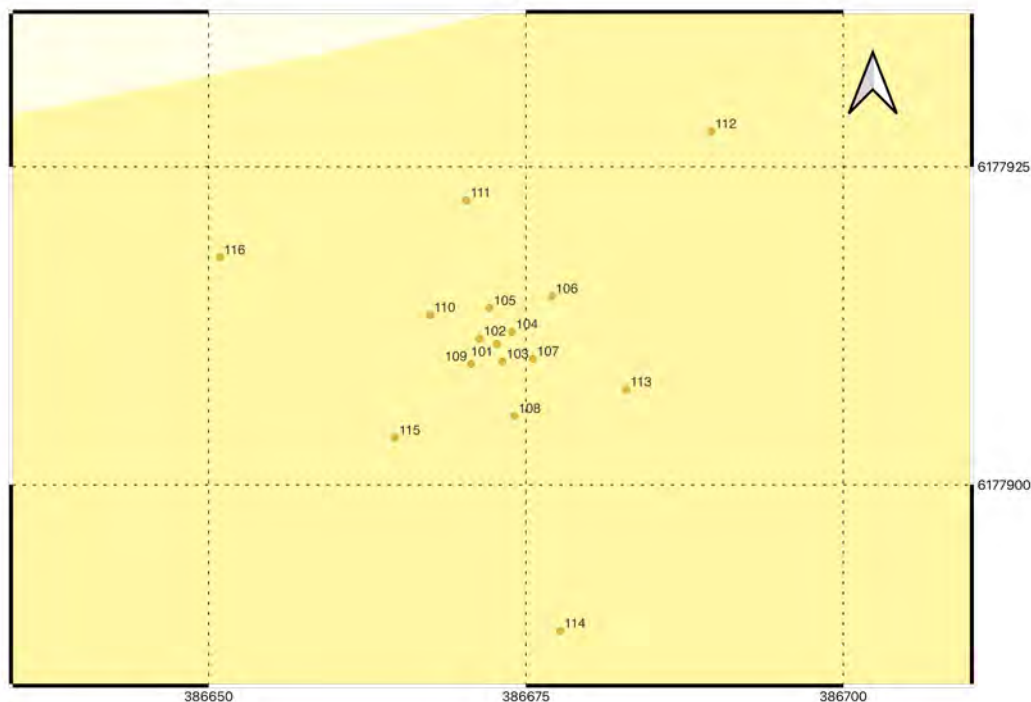
När alla mätmarkörer var utplacerade byttes dessa ut mot geofoner och mätbanden rullades ihop. Mätmarkörerna var stundtals svåra att hitta i vegetationen. Därefter drogs kabeln på ett förbestämt effektivt sätt till samtliga geofoner enligt Figur 24 nedan.



Figur 24 Kabeldragning för triangeluppställning. Samma dragning användes i både Tornhill och Grevie. Stjärnorna symboliserar geofonernas placering och den gula linjen motsvarar kabeldragningen, med start vid geofon 1.

Detta tog längre tid än önskvärt, på grund av att kabeln trasslade sig, då den inte rullades ihop efter första mätningen utan lämnades på marken där den lätt fastnade i vegetationen. Åtta mätningar genomfördes, se redogörelse i Tabell 1 i avsnittet 3.1.1 Samplingsintervall och mättid.

Avslutningsvis mättes geofonernas koordinater i triangeluppställningen in med GNSS (Figur 25) och utrustningen plockades ned som vanligt, med undantag för att geofonerna lämnades inkopplade till klämmorna. Detta på grund av att det hade börjat regna och uppgiften att ta isär dessa likagärna kunde utföras inomhus efter fältarbetet.



Figur 25 Inmätta koordinater för geofonstationerna i triangelpställningen i Tornhill (Bakgrundsbild © Lantmäteriet).

5.4 Grevie – Stor och liten cirkel

5.4.1 Förutsättningar och observationer

I Grevie utfördes fältarbete den 18:e oktober 2022 av Anna Snellman och Simon Rejkjær, doktorand vid avdelningen för Teknisk geologi vid LTH. Det var blåsigt och muligt och ljud kunde stundtals höras från en större väg.

Det hade regnat natten innan och marken var därmed blöt och fuktig, särskilt på de ställen där marken var mer uppluckrad av jordbruksmaskiner och växande grödor. Uppställningen korsade två olika fält med varierande grödor och därmed varierande fasthet i jorden. Vissa delar av jorden vid uppställningsplatsen var mer kompakt på grund av att maskiner hade kört där tidigare, och där var marken även bar. Hur lätt det var att trycka ned geofonerna i marken varierade därför med placeringen.

5.4.2 Materiel

Till fältarbetet den 18:e oktober användes materiel listat i det tidigare avsnittet 5.1. Generell information om fältarbetet, dock användes inga mätmarkörer denna gång. Antalet geofoner och klämmor var 79.



Figur 26 GNSS-mottagare i Grevie, monterad på stång med handdator.

5.4.3 Uppställning av geofoner samt mätningar

Själva fältarbetet skedde på liknande sätt som i Tornhill, men denna gång mättes punkterna för cirklarna inte ut med mätband utan med GNSS och förberäknade koordinater (se avsnitt 3.2 Beräkning av stationskoordinater i Matlab).

Två GNSS-mottagare användes parallellt för att sätta ut 78 geofoner i varsin riktning i den stora cirkeln med en radie på 15 m, samt mittpunkten (Figur 26). Även denna gång användes två kablar i vardera riktningen längs cirkelperiferin och geofonerna kopplades in med klämmor (Figur 27).

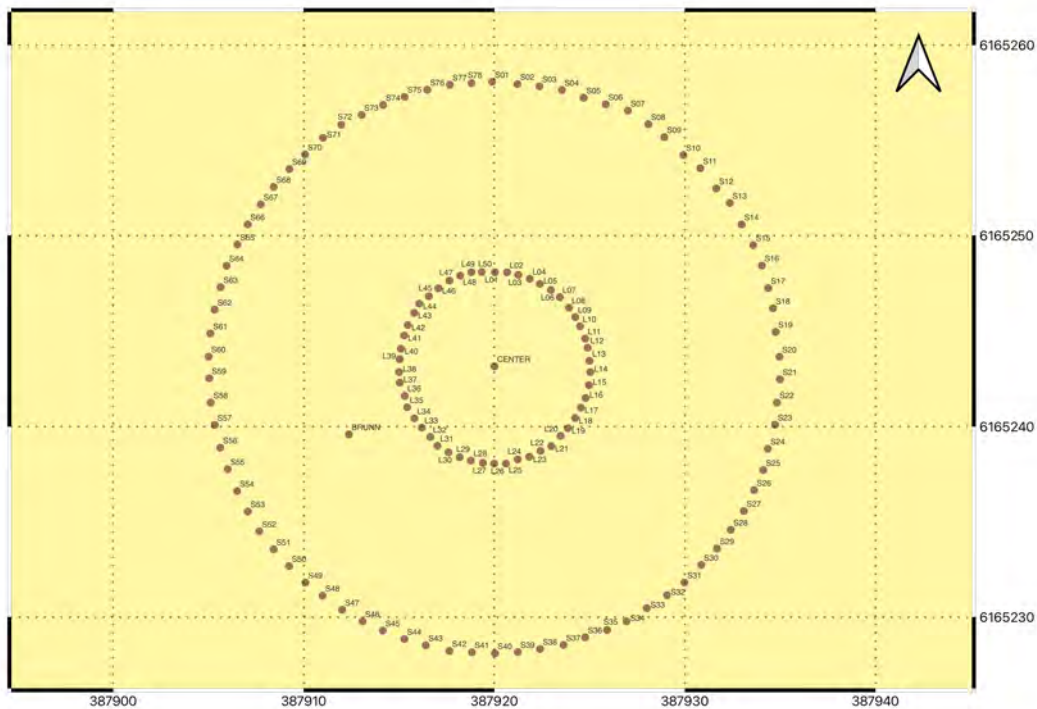


Figur 27 Cirkeluppställning i Grevie. Geofonerna är kopplade till kabeln med klämmor.

När mätningarna (med samplingsintervall och mättid enligt Tabell 1 i avsnittet 3.1.1 Samplingsintervall och mättid) var klara mättes geofonernas koordinater in med GNSS för att kunna jämföra med de önskade koordinaterna.

Geofonerna lossades sedan ur marken och drogs in mot centrum för att skapa en mindre cirkel med en radie på 5 m. Till detta användes 50 av de 78 geofonerna (utöver mittgeofonen) och de som blev över kopplades bort och packades ner. De 50 geofonerna satt därför fortfarande fast på kabeln och behövde enbart tryckas ner i marken på de nya stationerna.

Samma samplingsintervall och mättider upprepades för den inre cirkeln (se Tabell 1 i avsnittet 3.1.1 Samplingsintervall och mättid) och därefter mättes även koordinaterna för den inre cirkeln geofoner in. En brunn var belägen mellan de två cirkelarna och även dess koordinater mättes in (Figur 28).



Figur 28 Inmätta koordinater för geofonstationerna i stor och liten cirkel, samt mittpunkt och brunn, i Greve (Bakgrundsbild © Lantmäteriet).

5.5 Greve – Triangel

5.5.1 Förutsättningar och observationer

Det tredje fältarbetet i Greve utfördes av Anna Snellman och Alfredo Mendoza, universitetslektor vid avdelningen för Teknisk geologi vid LTH. Fältarbetet utfördes den 21:e oktober 2022. Vädret var relativt vindstilla men molnigt och disigt. Marken var täckt av dagg men inte särskilt fuktig i övrigt, jämfört med tidigare fältarbete på platsen med cirkeluppställningar. Det var påtagligt tyst på fältundersökningslokalen.

5.5.2 Materiel

Till fältarbetet den 21:e oktober användes det materiel som har listats i det tidigare avsnittet 5.1 Generell information om fältarbetet, dock inga mätmarkörer. Antalet geofoner och klämmor som behövdes var 16, och endast en spole kabel.

5.5.3 Uppställning av geofoner samt mätningar

Till detta fältarbete krävdes inte så mycket utrustning och därför gick det lättare att packa, lasta in och ur samt bära än vid tidigare fältarbete. Även denna gång användes GNSS för att sätta ut koordinaterna för geofonerna, men denna gång testades en triangeluppställning istället för cirkel. Samma mittpunkt som för cirkelarna användes och koordinaterna var förprogrammerade (se avsnitt 3.2 Beräkning av stationskoordinater i Matlab).



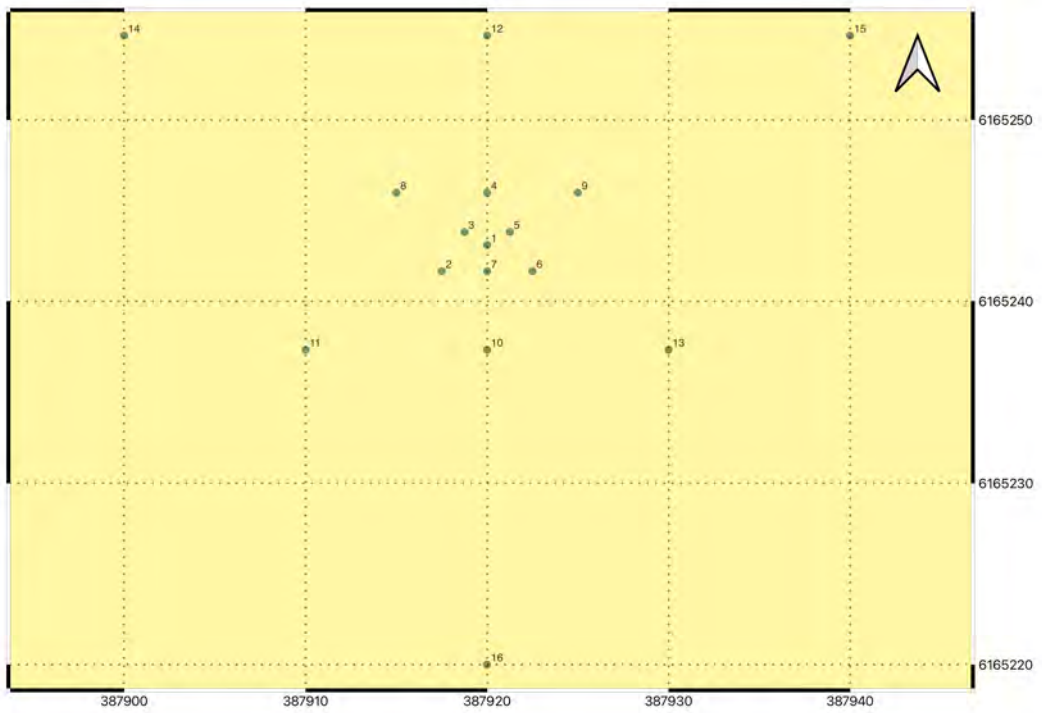
Figur 29 Geofon (här i gult), kopplad till kabeln med hjälp av en klämma, i vegetationen i Grevie.

16 geofoner sattes ut (se Figur 29) och därefter drogs kabeln utifrån en förberedd plan för att på ett effektivt sätt nå alla geofoner (se Figur 30), som tidigare beskrivits i Figur 24 i 5.3.3 Uppställning av geofoner samt mätningar. Numreringen för geofonernas namn vad gäller koordinater skiljde sig därför från den ordning som de kopplades in i. Åtta mätningar genomfördes därefter, se sammanfattning i Tabell 1 i avsnittet 3.1.1 Samplingsintervall och mättid.



Figur 30 De innersta triangelarna i fält, med geofoner kopplade till kabeln med klämmor. Kabeln drogs i en viss ordning för att på ett så effektivt sätt som möjligt nå alla geofoner.

Koordinaterna för geofonerna mättes in med GNSS (se Figur 31) och därefter skedde avetablering. Brunnen, som var belägen inuti triangeluppställningen, mättes in även denna gång.



Figur 31 Inmätta koordinater för geofonstationerna i triangeln i Greve (Bakgrundsbild © Lantmäteriet).

6 Utvärderingsmetodik

I detta avsnitt kommer teorin bakom datahanteringen att presenteras kort, samt problematiken kring rumsliga avvikelser. Därefter följer en steg-för-steg-beskrivning av hur arbetsprocessen i programmet Geogiga Seismic Pro har gått till för att processa alla seismiska data. Till sist presenteras ett antal antaganden som datahanteringen grundar sig på.

6.1 Datahantering

För att hantera data som samlats in från fältundersökningarna finns det flera metoder; exempelvis kan man analysera med avseende på frekvens och våglängd. I detta examensarbete har metoden ESPAC använts, vilket är en vidareutveckling av SPAC (som står för *Spatially Averaged Coherency Method*). Båda är vanliga metoder inom den passiva seismiken (Setiawan et al., 2016).

SPAC (och vidareutvecklingen ESPAC) är metoder för att hantera data från mätningar med passiv ytvågsseismik. Metoderna är framtagna för att användas vid mätningar med passiva källor eftersom de är oberoende av från vilken azimut som ljudkällan eller ljudkällorna kommer, vilket med andra metoder kan vara ett stort hinder. I vissa mätsituationer kanske en passiv källa i en viss azimut dominerar, men i det allmänna fallet förekommer flera källor med olika azimut (Aki, 1957; Asten, 2006, Wu et al., 2019).

I korthet går alltså metoden ut på att använda ytvågors (Rayleighvågors) vertikalkomponent som samtidigt observeras i en mätuppställning (*array*) med minst fyra stationer, i praktiken fler (Foti et al., 2018). För SPAC ska stationerna finnas på en cirkelperiferi, medan ESPAC kan använda godtyckliga konfigurationer. Syftet med mätningarna är att efter databehandling kunna framställa en dispersionskurva, där fashastighetens variation med frekvensen kan beskrivas.

I SPAC används Besselfunktioner och Fouriertransformer för att beräkna koherensen mellan de olika geofonparen i uppställningen (Setiawan et al., 2016), men detta kommer inte att vidare beskrivas närmare inom avgränsningen för detta examensarbete, utan läsaren hänvisas till en överskådlig och välformulerad beskrivning av processen, se Estrella och González (Estrella och González, 2003).

Ur SPAC har metoden ESPAC utvecklats; en förkortning för *Extended SPAC* (Asten, 2006). ESPAC är alltså en vidareutveckling av SPAC. Fördelen med ESPAC är att uppställningsgeometrierna kan vara friare vid ESPAC än SPAC, exempelvis en helt randomiserad uppställning av geofoner (Wu et al., 2019).

Utvärderingsprogrammet som har använts i detta examensarbete är *Geogiga Seismic Pro 9.3 Surface Plus*, men det finns även andra program, exempelvis *Geopsy* (Setiawan et al. 2016). Resultatet av datahanteringen är, förutom rena seismiska data i tidsdomän, ett

frekvens-fashastighetsspektrum och en dispersionskurva, ett diagram över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet.

Dispersionskruvan används för att formulera en startmodell av skjuvvågshastigheten mot djupet, och en inversionsprocess, som är identisk med den som används i aktiv ytvågsseismik (exempelvis MASW, som står för *Multichannel Analysis of Surface Waves*), producerar en slutmodell. Inversionsprocessen bygger på antagandet att marken byggs upp av ett antal homogena lager med olika mäktighet. En dispersionskurva för denna (antagna) markmodell beräknas, och resultatet jämförs med mätdata. Om (när) de inte stämmer överens, justeras den antagna markmodellen enligt en på förhand bestämd strategi, och en ny beräknad dispersionskurva tas fram. Processen upprepas tills passningen mellan den beräknade modellen och mätdata är tillräckligt god (Foti et al., 2015).

6.1.1 Ekvivalensproblemet

Vid inversion av data bör man vara medveten om det så kallade inversa problemet eller ekvivalensproblemet. I korta drag rör detta problematiken kring det som observeras, exempelvis ytvågor, och vad resultatet ska beskriva, i detta fall lagerföljden och skjuvvågshastigheten i marken.

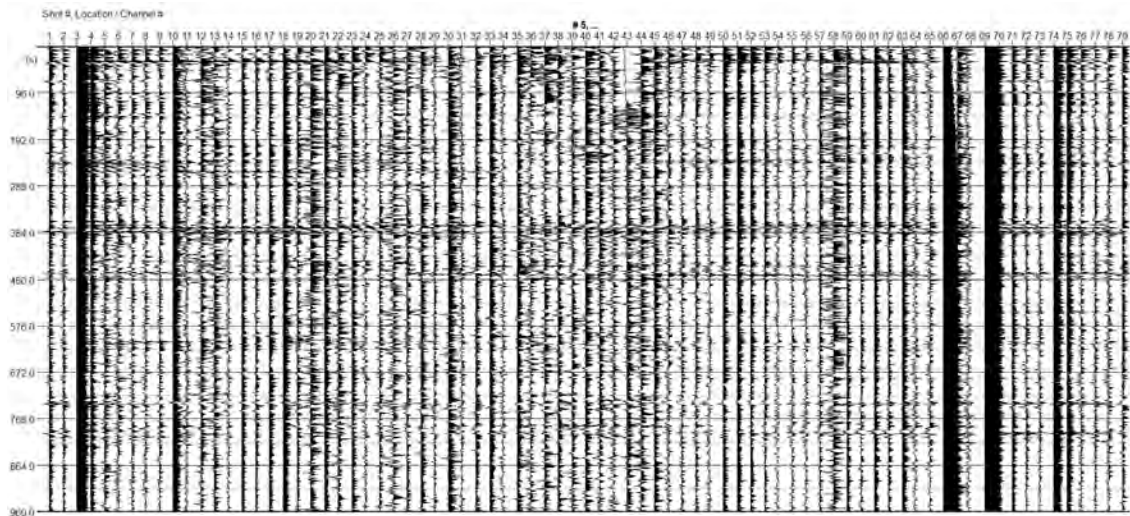
Den insamlade seismiska data som ligger till grund för den inversa modelleringen kan ge upphov till ett oändligt antal modeller, eftersom flertalet parametrar är involverade. Ofta önskas, trots det, en unik modell som det går att förlita sig på (Keilis-Borok och Yanovskaja, 1967), vilket i princip inte är möjligt att uppnå. Ekvivalensproblemet kommer inte att diskuteras vidare i examensarbetet, utan nämns här för att uppmärksamma en inom geofysiken vanlig företeelse och för att betona det faktum att det inte går att anta att resultaten visar den absoluta sanningen.

6.1.2 Vikningseffekter och artefakter

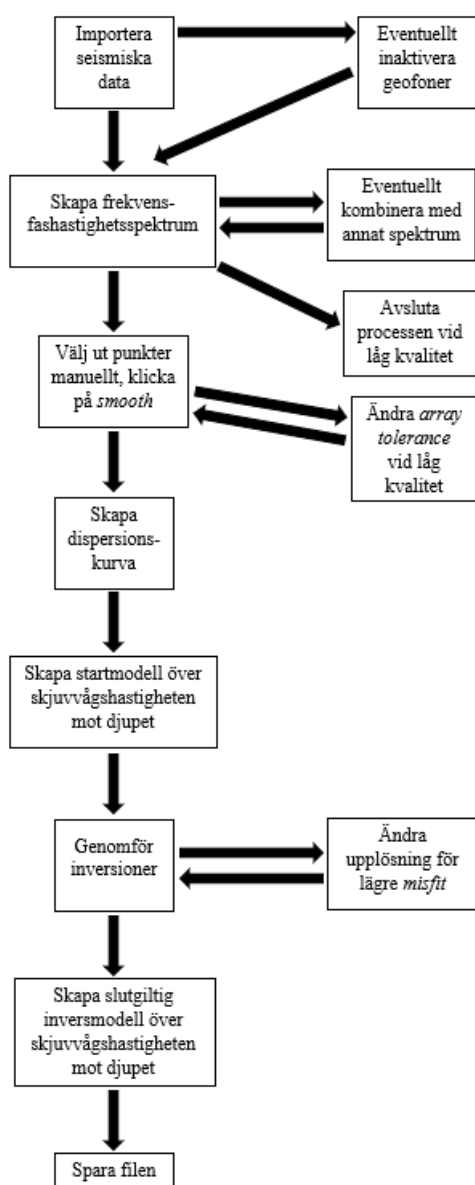
I de beräknade frekvens-fashastighetsspektrumen kan det förekomma oönskade komponenter, vilket kan bero på rumslig vikning, *spatial aliasing*. Detta är en effekt av (spatial) undersampling: av att vissa våglängder inte kan fångas upp av geometrin för uppställningen, för att avstånden är för långa mellan geofonerna, och feltolkas. På samma sätt kan ett för kort samplingsintervall (för låg samplingsfrekvens) ge upphov till temporal vikning, vilket har konsekvenser för frekvensspektra.

Bägge dessa effekter och andra, relaterade till numeriska beräkningar med mera, kan ge upphov till artefakter i frekvens-fashastighetsspektrumen som visuellt kan vara mycket framträdande men som inte innehåller någon användbar information. Jämför till exempel med frekvens-fashastighetsspektrumen i 7.1.2 Tornhill – Liten cirkel nedan, där de enda signifikanta peakvärdena i frekvens-fashastighetsspektrumen troligen kommer från olika vikningseffekter, medan några ”verkliga” peakvärden i frekvens-fashastighetskurvan, som sedan kan användas för att skapa dispersionskurvor, är mycket svåra att se.

6.2 Arbetsprocessen i Geogiga Seismic Pro



Figur 32 Exempel på hur seismiska rådata i tidsdomän från mätningarna visas i datahanteringsprogrammet. Den horisontella axeln visar stationsnummer (här 1–79) och den vertikala visar mättiden, här 960 sekunder (se avsnitt 3.1.1 Samplingsintervall och mättid). Vid varje station redovisas ett spår (trace) som är den signal geofonen där har registrerat. Sammanhängande horisontella strukturer, som vid 384 sekunder, visar att en starkare signal ankommit till (alla) geofonerna. Skillnader i ankomsttid för en viss signalkomponent, på mikro- eller millisekundnivå, kan sedan användas för att bland annat avgöra riktningen till källan.



Figur 33 Flödesschema för den genomförda datahanteringen.

amplituder och utan ett längre sammanhållet mönster av peakvärden.

Punkterna som väljs ut manuellt har jämnats ut med funktionen *smooth* i programmet. De manuellt valda punkterna görs då om till en mer sammanhållen linje med mjukare kurvor (se Figur 36).

Försök med att ändra en parameter i beräkningen kallad *array tolerance* har också genomförts. Denna mäts i procent och har standardinställningen 3% med maxvärdet är 20%. I cirkeluppställningarna är ambitionen att alla geofonstationer ska placeras med samma avstånd från mittpunkten, men i fält kan geofoner behöva placeras närmre eller längre bort från mittpunkten. Programmet kan därför tillåtas inkludera vissa

För att hantera och analysera mätdata från fältundersökningarna har programmet Geogiga Seismic Pro 9.3 Surface Plus använts.

Ett översiktligt flödesschema av de olika stegen i processen kan ses i Figur 33. En fil i taget med seismiska data har importerats liksom dess tillhörande koordinater (se Figur 32 och Figur 35).

Därefter har ett frekvens-fashastighetsspektrum skapats, med en maximal hastighet på 800–1200 m/s (beroende på var peakvärdena i spektrumet syns) och en maximal frekvens på 25 Hz, Figur 36.

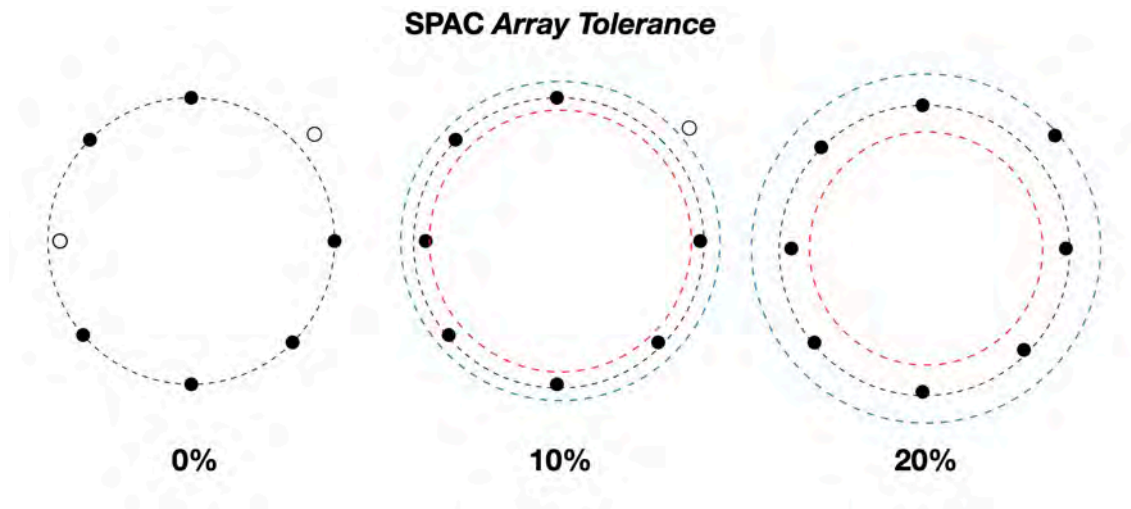
I frekvens-fashastighetsspektrumet (fv-spektrum) väljs sammanhängande delar (peakvärden) ut manuellt för att skapa en dispersionskurva, dock ej för lägre frekvenser än 4,5 Hz då detta är resonansfrekvensen för geofonerna, se Figur 36. Här används utvalda sammanhängande delar av fv-spektrumet med högre amplitud (i Figur 36 i röd/gul färg).

Dessa svarar mot den så kallade grundmoden (*fundamental mode*) M0 i spektrumet. I vissa fall, speciellt i aktiva mätningar, kan högre moder observeras och dessa kan ibland delvis sammanfalla med grundmoden. I de här redovisade mätningarna har dock endast grundmoden observerats. (*pers. komm.* Peter Jonsson, 2023-01-03).¹

I enstaka fall har det skapade fv-spektrumet bedömts vara av för låg kvalitet för att kunna användas, se exempelvis Figur 50 i avsnittet 7.1.3 Tornhill – Triangel. Med låg kvalitet menas här ett fv-spektrum med lägre

¹ Jonsson, Peter. Universitetsadjunkt, Avdelningen för Teknisk geologi LTH. 2023-01-03

geofonstationer även om deras radie avviker för mycket från den nominella, och det tillåtna intervallet kan justeras genom att ändra *array tolerance*, se Figur 34 nedan.



Figur 34 Illustration av olika array tolerance för cirkeluppställningar. De svarta punkterna symboliserar geofoner som inkluderas i uppställningen i datahanteringen, medan de vita punkterna är geofonstationer som ignoreras vid olika inställningar. Med ökad array tolerance inkluderas även dessa.

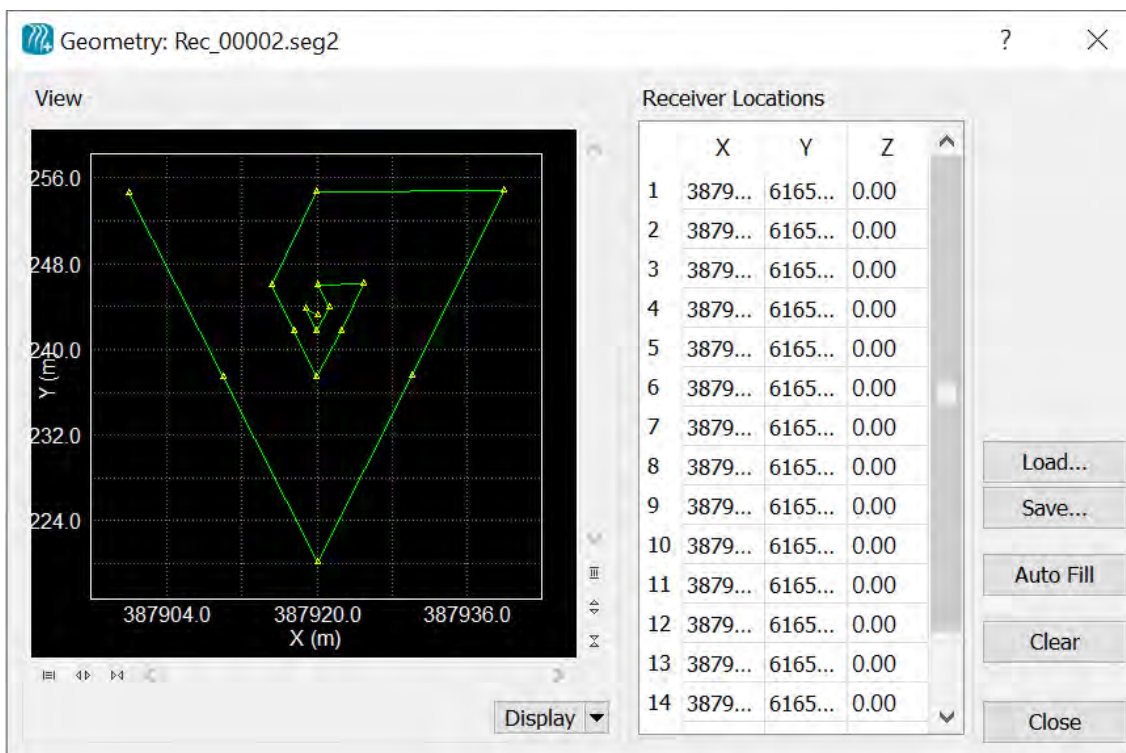
Detta innebär att processering sker med SPAC (istället för ESPAC), eftersom det rör sig om cirkeluppställningar (se avsnitt 6.1 Datahantering ovan om skillnader mellan SPAC och ESPAC) (*pers. komm. Geogiga Technology Corp. Vera Li, 2023-01-04*).²

Den kortaste samt längsta våglängden som har kunnat detekteras som peakvärden i fv-spektrumen har även beräknats med hjälp av våghastighet och frekvens enligt

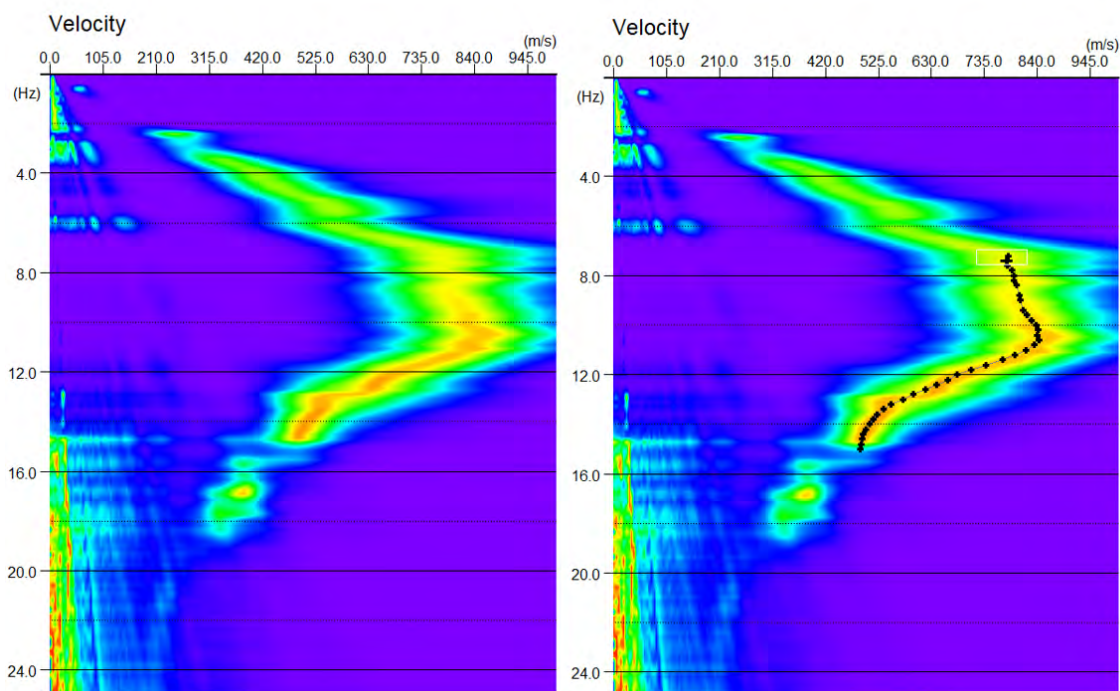
$$\lambda = \frac{v}{f}$$

Detta har skett genom att manuellt läsa av frekvenser och våghastigheter i fv-spektrumen och därefter dividera för att erhålla våglängden. Därmed är resultatet en överslagsräkning.

² Geogiga Technology Corp, Li, Vera. 2023. E-mail 4 januari.



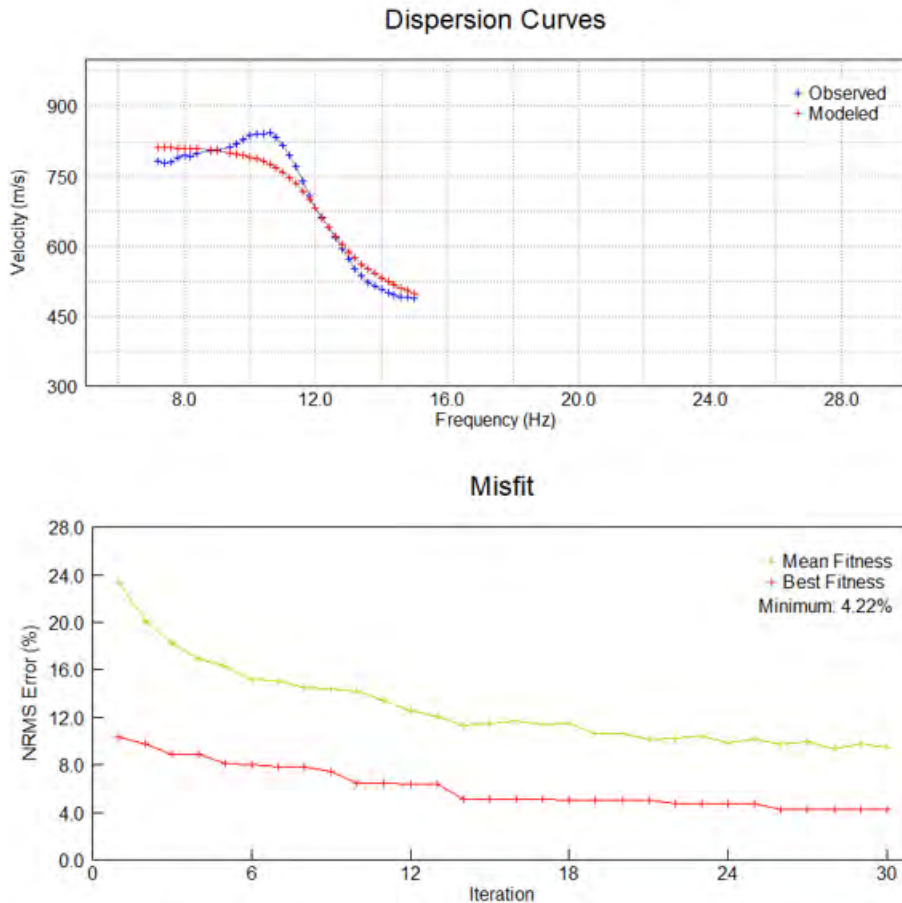
Figur 35 Exempel på hur koordinater har kombinerats med de geofoner som de motsvarar i programmet, här i en triangeluppställning.



Figur 36 Exempel på ett fv-spektrum till vänster och en dispersionskurva (svart) med manuellt utvalda punkter till höger. Inga punkter har valts för frekvenser lägre än 4,5 Hz då det är geofonens resonansfrekvens. På y-axeln visas frekvensen i Hz.

En startmodell av skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet skapas sedan utifrån dispersionskurvan och därefter börjar en inversionsprocess för att förfina modellen. I detta steg har det varit möjligt att antingen utgå från programmets standardvärden för

exempelvis densiteten och tvärkontraktionstalet hos olika jordlager. För mätningar utförda på Tornhill har densiteten 2,3 t/m³ använts för jordlager på djupet 7 till 11 meter, och vid större djup än så har 2,42 t/m³ använts. För alla djup i Tornhill har tvärkontraktionstalet satts till 0,25. Dessa värden kommer, som nämnts ovan i 4.1.3 Data från tidigare markundersökningar, från tidigare studier i området. Då inga värden för varken densitet eller tvärkontraktionstal har hittats i litteraturen för Grevie har standardvärden från programmet använts. Standardvärdena är i detta fall 2,0 t/m³ för densiteten och 0,35 för tvärkontraktionstalet.



Figur 37 Ovan: Exempel på den modellerade dispersionskurvan i blått och modellen från inversionen i rött. Nedan: NRMS Error som funktion av antalet iterationer i inversionsprocessen. Lägsta misfit läses av i övre högra hörnet, här 4,22 %.

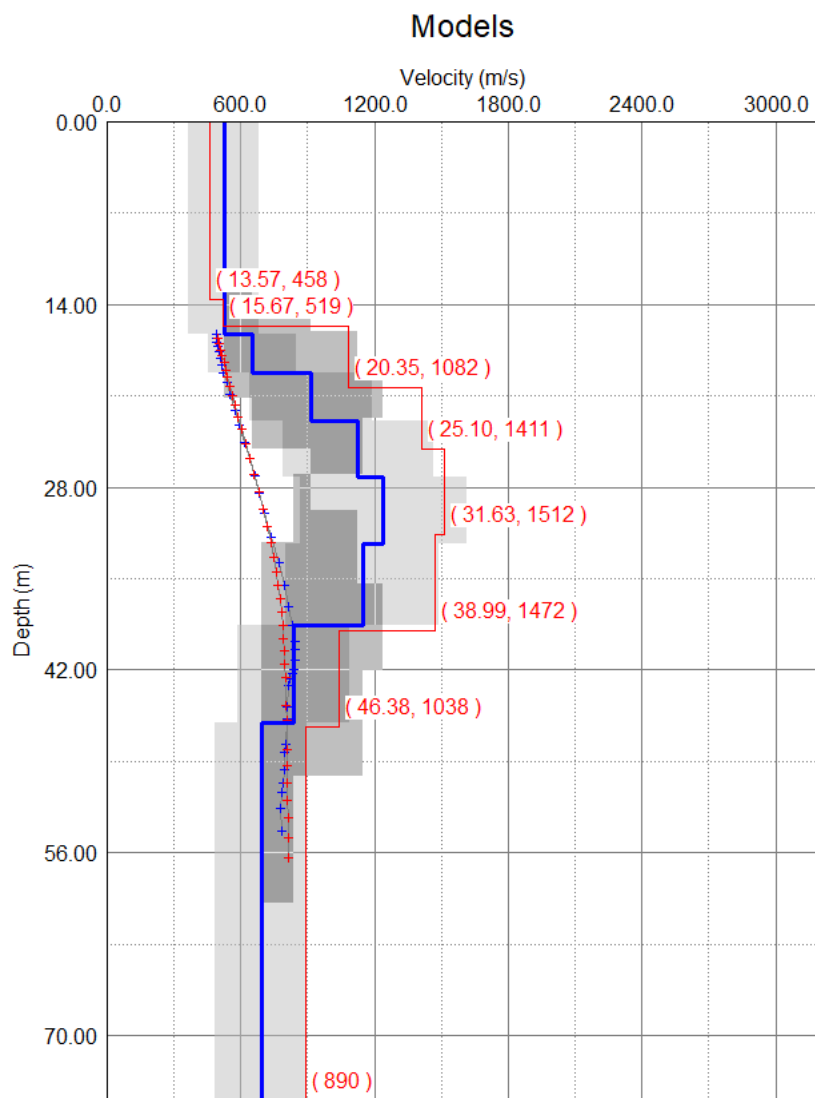
Därefter har inversioner genomförts i programmet med olika upplösning för hastighet och djup. Den inversion som erhållit med lägst *misfit* (se nedan) har valts ut för vidare analys. Begreppet *misfit* (modell Anpassning) används för att jämföra hur stor skillnad det är mellan startmodellen och modellen som skapats av inversionen, se ovan i Figur 37.

Misfit M är ett mått på hur väl den slutliga inversionsmodellen passar de uppmätta värdena, och definieras som

$$M = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{oi} - x_{ci})^2}{\sum_{i=1}^n x_{oi}^2}}$$

Där x_{oi} är observerat värde i , x_{ci} är modellerat värde i och n antal lager i modellen (*pers. komm.* Geogiga Technology Corp. Vera Li, 2023-01-04).³

Upplösningen för hastighet har varierat mellan 2,0 m/s och 8,0 m/s medan upplösningen för djup har varierat mellan 0,1 och 0,4 m. I programmet benämns detta som *resolution*, därav upplösning på svenska, men en tolkning skulle kunna vara att det rör sig om modellosäkerhet. Högst 30 iterationer (enligt en standardinställning i programmet) har skett för varje inversionsmodell (se Figur 37). Varje inversion tar mindre än en minut att genomföra. Resultatet (inversionsmodellen) visas sedan tillsammans med startmodellen i en graf över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet (se Figur 38).



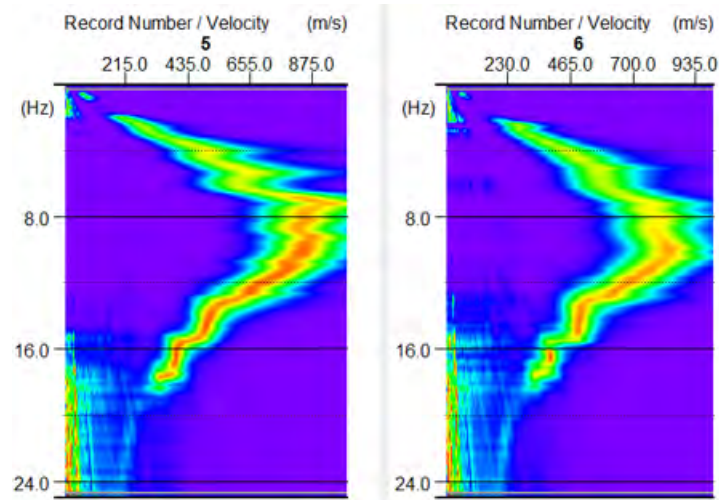
Figur 38 Exempel på startmodellen (i blå heldragen linje) av skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet tillsammans med modellen från inversionen (i röd heldragen linje). De mörkgrå fälten visar upplösningen för djupet och de ljusgrå fälten visar upplösningen för skjuvvågshastigheten. De kryssade blå och röda linjerna står för Depth-Velocity curve, där den blå är den observerade och den röda den av modellen skapade kurvan.

³ Geogiga Technology Corp, Li, Vera. 2023. E-mail 4 januari

6.2.1 Kombination av fv-spektrum

Mätningar som utförts på samma plats med samma uppställning, samplingsintervall och mättid, kan kombineras två och två. Detta har genomförts genom att först skapa ett fv-spektrum av den ena mätningen med rätt koordinater valda. Denna fil har sedan sparats. När man sedan på samma sätt hanterar den andra av de två mätningarna kan man, efter det att fv-spektrumet har skapats, kombinera de båda fv-spektrumen.

Först kan man se de två fv-spektrumen bredvid varandra (se Figur 39), och därefter kombinera dessa så att ett nytt fv-spektrum skapas. I senare steg i datahanteringen, när man ska skapa sin dispersionskurva, använder man därför det kombinerade fv-spektrumet.



Figur 39 Exempel på hur två olika fv-spektrum, från samma uppställning och med samma samplingsintervall och mättid, visas bredvid varandra i programmet innan de kombineras. Y-axlarna visar frekvens i Hz.

6.2.2 Inaktivering av geofoner

I programmet Geogiga Seismic Pro 9.3 Surface Plus går det att, i samma steg som man väljer koordinater, att utesluta enskilda geofoner i mätningarna genom att markera dem som *invalid*, vilket innebär att de inaktiveras i mätningen och därmed inte längre ingår i datamängden som ska bearbetas.

På så sätt går det att skapa fv-spektrum med färre stationer än i den ursprungliga uppställningen. Detta har genomförts för både cirkel- och triangeluppställningar från båda fältundersökningslokalerna för att simulera uppställningar med olika antal geofonstationer, men bara på ett urval av mätningarna, där i så fall två mätningar med hög respektive låg *misfit* har valts.

När geofonerna har inaktiverats för cirkeluppställningarna har först hälften inaktiverats, därefter två tredjedelar och till sist tre fjärdedelar. Stationerna har fördelats jämt utspridda i mätuppställningen, således är avståndet mellan de kvarvarande geofonerna i cirklarna inbördes lika stora för varje mätning som analyseras.

För triangelarna har först de tre geofonerna i den yttersta triangeln inaktiverats, därefter även den näst yttersta och slutligen även den mittersta (av fem trianglar). I både cirkel- och triangeluppställningarna har även mittgeofonen inaktiverats, men då med alla övriga geofoner aktiva.

6.2.3 Antaganden

Några antaganden har gjorts för att förenkla datahanteringen. När det gäller lagerföljden antas den vara vertikal och med homogena lager (trots att det i verkligheten skulle kunna finnas exempelvis sandlinser och stenblock).

I Tornhill antas det att de bakgrundsdata som insamlats i trädpartiet även är applicerbara i detta examensarbete, då det ligger nära mittpunkten för undersökningarna. I Grevie är brunnen med brunnsprotokoll placerad ett fåtal meter från mittpunkten för mätningarna och det antas därför att lagerföljden från denna gäller för mätningarna i Grevie.

Ytterligare ett antagande är att endast grundmoden M0 förekommer, då den består av låga frekvenser, som beskrivits ovan i avsnittet 2.3.2 Passiva vågkällor. Det antas även att lagerföljden är av en sådan karaktär att skjuvvågshastigheten inte bör minska med djupet, då lagren bör bli mer kompakta med djupet, vilket innebär en ökad skjuvvågshastighet.

7 Resultat

Nedan följer en redogörelse för ett urval av de resultat som fältarbetet och datahanteringen har genererat. Samtliga fv-spektrum och modeller för skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet, med mera, finns i Bilaga A. De figurer som visas i detta kapitel har valts ut för att visa på utvalda aspekter som sedan diskuteras i senare kapitel. Först behandlas de individuella mätningarna och sedan kombinationerna av mätningar. Därefter redogörs det för inaktiveringen av geofoner i cirkel- och triangelpställning samt inaktivering av mittpunkt.

I de inversa modellerna är skjuvvågshastigheten konstant från 0 meter ner till det djup där ett första värde anges i röd text, exempelvis vid 13 meter, där skjuvvågshastigheten sedan börjar variera med de olika lagren i modellen. Detta kommer ofta att benämnas som startdjup. På samma sätt finns det ett sista värde som anges av modellen vid ett större djup. Efter detta är skjuvvågshastigheten konstant.

Skjuvvågshastigheten ovan startdjupet kommer inte att användas eller tolkas, då det bedöms ligga för grunt för att kunna detekteras av mätupställningen och med de signaler som är tillgängliga, då höga frekvenser krävs för att karaktärisera de allra översta metrarna av lagerföljden, medan den passiva ytvågsseismiken huvudsakligen innehåller låga frekvenser.

På samma sätt kan naturligtvis inte oändliga djup hanteras, och det får därför antas att den i slutet konstanta skjuvvågshastigheten inte nödvändigtvis gäller för hela det djup som finns med i modellen rent grafiskt.

7.1 Individuella mätningar

Nedan följer resultaten från de individuella mätningarna för cirkel- och triangelpställningarna i Tornhill respektive Grevie. En överslagsräkning för den kortaste respektive längsta våglängden som genererat ett peakvärde i fv-spektrumen har genomförts (dock ej för frekvenser högre än 4,5 Hz ty detta är geofonernas resonansfrekvens) och sammanfattas i Tabell 4 nedan. För den mindre cirkelpställningen samt triangeln i Tornhill var resultaten av för låg kvalitet för att kunna beräkna den kortaste och längsta uppmätta våglängden.

7.1.1 Tornhill – Stor cirkel

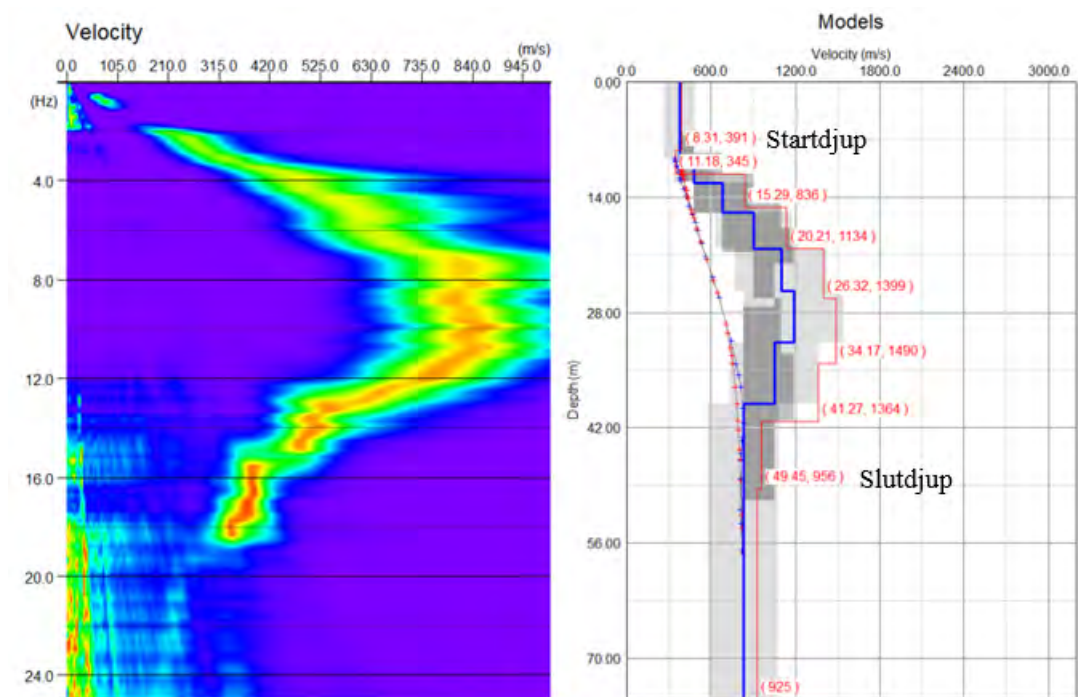
För den stora cirkelpställningen i Tornhill utfördes mätningar med och utan mittgeofon inkopplad, se 5.2.3 Uppställning av geofoner samt mätningar.

Nedan visas först resultatet från två mätningar utan mittgeofon och därefter med mittgeofon. Dessa mätningar hade ett samplingsintervall på 4 ms och 480 000 ms mättid respektive 8 ms samplingsintervall och 960 000 ms mättid. Båda innehåller alltså lika många sampel (120 000).

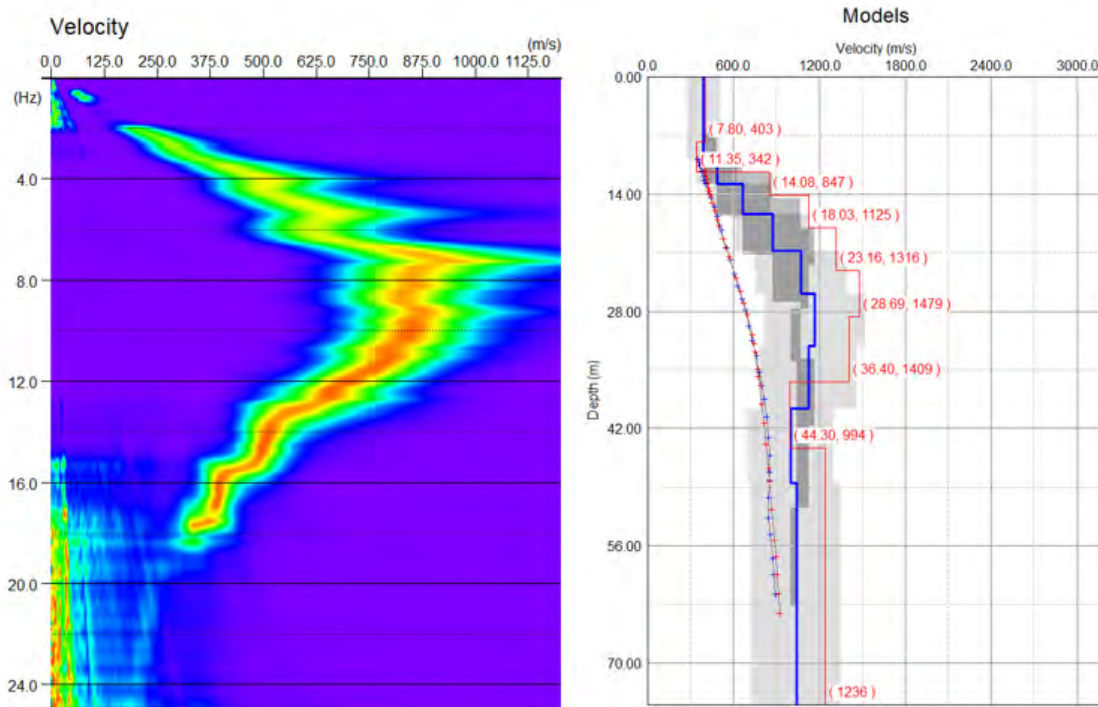
Tabell 4 Överslagsräkning av den kortaste våglängden för peakvärdena i fv-spektrumet för cirkel- och triangeluppställningarna i Tornhill och Grevie.

MÄTUPPSTÄLLNING	KORTASTE UPPMÄTTA VÅGLÄNGD [m]	LÄNGSTA UPPMÄTTA VÅGLÄNGD [m]
Tornhill		
Stor cirkel – Passive Circle	19	114
Stor cirkel – Circle and Center	33	114
Liten cirkel	-	-
Triangel	-	-
Grevie		
Stor cirkel	28	60
Liten cirkel	15	30
Triangel	25	80

I Figur 40 och Figur 41 visas två mätningar utan mittgeofon. Båda modellerna från inversionen visar på en minskande skjuvvågshastighet för lager på större djup än cirka 29 respektive 34 meter. Startdjupet ligger på cirka 8 meter.



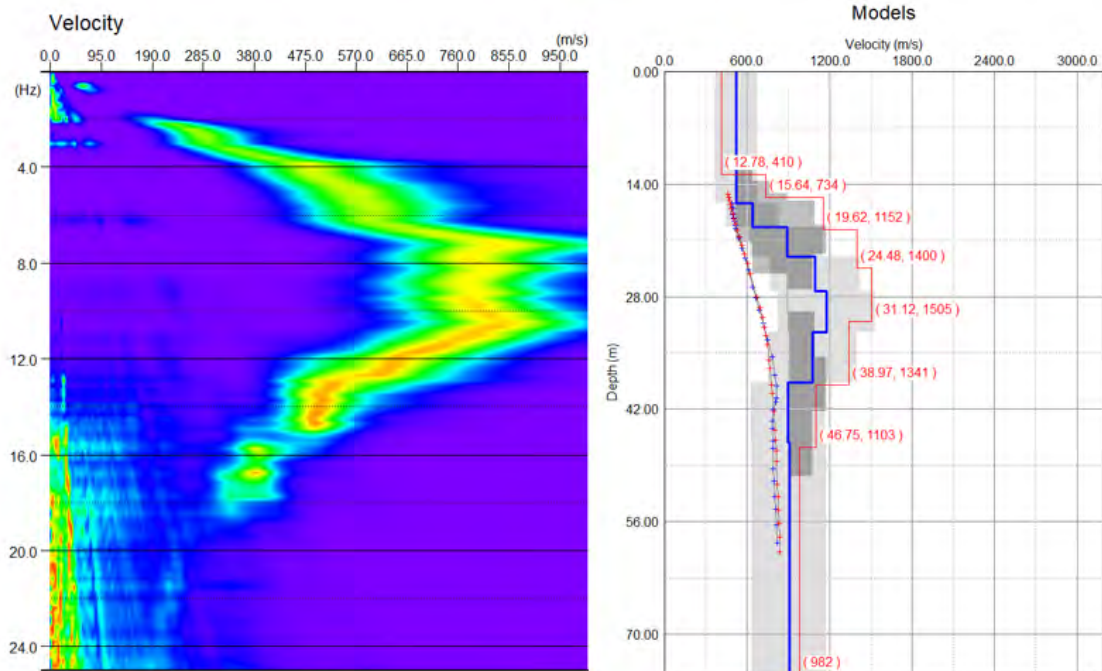
Figur 40 Till vänster: Fv-spektrum för mätning med stor cirkel i Tornhill utan mittgeofon med 4 ms samplingsintervall och 480 000 ms mättid. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet, motsvarar fv-spektrumet från figuren till vänster. Modellen hade en misfit på 5,61%.



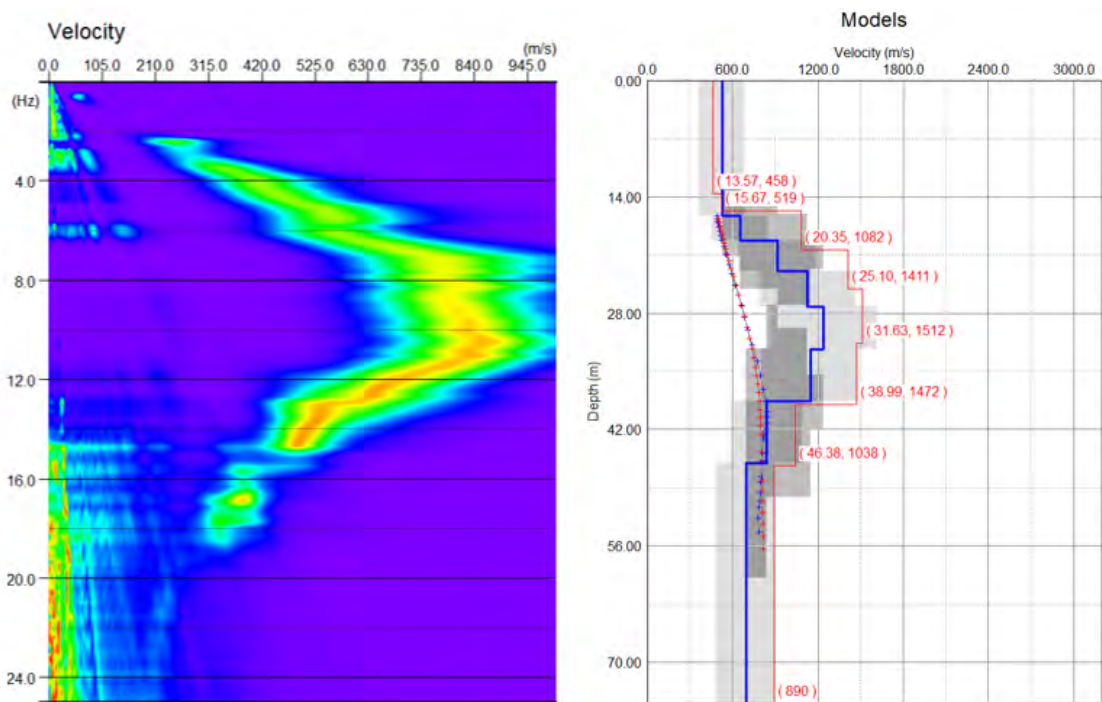
Figur 41 Till vänster: Fv-spektrum för mätning med stor cirkel i Tornhill utan mittgeofon med 8 ms samplingsintervall och 960 000 ms mättid. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet, motsvarar fv-spektrumet från figuren till vänster. Modellen hade en misfit på 4,31%.

I Figur 42 och Figur 43 nedan visas mätningar med mittgeofon. Båda modellerna över skjuvvågshastigheten visar en minskande skjuvvågshastighet vid cirka 31 meters djup. Båda startar också vid cirka 13 meters djup.

Fv-spektrumerna med mittgeofon har en lägre amplitud i intervallet 6 till 18 Hz än i de utan mittgeofon. Samtliga modeller visar på en minskning av skjuvvågshastigheten med start från cirka 29 till 34 meters djup. Mätningarna utan mittgeofon har modeller som startar vid cirka 8 meters djup medan de startar vid 13 meter för mätningarna med mittgeofon inkopplad. I övrigt har både peakvärdena i fv-spektrumerna (som senare i processen bildar dispersionskurvan) och modellerna över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet en liknande form i samtliga figurer ovan.



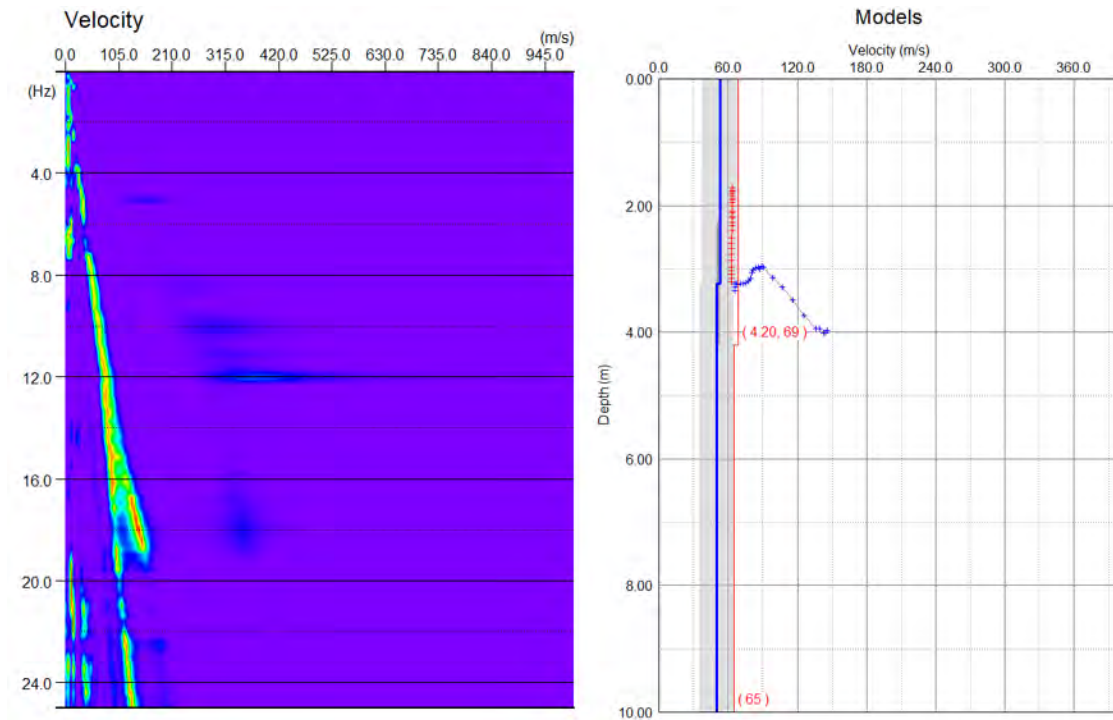
Figur 42 Till vänster: Fv-spektrum för mätning med stor cirkel i Tornhill med mittgeofon med 4 ms samplingsintervall och 480 000 ms mättid. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuv vågshastigheten i förhållande till djupet, motsvarar fv-spektrumet från figuren till vänster. Modellen hade en misfit på 3,95%.



Figur 43 Till vänster: Fv-spektrum för mätning med stor cirkel i Tornhill med mittgeofon med 8 ms samplingsintervall och 960 000 ms mättid. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuv vågshastigheten i förhållande till djupet, motsvarar fv-spektrumet från figuren till vänster. Modellen hade en misfit på 4,22%.

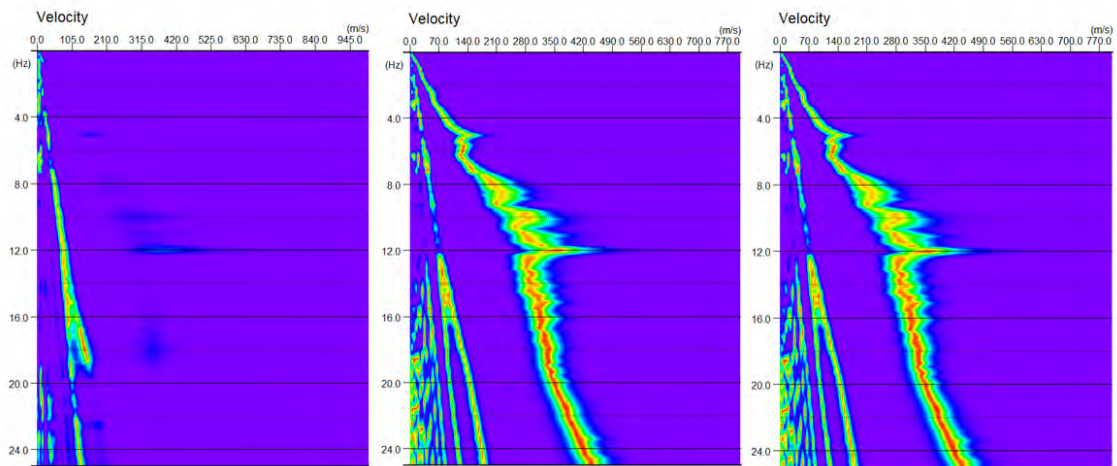
7.1.2 Tornhill – Liten cirkel

Data från mätningarna i Tornhill med liten cirkeluppställning var av för dålig kvalitet för att kunna analyseras vidare. Ett försök gjordes för att skapa en modell över skjuvvågshastigheten, men då resultaten av denna endast innehöll ett lager och hade en hög *misfit* (44,61%) skapades inga fler kurvor över skjuvvågshastigheten (se Figur 44). Samtliga peakvärden för fv-spektrumen för de andra mätningarna med liten cirkel i Tornhill var av snarlikt utseende som i fv-spektrumet i Figur 44.



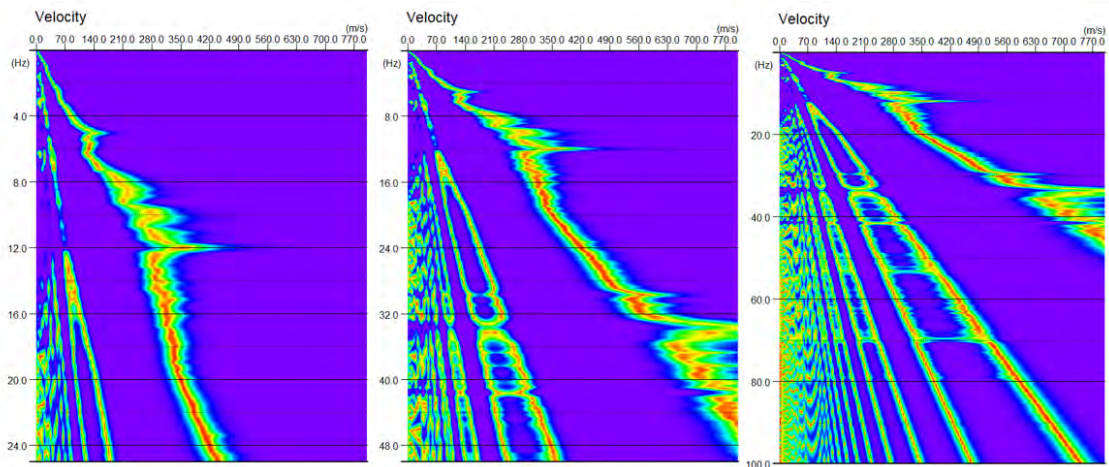
Figur 44 Till vänster: Fv-spektrum för mätning med liten cirkel i Tornhill med 4 ms samplingsintervall och 480 000 ms mättid. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet, motsvarar fv-spektrumet från figuren till vänster. Modellen hade en misfit på 44,61%.

För att försöka förbättra resultaten testades ett antal värden för *array tolerance* i Geogiga Seismic Pro 9.3 Surface Plus, se avsnitt 6.2 Arbetsprocessen i Geogiga Seismic Pro. Standardvärdet låg på 3% och kunde som mest höjas till 20% i programmets inställningar. För den mindre cirkeln i Tornhill blev fv-spektrumet densamma för både 4% och 20%; den stora förändringen i utseende av peakvärdena skedde alltså mellan 3% och 4%. Se Figur 45.



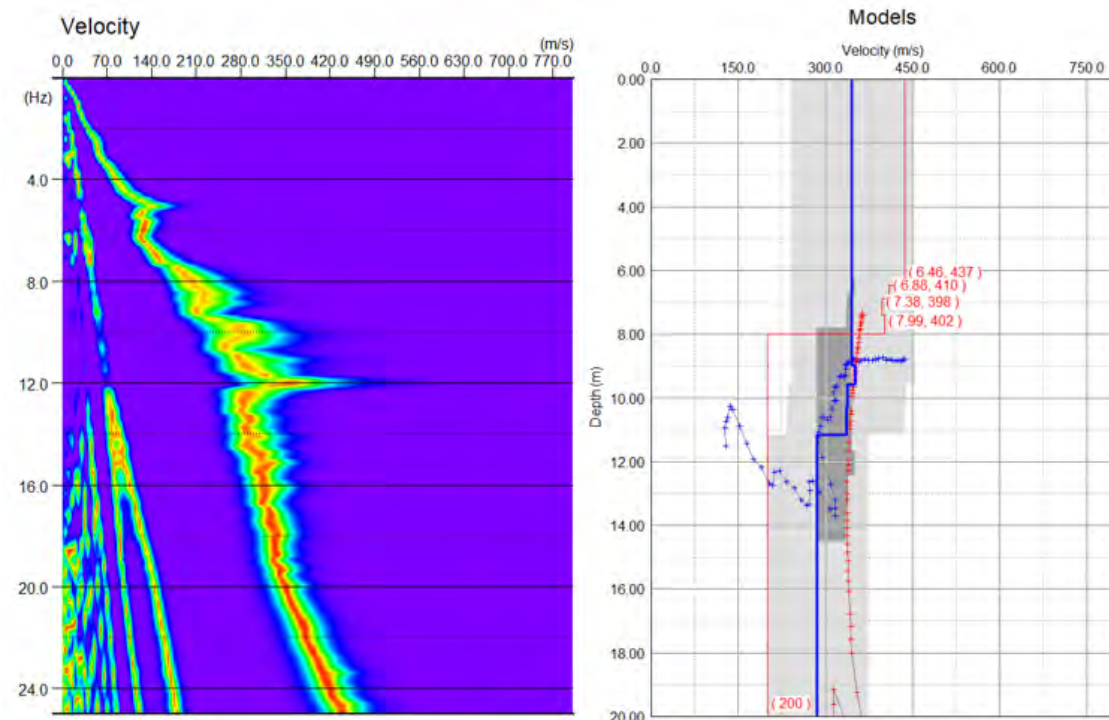
Figur 45 Från vänster till höger: Fv-spektrum med array tolerance på 3%, 4% och 20%. Notera att spektrumen med array tolerance på 4% och 20% är visuellt identiska. Y-axeln visar frekvens i Hz.

För fv-spektrumet med 4% array tolerance testades det även att öka den maximala frekvensen från 25 Hz till 50 respektive 100 Hz. Peakvärdena såg då mycket annorlunda ut, vilket illustreras i Figur 46 nedan.



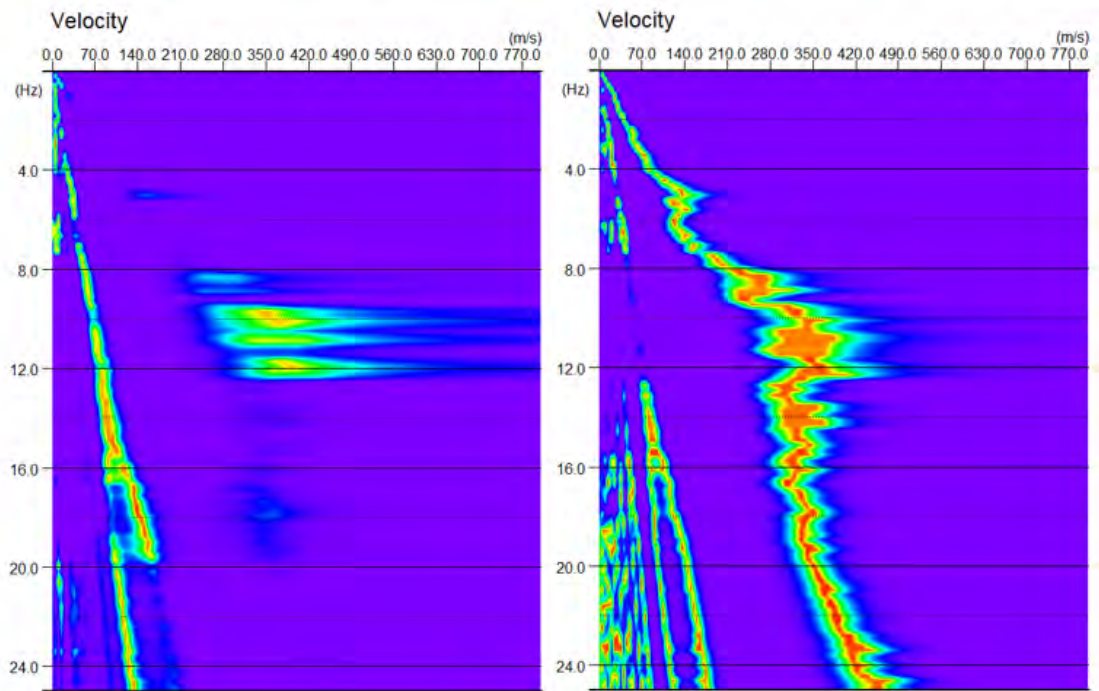
Figur 46 Från vänster till höger: Fv-spektrum med array tolerance på 4%, med en ökande frekvens på y-axeln; 25 Hz, 50 Hz och 100 Hz.

För det nya frekvensfashastighetsspektrumet med 4% array tolerance och 25 Hz som maximal frekvens valdes punkter ut manuellt till en dispersionskurva och inversionsprocessen genomfördes. Misfit blev lägre än i den tidigare mätningen, men fortfarande högt (15,26%), se Figur 47.

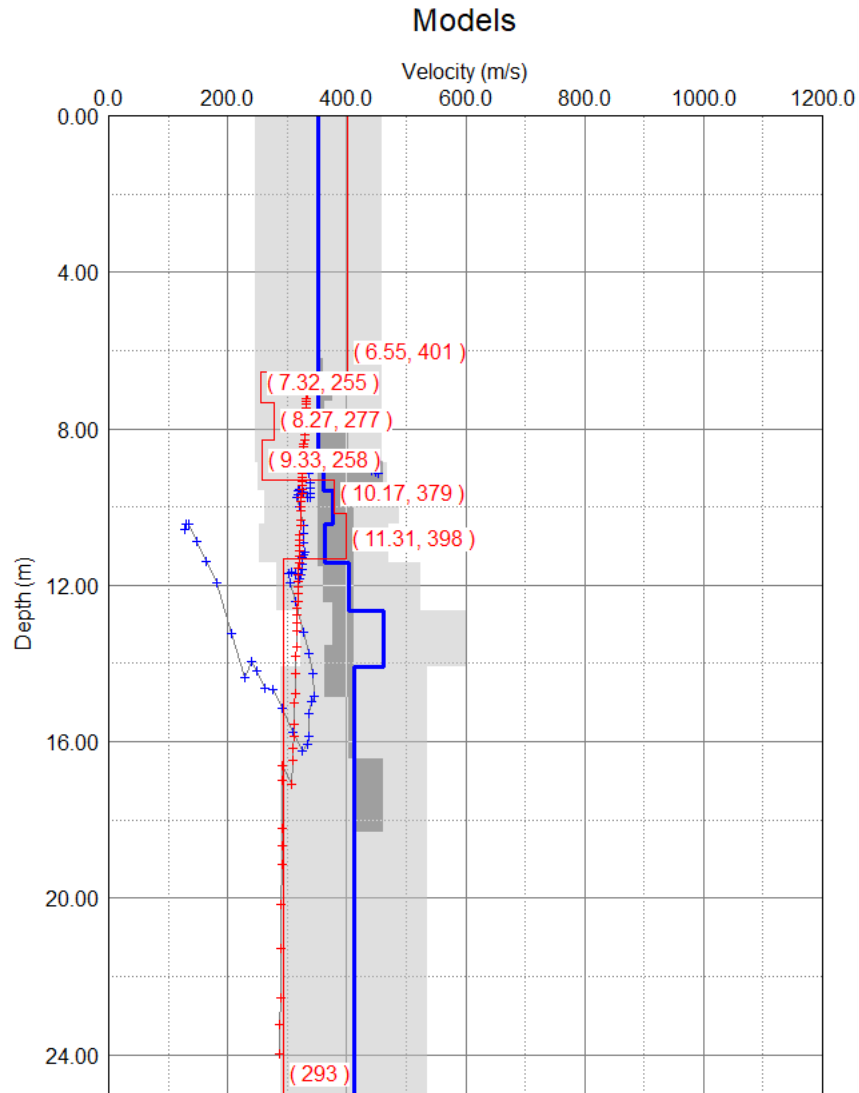


Figur 47 Till vänster: Fv-spektrum för mätning med liten cirkel i Tornhill med 4 ms samplingsintervall och 480 000 ms mättid och med en array tolerance på 4% istället för standardvärdet 3%. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet, motsvarar fv-spektrumet från figuren till vänster. Modellen hade en misfit på 15,26%.

Som ett sista försök för att försöka erhålla resultat av högre kvalitet för mätningen från Tornhill med liten cirkeluppställning klipptes 120 000 ms av de 480 000 ms med tydliga peakar i mätdata ut och analyserades sedan. Resultatet ses nedan i Figur 48, med *array tolerance* på 3% respektive 4%. För fv-spektrumet med 4% *array tolerance* skapades sedan en dispersionskurva och en inversmodell av skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet (Figur 49). Modellen hade en *misfit* på 19,67% och bedömdes vara av låg kvalitet trots urklipp av sekvens. Inga fortsatta försök genomfördes därför med urklipp. Fv-spektrumet för den mindre cirkeln i Tornhill, med sitt här genomgående speciella utseende, består troligtvis av artefakter, se kapitel 6.1.2 Vikningseffekter och artefakter.



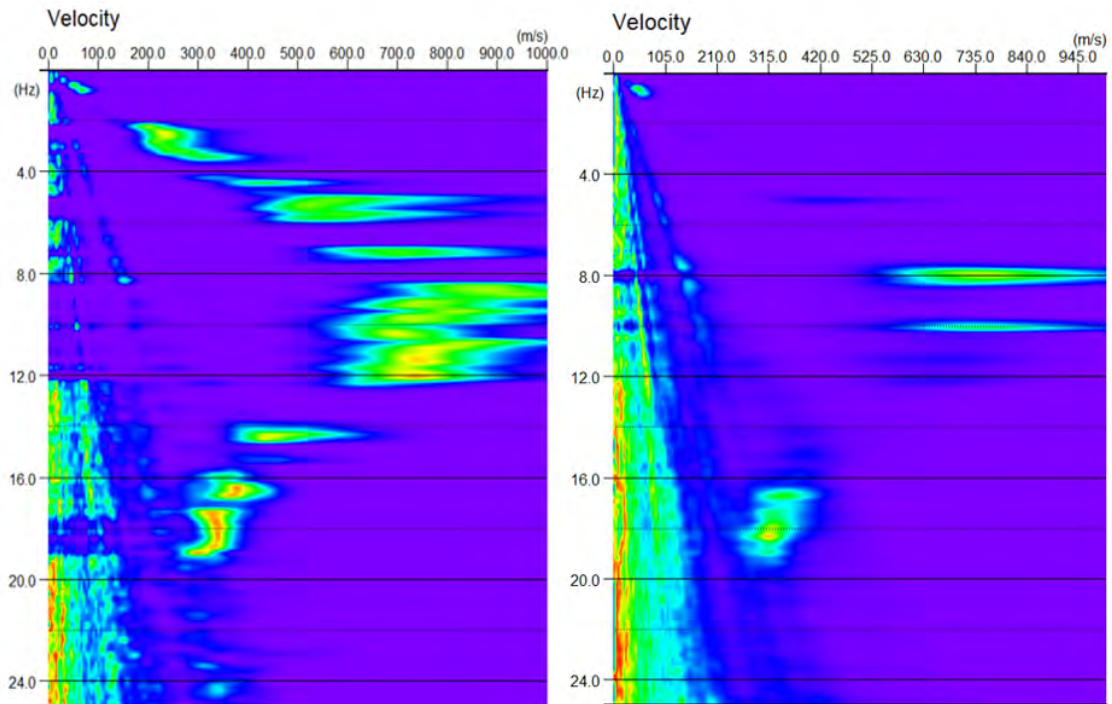
Figur 48 Från vänster till höger: Fv-spektrum med array tolerance på 3% respektive 4% för en sekvens på 120 000 ms utklippt data med 4 ms samplingstid. Y-axeln visar frekvens i Hz.



Figur 49 Modell över skjuvvågshastigheten för dispersionskurva från en urklippt sekvens på 120 000 ms med 4 ms samplingsintervall. Array tolerance för fv-spektrumet är 4% (se spektrumet till höger i Figur 48 ovan). Den inversa modellen hade en misfit på 19,67%.

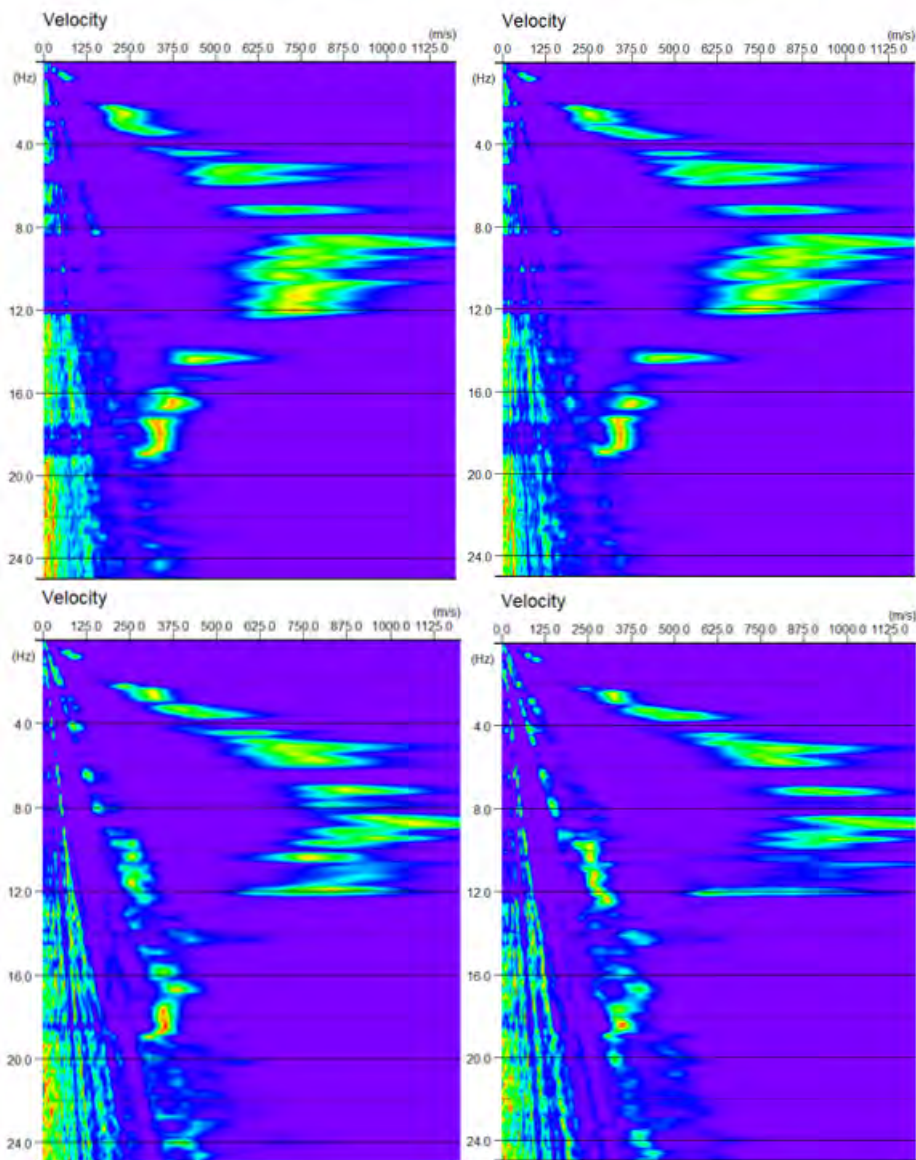
7.1.3 Tornhill – Triangel

Precis som för den mindre cirkeluppställningen i Tornhill var data från samtliga mätningar med triangeluppställning av för dålig kvalitet för att kunna analyseras vidare. Nedan (Figur 50) visas två exempel på fv-spektrum som skapats, men där det inte var möjligt att manuellt välja ut punkter för vidare analys. Resterande mätningar för triangeluppställningen vid Tornhill var av liknande utseende.



Figur 50 Exempel på två fv-spektrum från mätningarna med triangeluppställning i Tornhill. Båda är av för dålig kvalitet för att kunna välja ut punkter manuellt från. Y-axlarna visar frekvens i Hz. Den vänstra är från en mätning med 1 ms samplingsintervall och 120 000 ms mättid och uppvisar ett mönster i peakvärdena, men alltför tudelat för att en dispersionskurva skall kunna tas fram. Till höger visas fv-spektrumet från en mätning med 8 ms samplingsintervall och 960 000 ms mättid. Här saknas mönster helt.

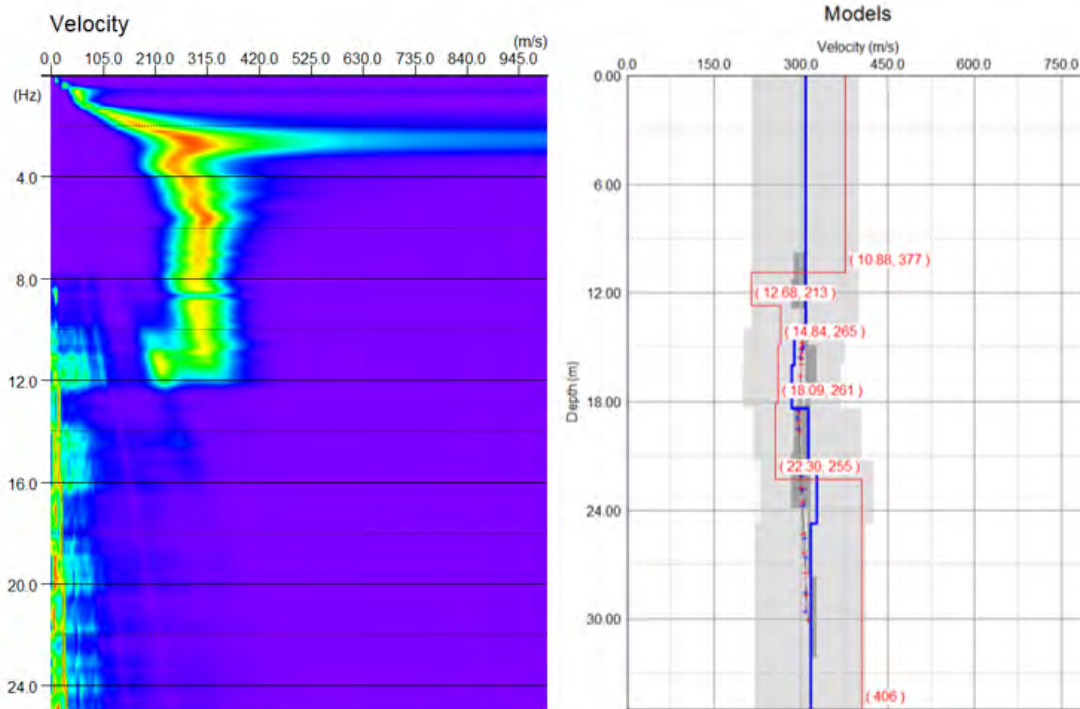
Ett försök genomfördes med annan *array tolerance*, likt försöken i Tornhill med liten cirkeluppställning. Resultaten ses nedan i Figur 51. Peakvärdena i fv-spektrumen ändras med ökad *array tolerance*, men är fortfarande av för låg kvalitet för att manuellt kunna välja ut punkter till en dispersionskurva.



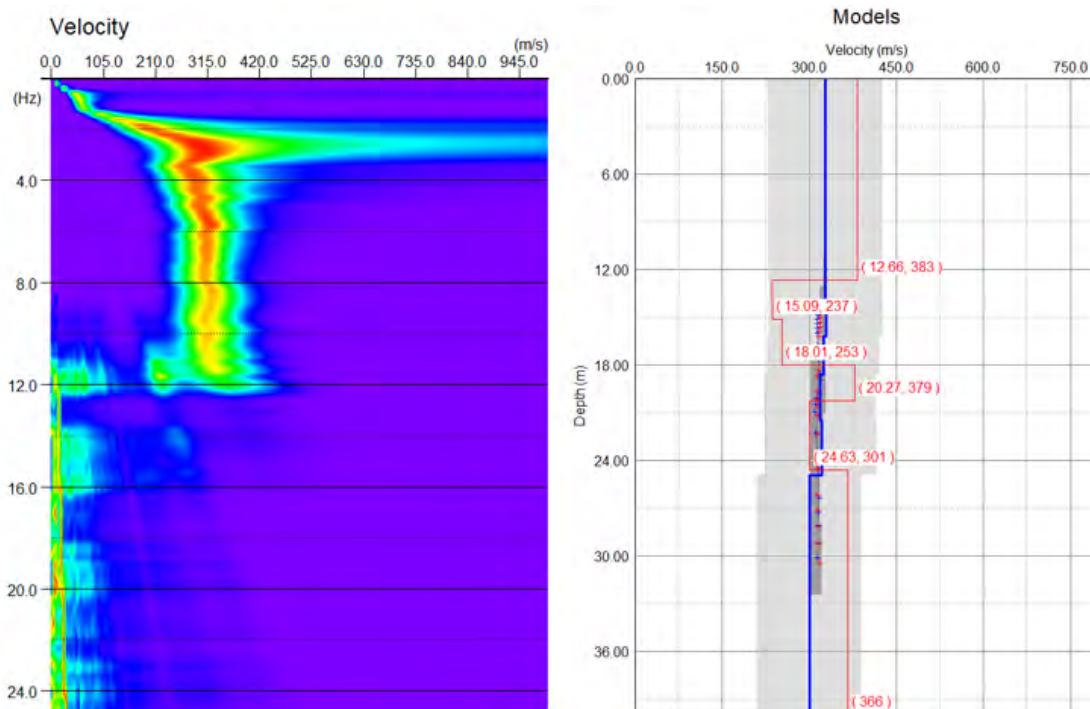
Figur 51 Från övre vänstra hörnet till nedre högra hörnet: fv-spektrum med en array tolerance på 3%, 4%, 10% och 20%. Y-axlarna visar frekvens i Hz. Mätningen är från triangeluppställning i Tornhill, se Figur 50.

7.1.4 Grevie – Stor cirkel

I Figur 52 och Figur 53 nedan visas fv-spektrum och modeller för skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet för två mätningar med stor cirkel i Grevie. Peakvärdena i fv-spektrumen liknar varandra till utseendet och kurvornas startvärden i modellerna över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet ligger på cirka 11 respektive 12,5 meters djup. Modellerna från inversionen visar på skjuvvågshastigheter som sjunker med djupet för att därefter öka igen.



Figur 52 Till vänster: Fv-spektrum för mätning med stor cirkel i Grevie med 4 ms samplingsintervall och 480 000 ms mättid. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet, motsvarar fv-spektrumet från figuren till vänster. Modellen hade en misfit på 0,97%.



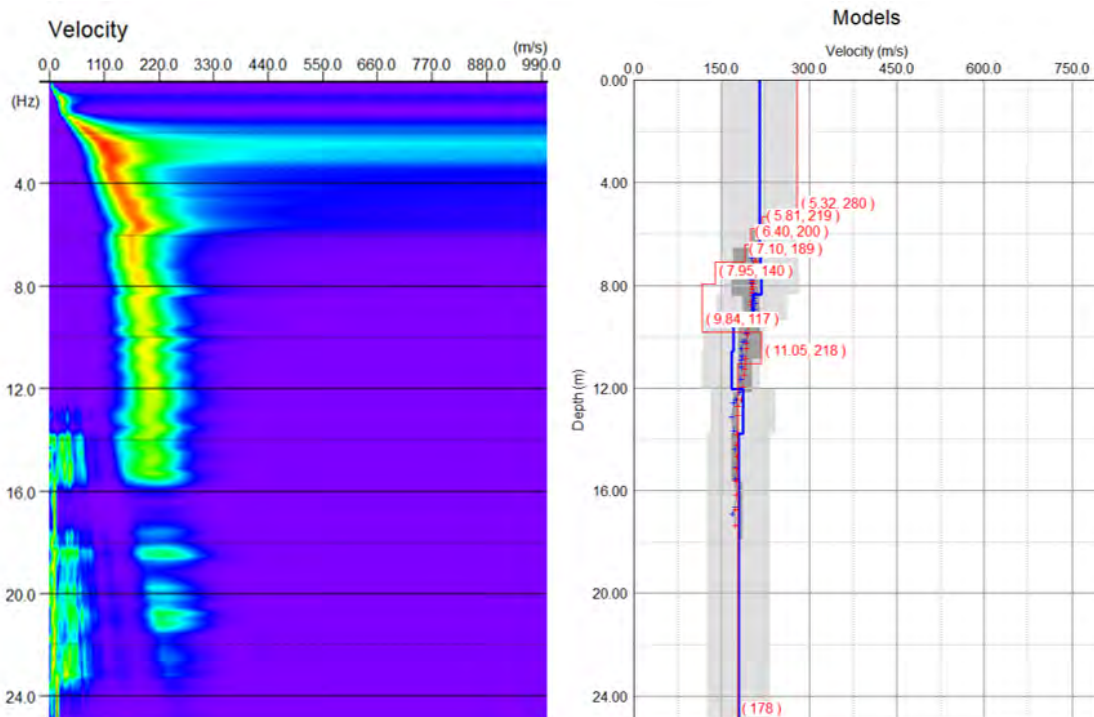
Figur 53 Till vänster: Fv-spektrum för mätning med stor cirkel i Grevie med 8 ms samplingsintervall och 960 000 ms mättid. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet, motsvarar fv-spektrumet från figuren till vänster. Modellen hade en misfit på 0,94%.

Modellernas startdjup för den stora cirkeln ligger på ungefär samma djup som för slutdjupet i modellerna för den mindre cirkeluppställningen i Grevie (i avsnitt 7.1.5 Grevie – Liten cirkel), det vill säga runt cirka 11 till 12,5 meters djup. Det sker alltså nästan en överlappning mellan modellernas omfång i djupled. Skjuvvågshastigheten vid startdjupen i den stora cirkeln i Grevie är cirka 370 m/s enligt modellen från inversionsprocessen.

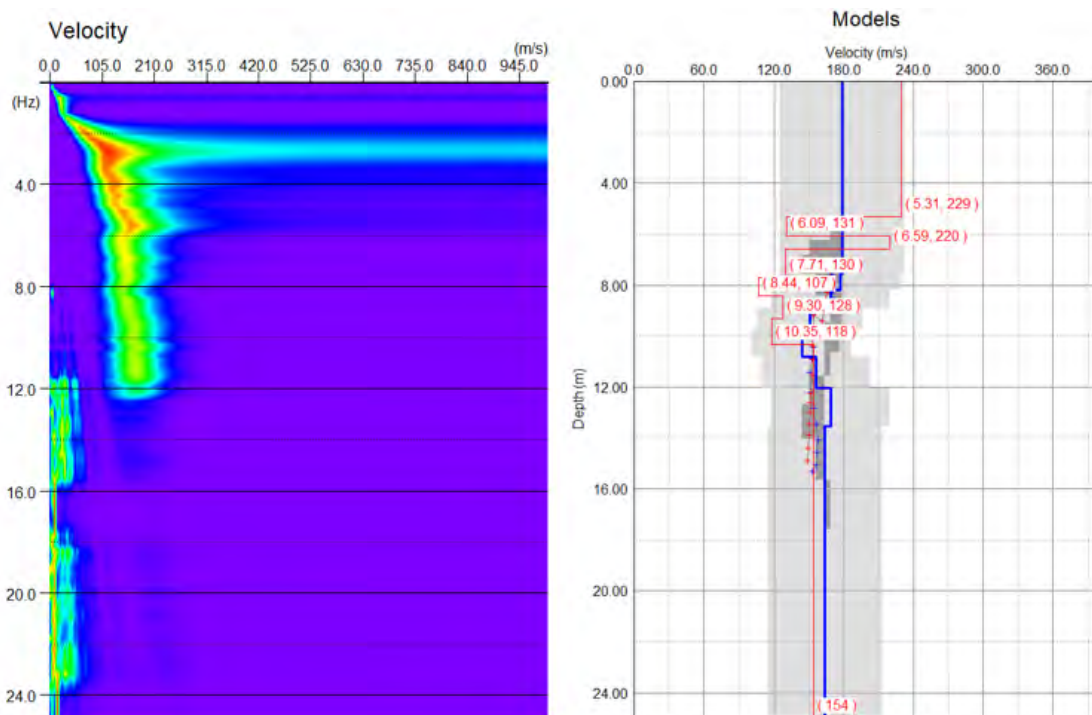
7.1.5 Grevie – Liten cirkel

Nedan visas två fv-spektrum och tillhörande grafer över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet för mätningar med liten cirkel i Grevie, se Figur 54 och Figur 55. Peakvärdena i fv-spektrumen liknar varandra till formen, även om peakvärdena i Figur 54 når lägre frekvenser än i Figur 55. De inversa modellerna startar på snarlika djup och med relativt lika skjuvvågshastigheter och har båda många tunna lager med en skjuvvågshastighet som minskar något med djupet.

Modellernas sista angivna djup är runt 10,5–11 meter, och skjuvvågshastigheterna här varierar mellan 118 och 218 m/s. Detta är lägre skjuvvågshastigheter än vid motsvarande djup för mätningen i Grevie, se ovan i 7.1.4 Grevie – Stor cirkel, vilket är oralistiskt.



Figur 54 Till vänster: Fv-spektrum för mätning med liten cirkel i Grevie med 4 ms samplingsintervall och 480 000 ms mättid. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet, motsvarar fv-spektrumen från figuren till vänster. Modellen hade en misfit på 2,41%.



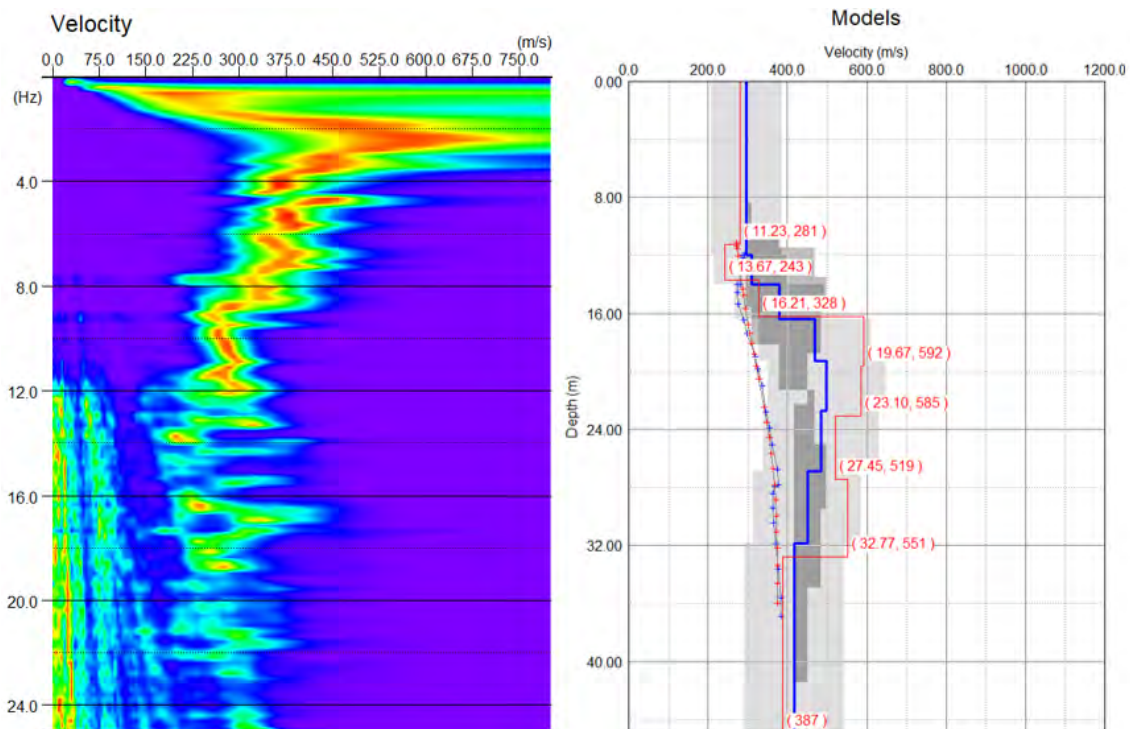
Figur 55 Till vänster: Fv-spektrum för mätning med liten cirkel i Grevie med 8 ms samplingsintervall och 960 000 ms mättid. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet, motsvarar fv-spektrumet från figuren till vänster. Modellen hade en misfit på 2,01%.

7.1.6 Grevie – Triangel

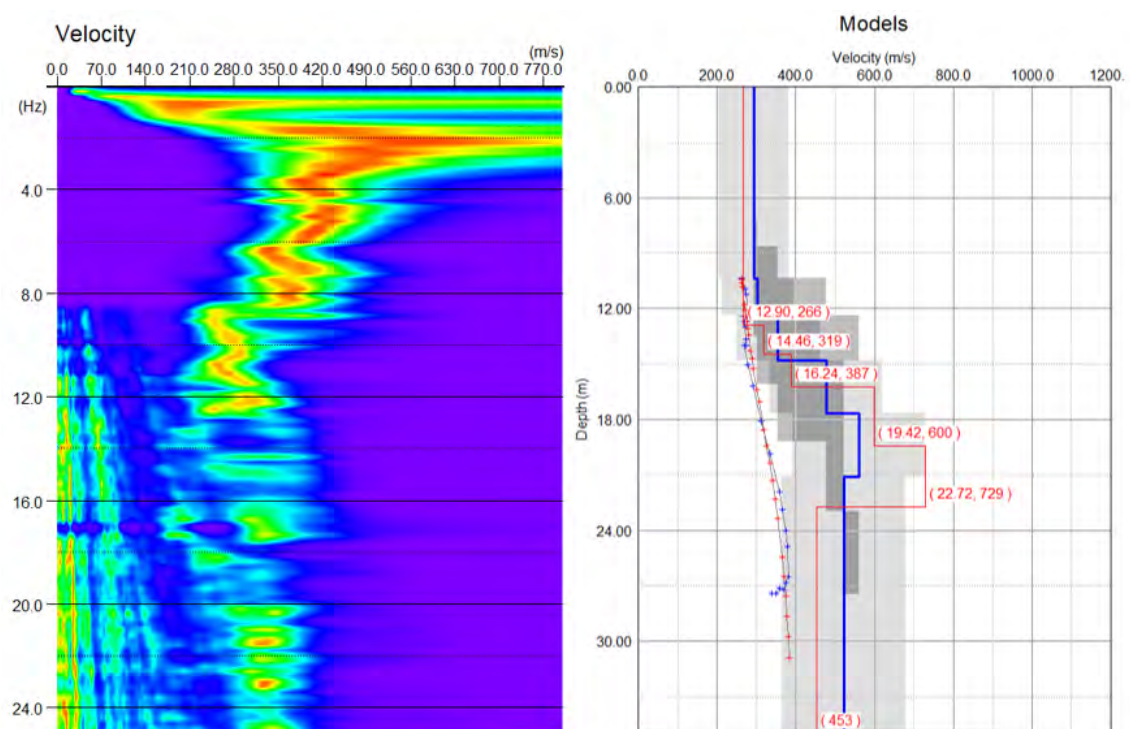
För triangeluppställningen i Grevie utfördes 8 mätningar varav 7 gav tillräckligt bra data för att kunna skapa modeller över skjuvvågshastigheten mot djupet. Den mätning som gav ett sämre resultat hade ett samplingsintervall på 1 ms och en mättid på 120 000 ms.

I Figur 56–59 visas fyra fv-spektrum och deras motsvarande inversa modeller över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Dessa representerar mätningar med olika samplingsintervall och mättid och visar den inversionsmodell som skapades med lägst *misfit*. När punkter i fv-spektrumet valdes ut manuellt för att skapa en dispersionskurva låg dessa mellan cirka 5 och 12 Hz, då lägre frekvenser än 4,5 Hz, som nämnts tidigare, inte kan väljas, eftersom det är geofonernas resonansfrekvens. Observera att skalan för modellerna över skjuvvågshastigheten i förhållandet till djupet är olika hos de fyra figurerna nedan.

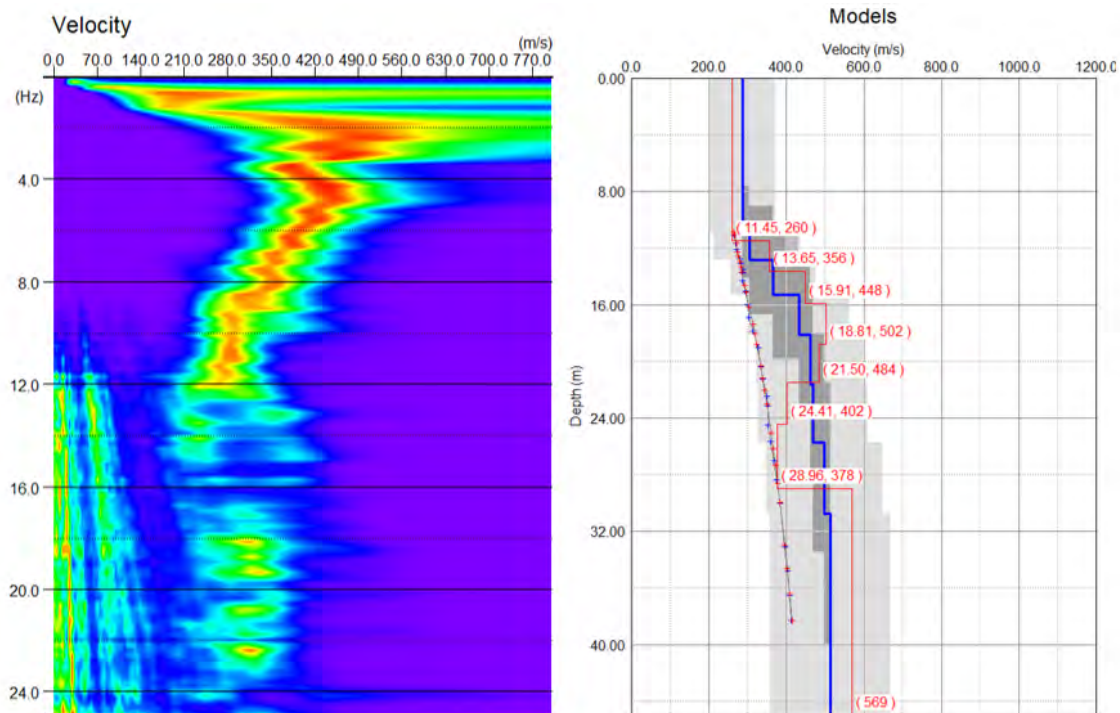
Mätningen med kortast mättid (Figur 56) skiljer sig från de andra tre figurerna (Figur 57, Figur 58 och Figur 59) när det gäller den inversa modellen, där den visar en lägre skjuvvågshastighet för djup större än 32 meter. Både Figur 56 och Figur 57 visar även en minskning av skjuvvågshastigheten runt 23 respektive 21 meters djup, medan Figur 58 inte visar minskning av skjuvvågshastigheten med djupet. Figur 59 visar endast en marginell förändring av skjuvvågshastigheten uppåt och nedåt kring en stabil punkt.



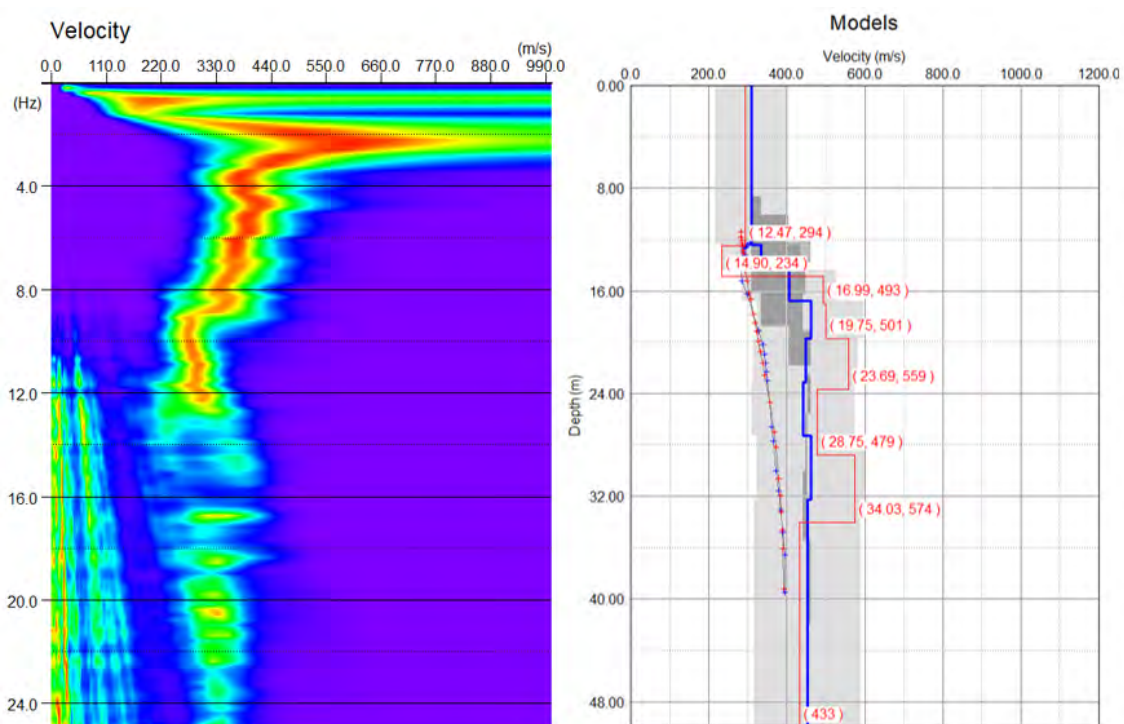
Figur 56 Till vänster: Fv-spektrum för triangeluppställning i Grevie, med ett samplingsintervall på 1 ms och mättid på 120 000 ms. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten mot djupet, motsvarande fv-spektrumet till vänster. Modellen hade en misfit på 3,79%.



Figur 57 Till vänster: Fv-spektrum för triangeluppställning i Grevie, med ett samplingsintervall på 2 ms och mättid på 480 000 ms. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten mot djupet, motsvarande fv-spektrumet till vänster. Modellen hade en misfit på 5,89%.



Figur 58 Till vänster: Fv-spektrum för triangeluppställning i Greve, med ett samplingsintervall på 4 ms och mättid på 480 000 ms. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten mot djupet, motsvarande fv-spektrumet till vänster. Modellen hade en misfit på 1,05%.



Figur 59 Till vänster: Fv-spektrum för triangeluppställning i Greve, med ett samplingsintervall på 8 ms och mättid på 960 000 ms. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten mot djupet, motsvarande fv-spektrumet till vänster. Modellen hade en misfit på 3,71%.

7.2 Kombination av mätningar

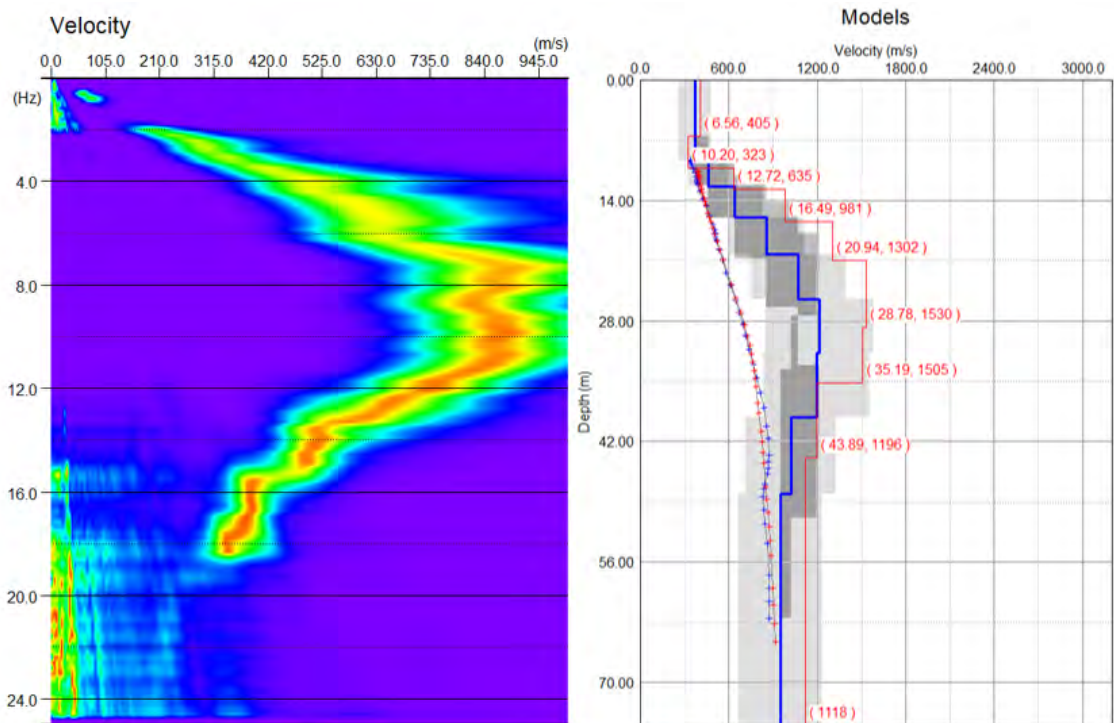
Alla mätningar med samma samplingsintervall och mättid på samma plats och för samma uppställning kombinerades, enligt beskrivning i avsnittet 6.2.1 Kombination av fv-spektrum. Detta gjordes i utvärderingsprogrammet (Geogiga Seismic Pro 9.3 Surface Plus). Ett urval av kombinationerna visas nedan.

7.2.1 Tornhill – Stor cirkel

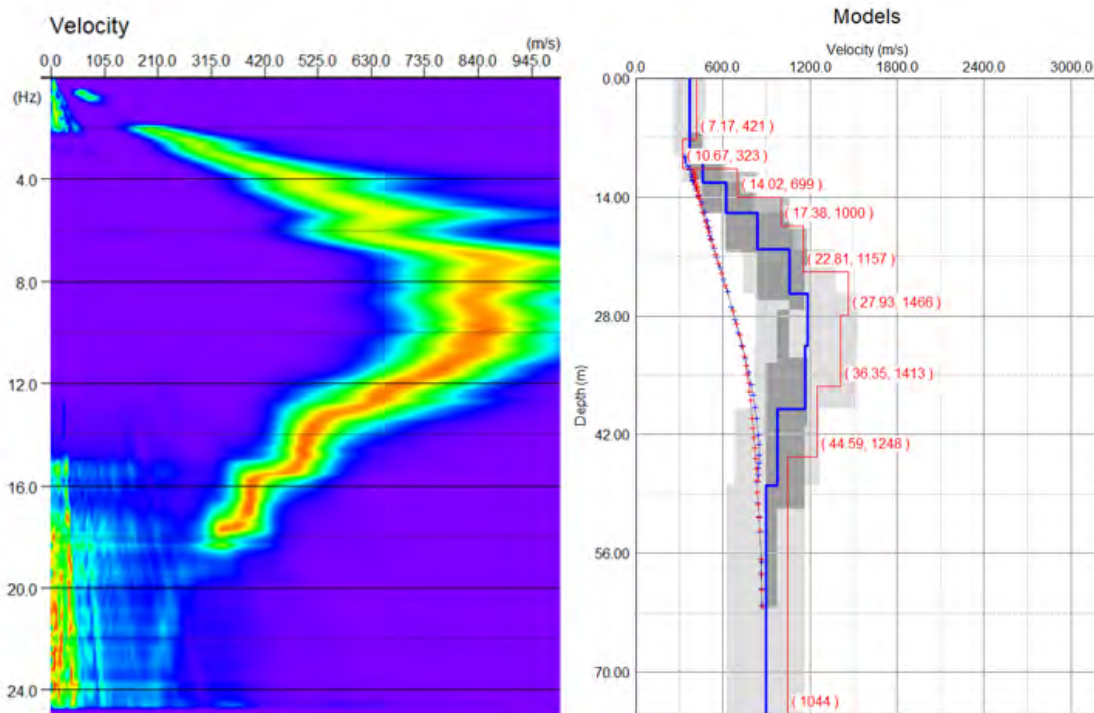
Kombinationer har genomförts för mätningarna både med och utan mittgeofon. Mätningarna har genomförts med ett samplingsintervall på 4 ms och en mättid på 480 000 ms respektive 8 ms samplingsintervall och 960 000 ms mättid.

Nedan visas först fv-spektrumen och modellerna för skjuvvågshastigheten i förhållandet till djupet för mätningarna utan mittgeofon. Eftersom tre individuella mätningar skedde för uppställningen utan mittgeofon gjordes tre kombinationer, men här visas endast den med lägst *misfit*. En kombination av alla tre mätningarna gick inte att genomföra i programmet, trots att det borde vara möjligt och är önskvärt.

Först visas två kombinationer för fv-spektrumen samt modeller för skjuvvågshastigheten mot djupet från Tornhill för stor cirkel utan mittgeofon inkopplad (Figur 60 och Figur 61). Dessa visar båda ett mindre startdjup jämfört med de individuella mätningarna. Formen på peakvärdena i fv-spektrumen är lika de individuella mätningarna i övrigt. Vad gäller *misfit* för kombinationen för stor cirkeluppställning i Tornhill placerar den sig någonstans mellan de individuella kurvornas motsvarande *misfits*.

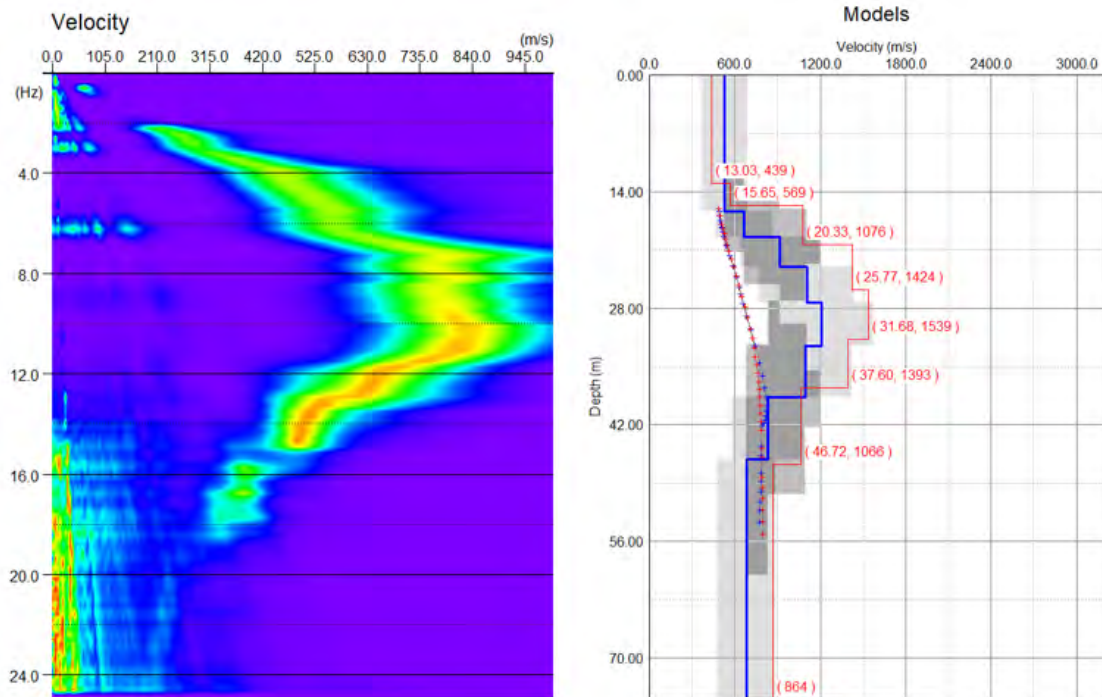


Figur 60 Till vänster: Kombinerat fv-spektrum för två mätningar i en stor cirkeluppställning utan mittgeofon i Tornhill, vars enskilda misfits var 5,05% och 6,03%. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten. Denna kombination hade ett samplingsintervall på 4 ms och en mättid på 480 000 ms. Misfit blev 5,55%.

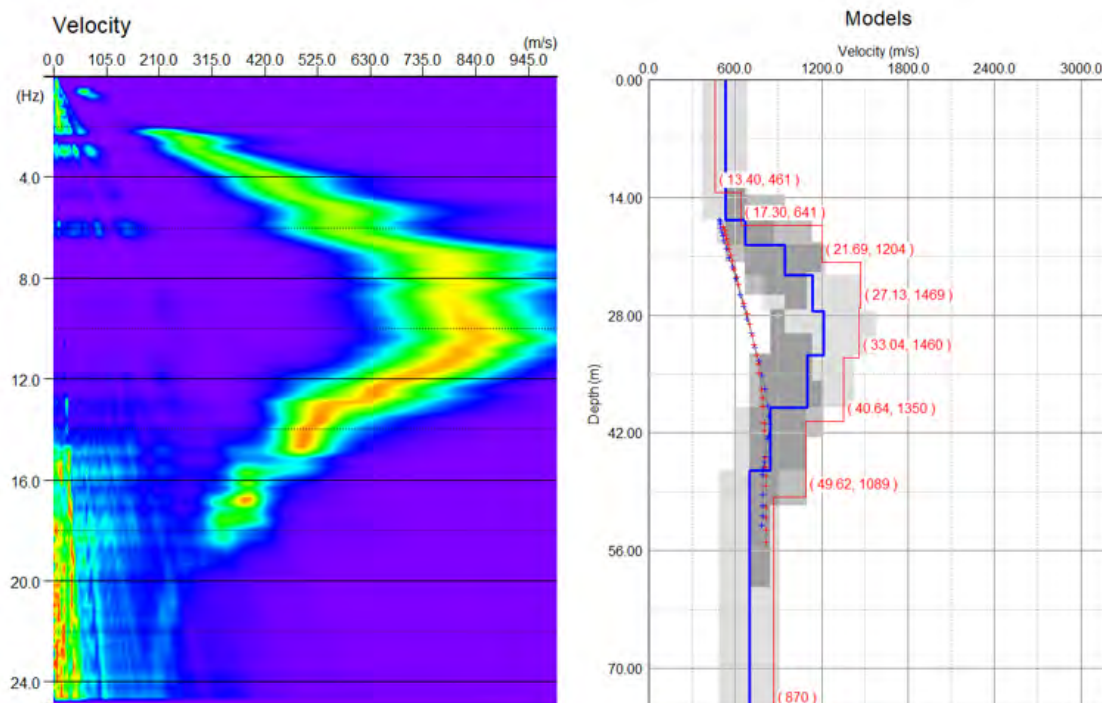


Figur 61 Till vänster: Kombinerat fv-spektrum för två mätningar i en stor cirkeluppställning utan mittgeofon i Tornhill, vars enskilda misfits var 5,14% och 4,31%. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten. Denna kombination hade ett samplingsintervall på 8 ms och en mättid på 960 000 ms. Misfit blev 4,65%.

I Figur 62 och Figur 63 nedan visas fv-spektrum och modeller för skjuvvågshastigheten mot djupet för mätningar i Tornhill med stor cirkel med mittgeofon. Resultaten av inversionsmodellerna liknar de som erhöles i de individuella mätningarna och börjar på liknande djup (runt 13 meter). Misfit blev något lägre respektive ett värde mellan de individuella mätningarnas misfit.



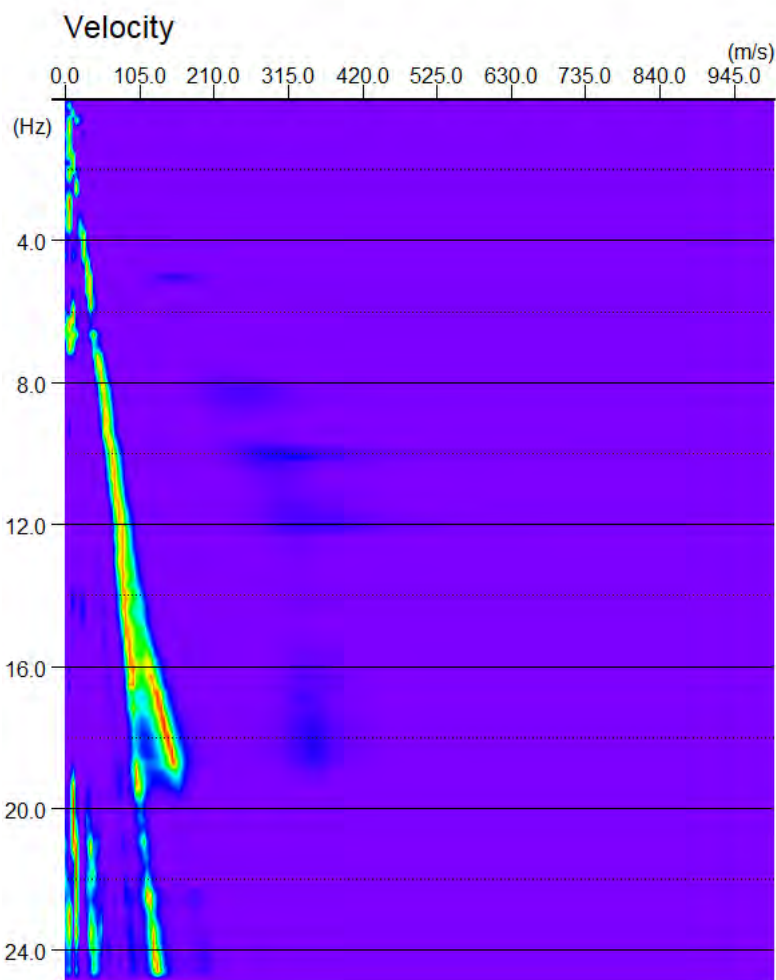
Figur 62 Till vänster: Kombinerat fv-spektrum för två mätningar i en stor cirkeluppställning med mittgeofon i Tornhill, vars enskilda misfits var 3,95% och 4,78%. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten. Denna kombination hade ett samplingsintervall på 4 ms och en mättid på 480 000 ms. Misfit blev 3,49%.



Figur 63 Till vänster: Kombinerat fv-spektrum för två mätningar i en stor cirkeluppställning med mittgeofon i Tornhill, vars enskilda misfits var 5,26% och 4,22%. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten. Denna kombination hade ett samplingsintervall på 8 ms och en mättid på 960 000 ms. Misfit blev 4,55%.

7.2.2 Tornhill – Liten cirkel

Trots mätdata av låg kvalitet gjordes försök att kombinera fv-spektra från olika mätningar. Dessvärre var även dessa av för låg kvalitet för att kunna skapa modeller av skjuvvågshastigheten och djupet. Ett exempel på ett kombinerat fv-spektrum från en mätning i Tornhill med liten cirkeluppställning med samplingsintervall på 4 ms och mättid på 480 000 ms ses nedan i Figur 64.

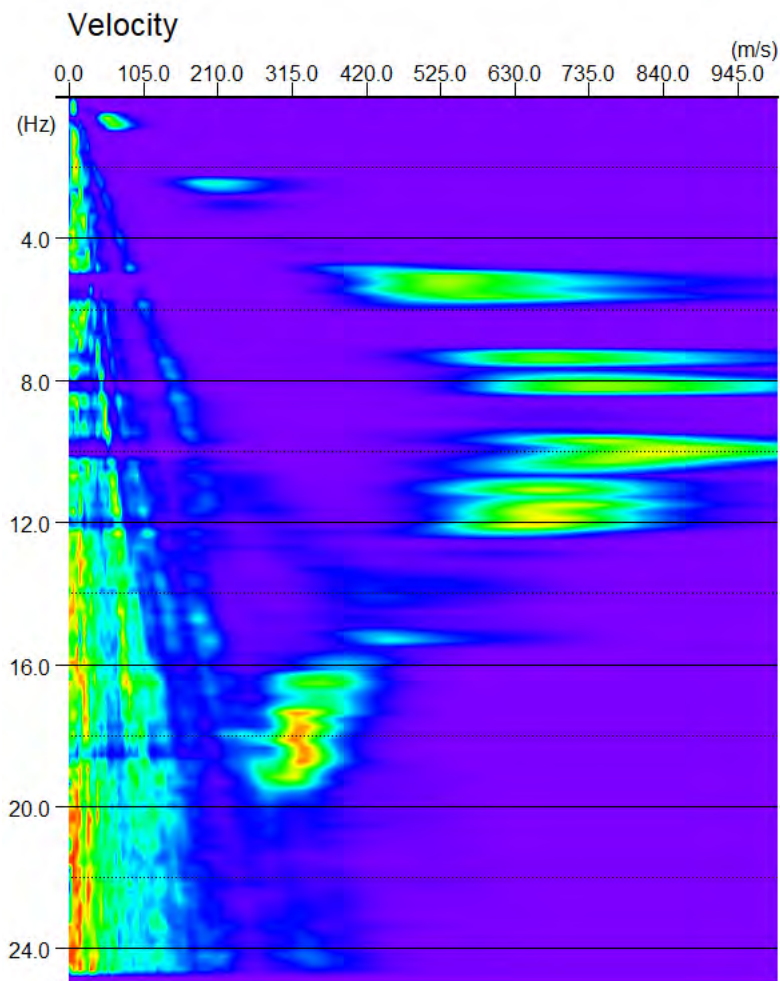


Figur 64 Exempel på fv-spektrum skapad av två kombinerade fv-spektrum från en mätning av den mindre cirkeluppställningen i Tornhill. Y-axeln visar frekvens i Hz. Mätningen hade ett samplingsintervall på 4 ms och en mättid på 480 000 ms.

7.2.3 Tornhill – Triangel

Kombinationer utfördes för alla mätningar för triangeln i Tornhill. Fv-spektrumen var dock av för dålig kvalitet för att kunna analyseras vidare.

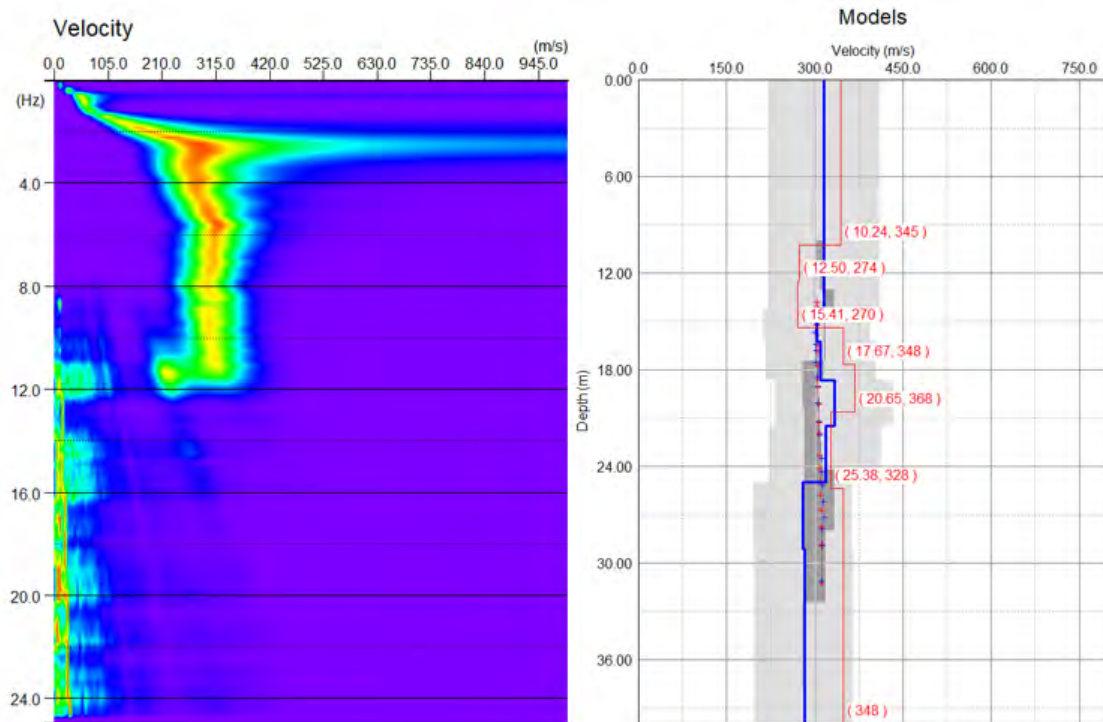
I Figur 65 visas ett exempel på ett kombinerat fv-spektrum för triangeluppställningen i Tornhill. Ett visst mönster av en modkurva kan anas för peakvärdena, trots att den är tämligen uppdelad till skillnad från de mer sammanhållna mönster som förekommit i tidigare fv-spektrum (exempelvis Figur 61 i avsnittet 7.2.1 Tornhill – Stor cirkel).



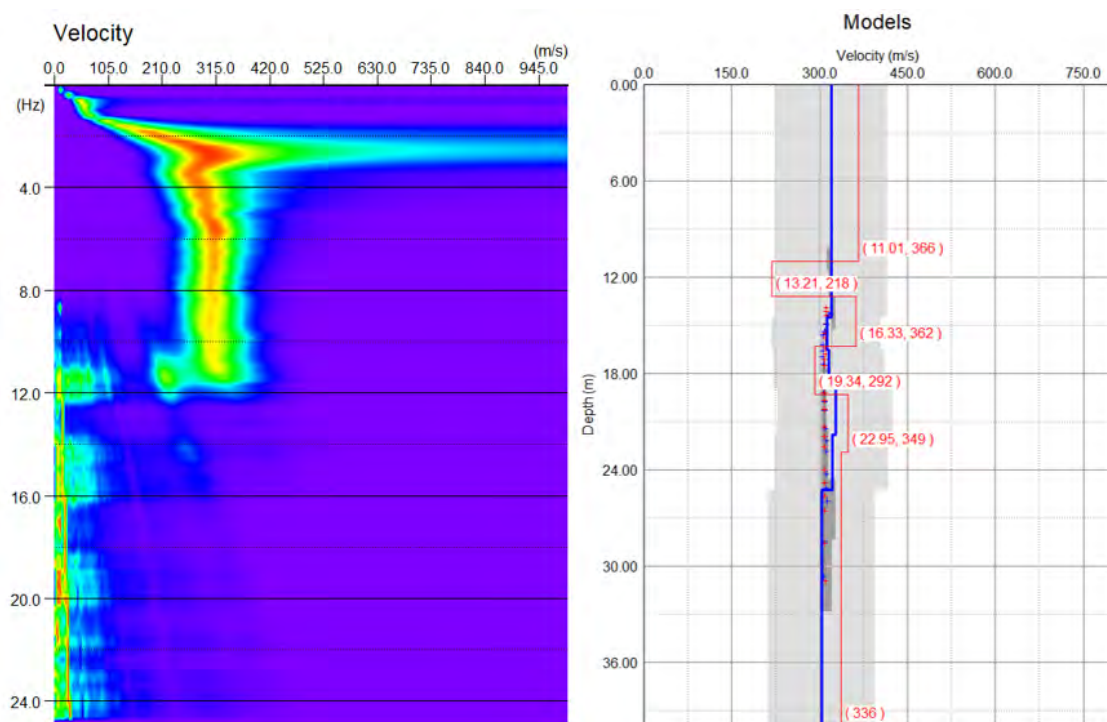
Figur 65 Exempel på fv-spektrum för ett kombinerat fv-spektrum för triangeluppställningen i Tornhill. Y-axeln visar frekvens i Hz. Denna kombination hade ett samplingsintervall på 2 ms och en mättid på 240 000 ms.

7.2.4 Grevie – Stor cirkel

Nedan visas kombinationen av fv-spektrum och tillhörande modell över skjuvvågshastigheten mot djupet för stor cirkeluppställning i Grevie, se Figur 66 och Figur 67. Om man bara ser till *misfit* så är den låg även i kombinationerna. Modellerna har ett något mindre startdjup än för modellerna som skapades för de individuella mätningarna (se avsnittet 7.1.4 Grevie – Stor cirkel). I övrigt är formen på peakvärdena i fv-spektrumen och modellerna relativt lika de individuella mätningarnas.



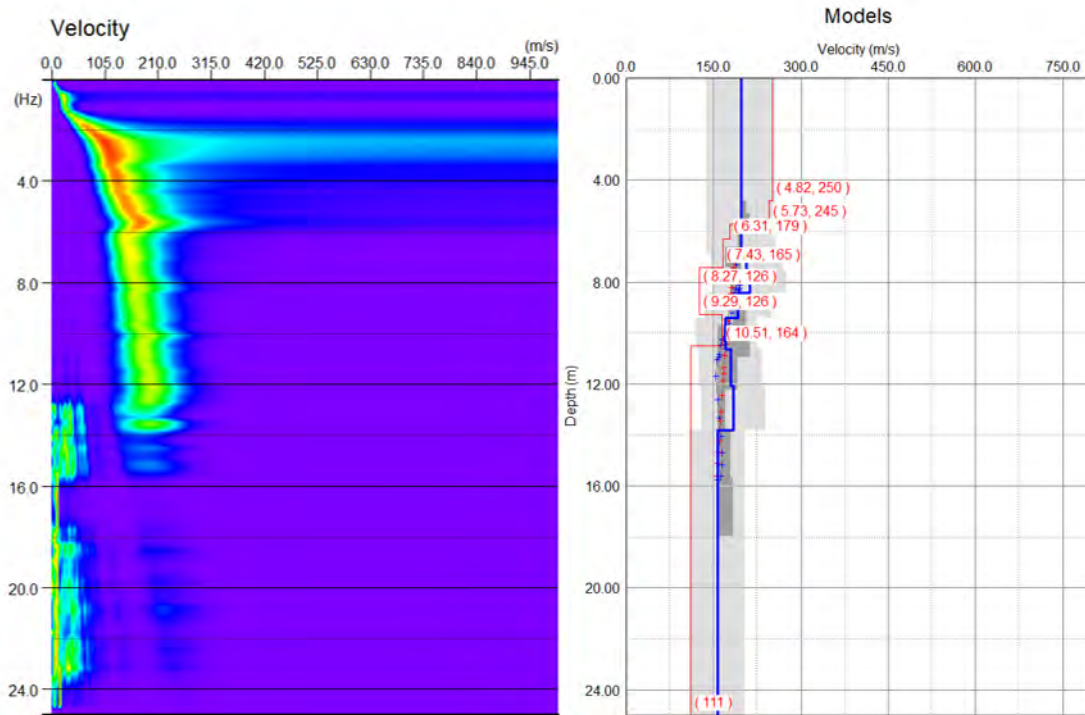
Figur 66 Till vänster: Kombinerat fv-spektrum för två mätningar i en stor cirkeluppställning i Grevie, vars enskilda misfits var 0,97% och 1,30%. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten. Denna kombination hade ett samplingsintervall på 4 ms och en mättid på 480 000 ms. Misfit blev 0,98%.



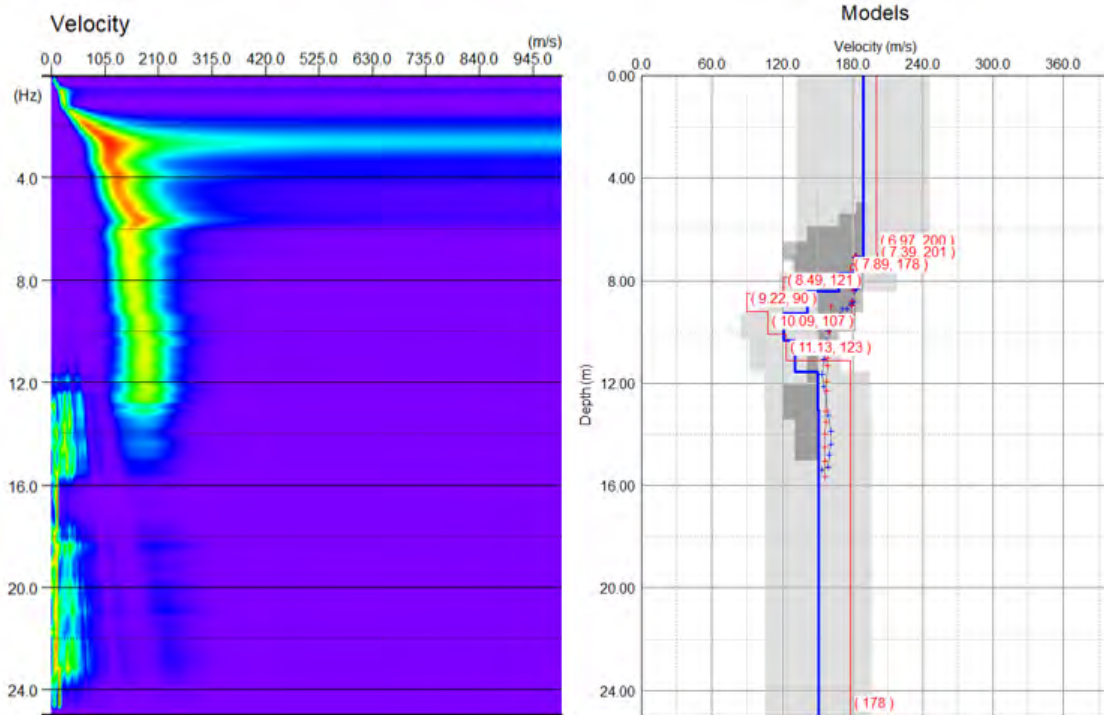
Figur 67 Till vänster: Kombinerat fv-spektrum för två mätningar i en stor cirkeluppställning med mittgeofon i Tornhill, vars enskilda misfits var 0,94% och 1,62%. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten. Denna kombination hade ett samplingsintervall på 8 ms och en mättid på 960 000 ms. Misfit blev 0,92%.

7.2.5 Grevie – Liten cirkel

I Figur 68 och Figur 69 visas fv-spektrum och modeller över skjuvvågshastigheten i förhållandet till djupet för kombinationer av den mindre cirkeluppställningen i Grevie. Här är den inversa modellen av skjuvvågshastigheten märkbart olika i de två modellerna; i den övre minskar skjuvvågshastigheten med djupet, medan den först sjunker och därefter ökar igen i den nedre. De börjar även på olika djup, nämligen vid knappt 5 meter respektive 7 meter. Generellt liknar figurerna de individuella mätningarna ovan (se avsnittet 7.1.5 Grevie – Liten cirkel).



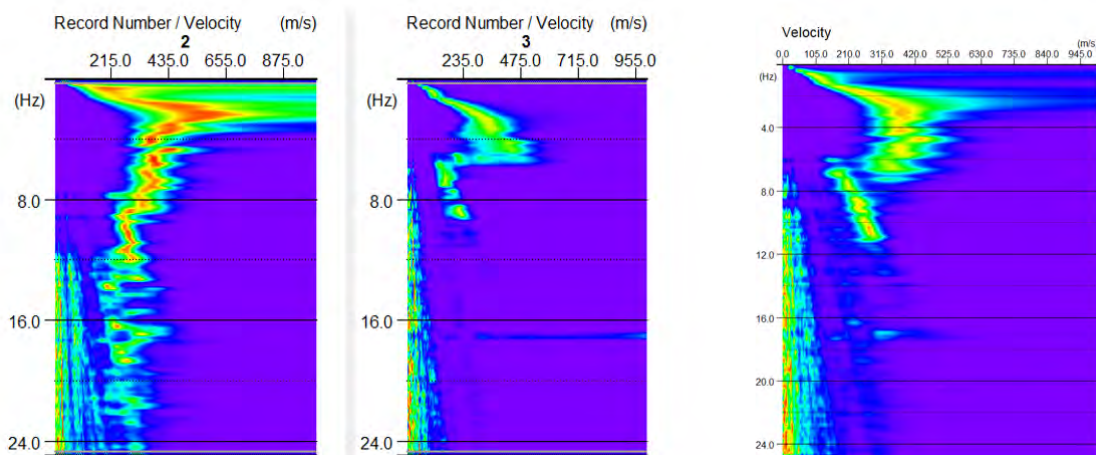
Figur 68 Till vänster: Kombinerat fv-spektrum för två mätningar i en liten cirkeluppställning i Grevie, vars enskilda misfits var 4,21% och 2,41%. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten. Denna kombination hade ett samplingsintervall på 4 ms och en mättid på 480 000 ms. Misfit blev 3,62%.



Figur 69 Till vänster: Kombinerat fv-spektrum för två mätningar i en stor cirkeluppställning med mittgeofon i Tornhill, vars enskilda misfits var 2,01% och 2,88%. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten. Denna kombination hade ett samplingsintervall på 8 ms och en mättid på 960 000 ms. Misfit blev 1,98%.

7.2.6 Grevie – Triangel

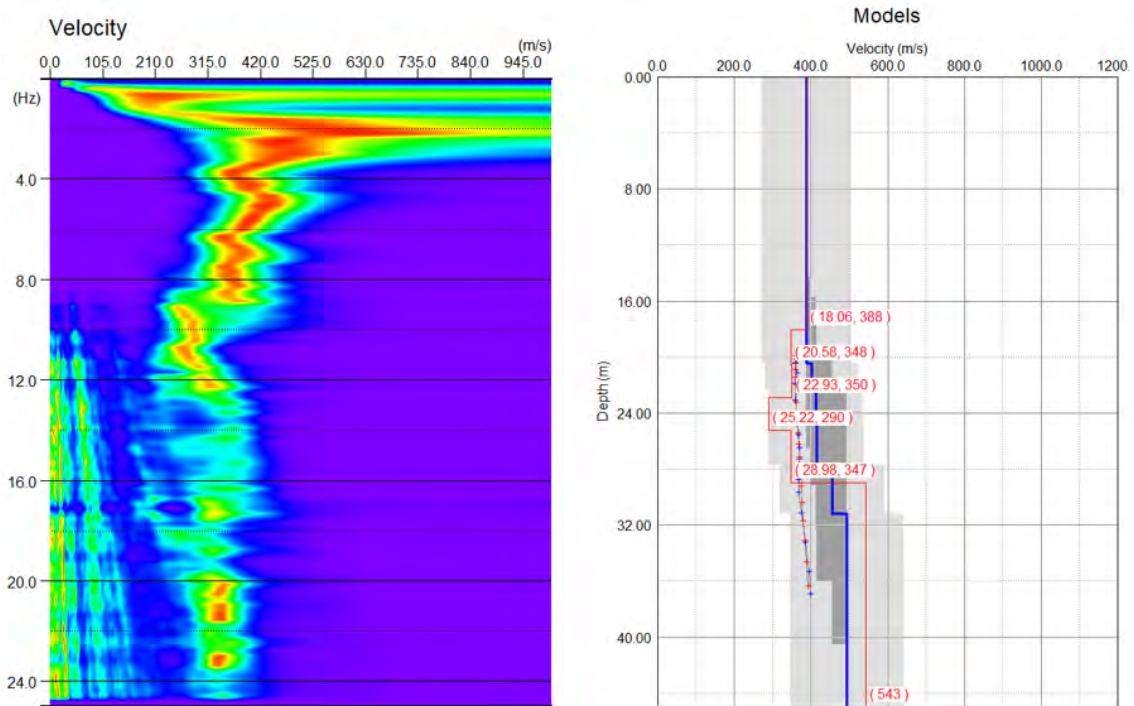
Att kombinera mätningar med fv-spektrum av märkbart låg kvalitet med en kurva med hög kvalitet genererar ett kombinerat fv-spektrum med lägre kvalitet, som därför ej kan analyseras vidare. Detta illustreras nedan av två mätningar med samplingsintervall på 1 ms och mättid på 120 000 ms för triangeluppställningen i Grevie (Figur 70).



Figur 70 Till vänster: De två fv-spektrumen bredvid varandra innan kombination skett. Till höger: Resultatet av kombinationen av fv-spektrum. Denna kombination hade ett samplingsintervall på 1 ms och en mättid på 120 000 ms. Y-axlarna visar frekvens i Hz.

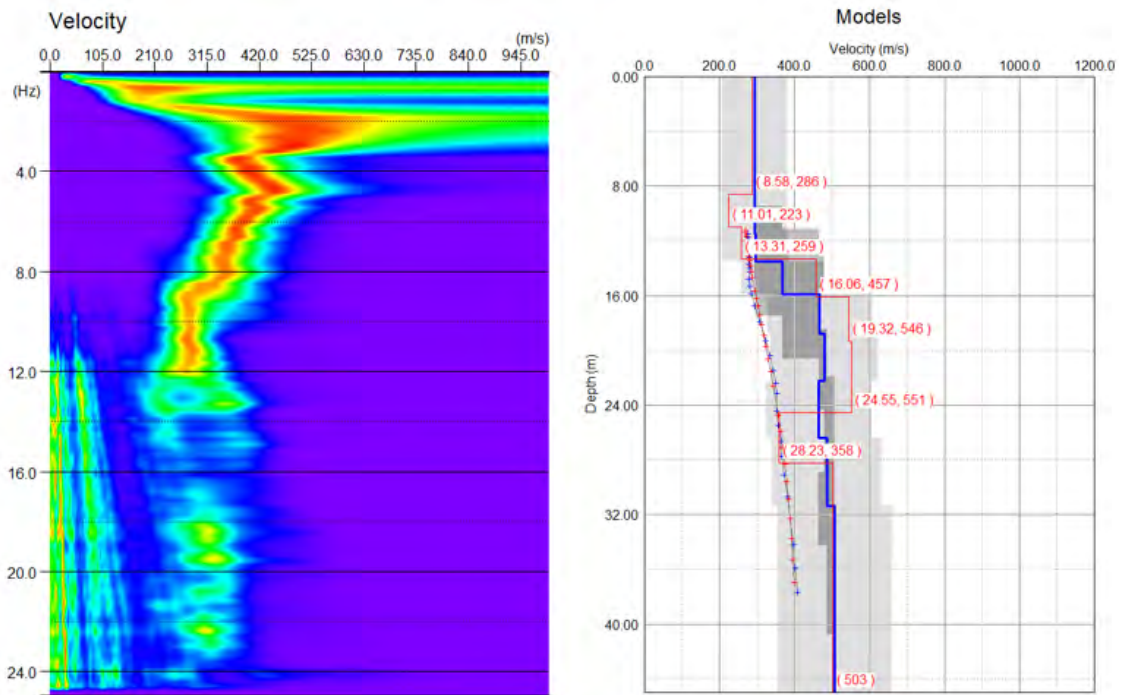
Misfit för de individuella mätningarna och de kombinerade skiljer sig markant åt för en mätning med samplingsintervall på 2 ms och mättid på 240 000 ms för

triangeluppställningen i Grevie, se Figur 71. Ett hack i peakvärdena i det kombinerade fv-spektrumet runt 10 Hz gjorde att färre punkter kunde väljas manuellt. Modellen för skjuvvågshastigheten startar vid cirka 18 meters djup.

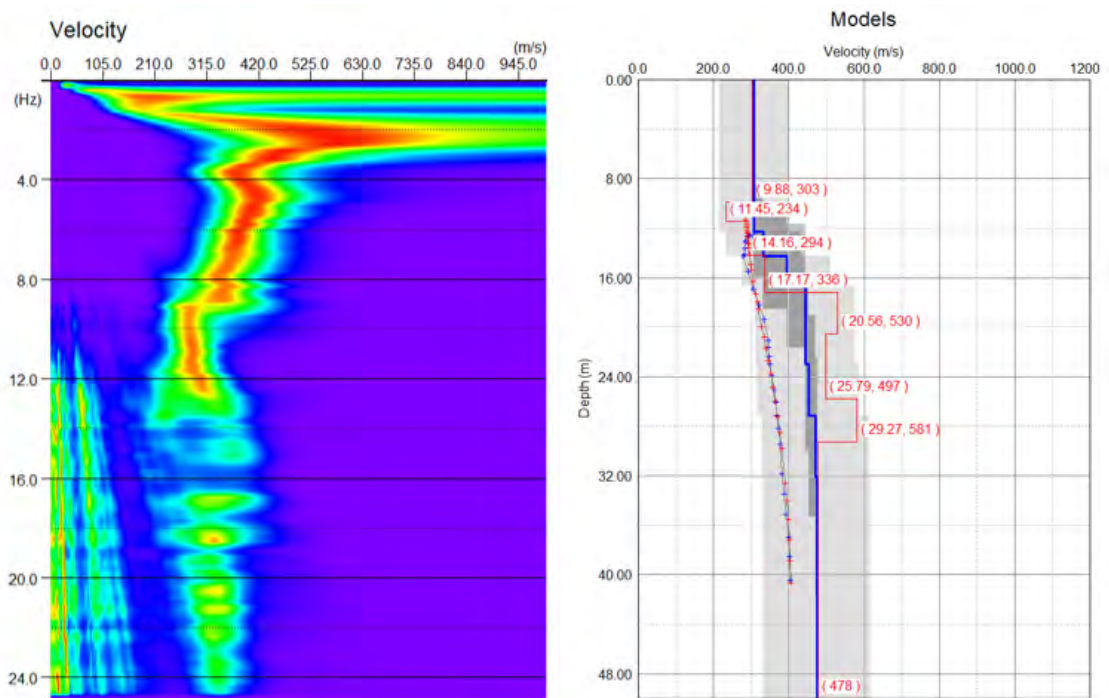


Figur 71 Till vänster: Kombinerat fv-spektrum för två mätningar, vars enskilda misfits var 5,89% och 5,97%. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten. Observera att denna kurva börjar vid cirka 18 meters djup, vilket är större än för kurvor från samma mätplats och uppställning. Denna kombination hade ett samplingsintervall på 2 ms och en mättid på 240 000 ms. Misfit blev 1,14%.

För de två längre mätningarna (480 000 ms respektive 960 000 ms mättid) blev däremot *misfit* ett värde mellan de korresponderande individuella mätningarnas *misfit*. I Figur 72 nedan visas modellen för skjuvvågshastigheten mot djupet, där *misfit* blev 2,59%. De individuella mätningarna hade en *misfit* på 1,05% respektive 3,71%. För mätningen i Figur 73 blev *misfit* 4,00% medan de individuella mätningarna gav en *misfit* på 5,22% och 3,43%. Båda fv-spektrummen är mer sammanhållna än för Figur 71 och modellerna börjar vid cirka 8,5 till 10 meters djup.



Figur 72 Till vänster: Kombinerat fv-spektrum för två mätningar, vars enskilda misfits var 1,05% och 3,71%. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten. Observera att denna kurva börjar vid cirka 18 meters djup, vilket är större än för kurvor från samma mätplats och uppställning. Denna kombination hade ett samplingsintervall på 4 ms och en mättid på 480 000 ms. Misfit blev 2,59%.



Figur 73 Till vänster: Kombinerat fv-spektrum för två mätningar, vars enskilda misfits var 5,22% och 3,43%. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten. Observera att denna kurva börjar vid cirka 18 meters djup, vilket är större än för kurvor från samma mätplats och uppställning. Denna kombination hade ett samplingsintervall på 8 ms och en mättid på 960 000 ms. Misfit blev 4,00%.

7.3 Inaktiverade geofoner

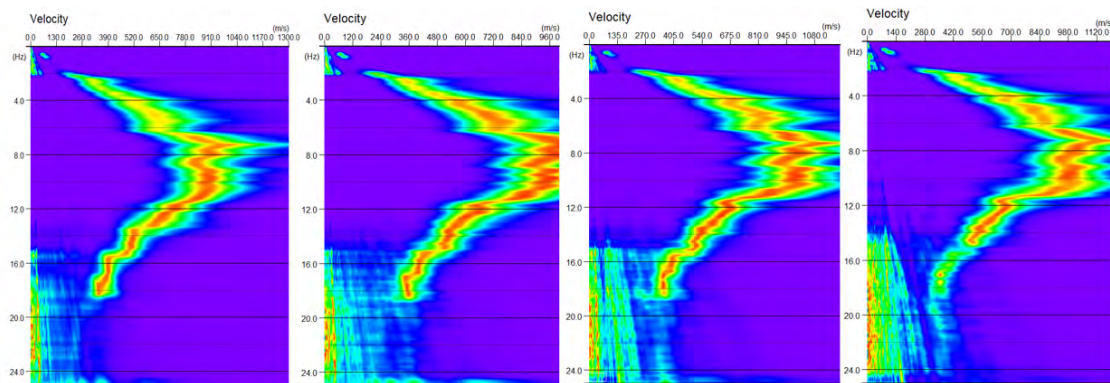
Med syfte att simulera uppställningar med olika antal stationer, har geofoner inaktiverats både längs cirkelns radie och för hela trianglar, men även enbart för mittgeofonen. En beskrivning av upplägget för denna inaktivering finns i det tidigare avsnittet 6.2.2 Inaktivering av geofoner.

7.3.1 Inaktivering i cirkeluppställning

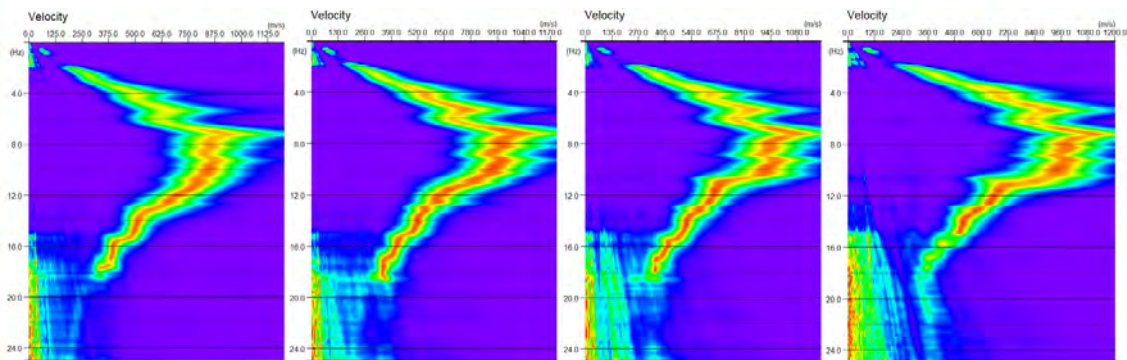
Cirkeluppställningarna i Tornhill och Greve har bestått av 78 geofoner för de stora cirklarna (25 meter respektive 15 meters radie), och 50 geofoner för de mindre cirklarna (med 5 meters radie). Utöver detta har det även funnits en mittgeofon för cirklarna i Greve och för den stora cirkeln i Tornhill vid en av mätuppställningarna. När geofonerna har inaktiverats har först 50% av den ursprungliga uppställningen varit aktiva, därefter 33% och till sist 25%. Nedan visas resultaten av inaktiveringen av geofoner för de olika cirkeluppställningarna.

7.3.1.1 Tornhill – Stor cirkel

För den stora cirkeluppställningen i Tornhill har geofoner inaktiverats för två mätningar med 4 ms samplingsintervall och 480 000 ms mättid, respektive 8 ms samplingsintervall och 960 000 ms mättid. Resultatet visas nedan i Figur 74 och Figur 75. Amplituden i spektrumet minskar med minskad andel aktiva geofoner. Även formen hos peakvärdena i fv-spektrumen ändras något; de blir mindre mjuka och jämna i formen och minskar sin utbredning i de högre frekvenserna.



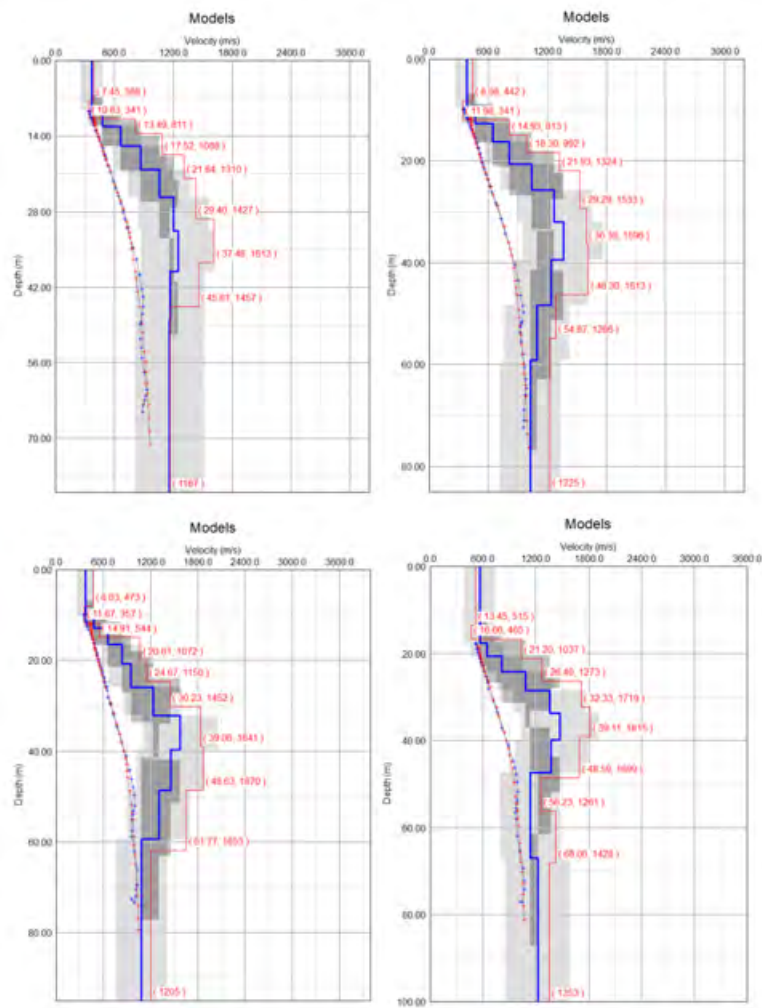
Figur 74 Från vänster till höger: Fv-spektrum för cirkel med 25 m i diameter, med minskande antal aktiva geofoner. Y-axlarna visar frekvens i Hz. Mätningen hade ett samplingsintervall på 4 ms och mättid på 480 000 ms. Längst till höger är 100% av geofonerna aktiva, därefter 50%, 33% och slutligen 25%. Observera att skalan i x-led för hastighet varierar. Notera hur amplituden i fv-spektra minskar med lägre andel aktiva geofoner för högre frekvenser.



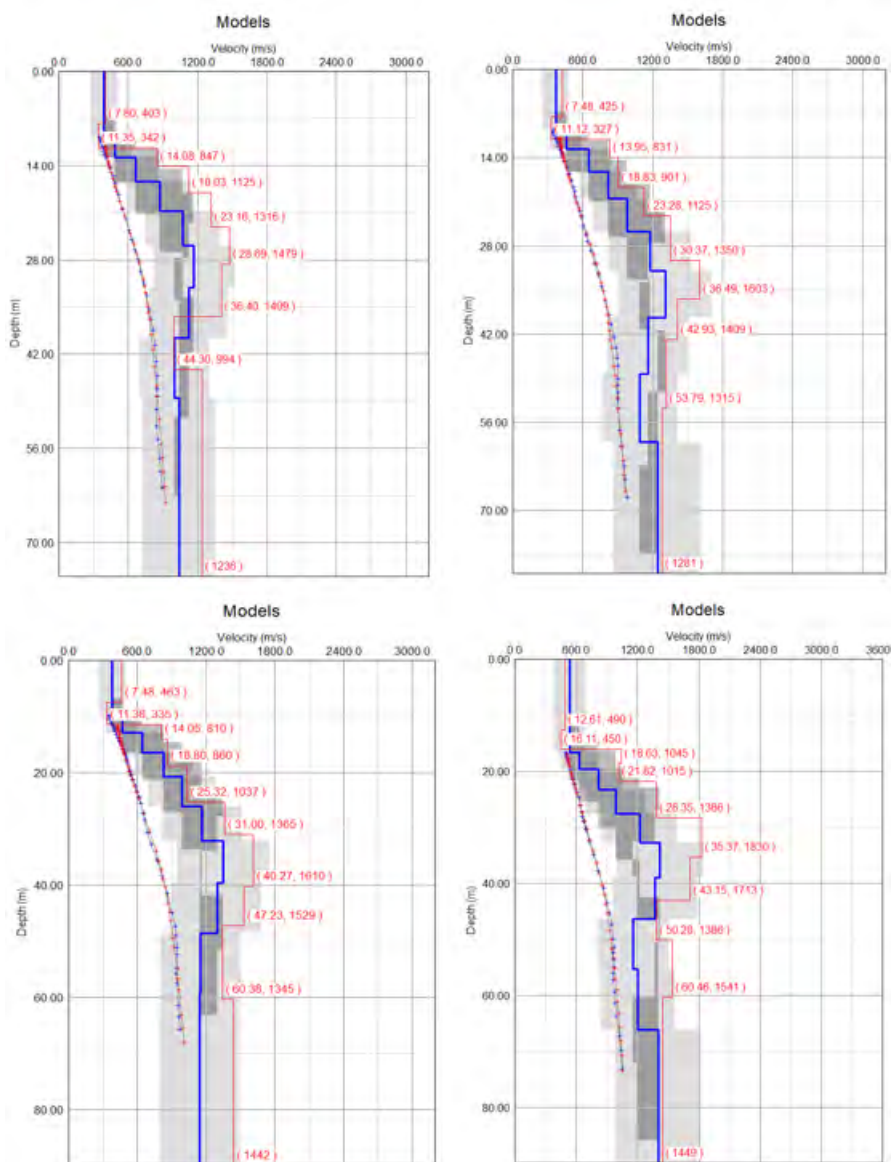
Figur 75 Från vänster till höger: Fv-spektrum för cirkel med 25 m i diameter, med minskande antal aktiva geofoner. Y-axlarna visar frekvens i Hz. Mätningen hade ett samplingsintervall på 8 ms och mättid på 960 000 ms. Längst till höger är 100% av geofonerna aktiva, därefter 50%, 33% och slutligen 25%. Observera att skalan i x-led för hastighet varierar. Notera hur amplituden i fv-spektra minskar med lägre andel aktiva geofoner.

Även modellerna för skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet ändras med minskat antal geofoner, se Figur 76 och Figur 77 (som motsvarar fv-spektrumen i Figur 74 respektive Figur 75 ovan). I Figur 76 liknar kurvorna varandra i intervallet 8 till 40 meter, men därefter visar de kurvor med färre geofoner aktiva på en minskad skjuvvågshastighet för större djup än 40 meter. Grafen för 25% aktiva geofoner startar på ett större djup än för de övriga; cirka 13,5 meters djup istället för cirka 8 meter. Samma mönster ses i Figur 77, men där är intervallet där kurvorna liknar varandra istället 7,5 till 40 meters djup, och för kurvan med lägst andel aktiva geofoner ökar startdjupet från cirka 7,5 meter till 12,5 meters djup.

Misfit för de inversa modellerna i Figur 76 och Figur 77 ses sammanställda i Tabell 5. Jämfört med misfit när 100% är aktiva, blir misfit högre när 50% och 33% av geofonerna är aktiva, men blir lägre när 25% av geofonerna är aktiva, vilket inte är intuitivt.



Figur 76 Från övre vänstra hörnet till nedre högra hörnet: modeller av skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet med 100% av geofonerna aktiva respektive 50%, 33% och 25%. Dessa grafer tillhör cirkeluppställningen med 25 meters radie och motsvarar Figur 74 ovan. De fyra inversa modellerna är lika varandra mellan cirka 8 och 40 meter. Vid djup större än 40 meter skiljer sig modellerna åt, där de med lägre andel geofoner aktiva visar på en minskande skjuvvågshastighet med djupet. Kurvan för 25% aktiva geofoner börjar på ett större djup än de övriga; cirka 13,5 meter jämfört med cirka 8 meter. Observera att skalan för djupet skiljer sig något åt mellan de fyra graferna.



Figur 77 Från övre vänstra hörnet till nedre högra hörnet: modeller av skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet med 100% av geofonerna aktiva respektive 50%, 33% och 25%. Dessa grafer tillhör cirkeluppställningen med 25 meters radie och motsvarar Figur 75 ovan. De fyra inversa modellerna är lika varandra mellan cirka 7,5 och 40 meter. Vid djup större än 40 meter skiljer sig modellerna åt, där de med lägre andel geofoner aktiva visar på en minskande skjuvvågshastighet med djupet. Kurvan för 25% aktiva geofoner börjar på ett större djup än de övriga; cirka 12,5 meter jämfört med cirka 7,5 meter. Observera att skalan för djupet skiljer sig något åt mellan de fyra graferna.

Tabell 5 Misfit för stor cirkeluppställning i Tornhill med mätningar med samplingsintervall på 4 ms respektive 8 ms och mättid på 480 000 ms respektive 960 000 ms. Parametrar för upplösningen av hastighet och djup i inversionsprocessen anges.

BESKRIVNING AV MÄTNING	UPPLÖSNING HASTIGHET [m/s]	UPPLÖSNING DJUP [m]	MISFIT [%]
4 ms samplingsintervall, 480 000 ms mättid			
100% aktiva	2,0	0,1	6,03
50% aktiva	4,0	0,2	6,28
33% aktiva	2,0	0,2	7,73
25% aktiva	2,0	0,1	4,19
8 ms samplingsintervall, 960 000 ms mättid			
100% aktiva	4,0	0,1	4,13

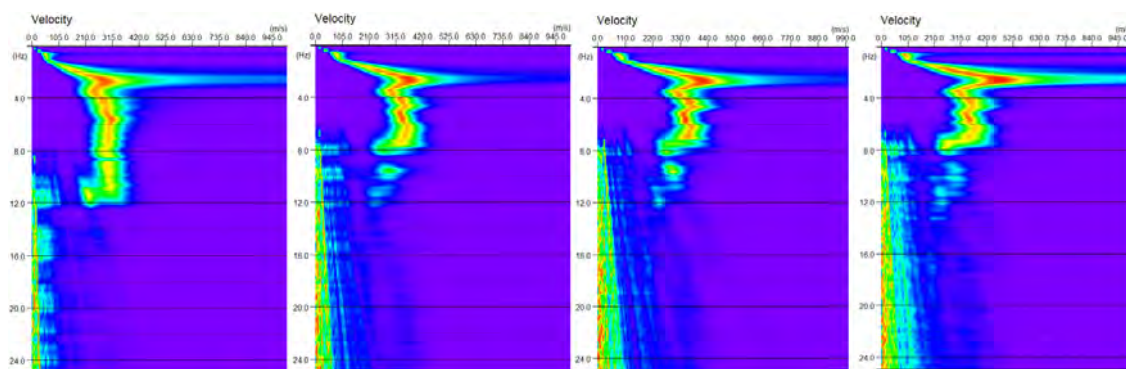
50% aktiva	6,0	0,3	5,74
33% aktiva	2,0	0,2	6,74
25% aktiva	4,0	0,1	3,13

7.3.1.2 Tornhill – Liten cirkel

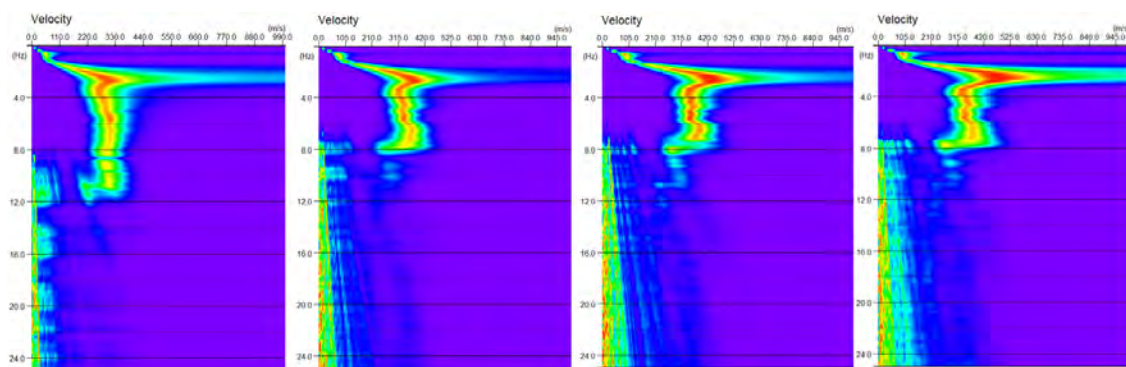
På grund av den redan låga kvaliteten på mätningarna för den mindre cirkeluppställningen i Tornhill gjordes inga analyser av inaktivering av geofoner.

7.3.1.3 Grevie – Stor cirkel

Inaktivering av geofoner har skett för två mätningar med stor cirkeluppställning i Grevie. Precis som vid inaktiveringen av den stora cirkeln i Tornhill ändras formen till att bli mindre mjuk och jämn hos fv-spektrum med minskad andel aktiva geofoner. Det blir mer brus vid låga hastigheter för de högre frekvenserna, se Figur 78 och Figur 79.



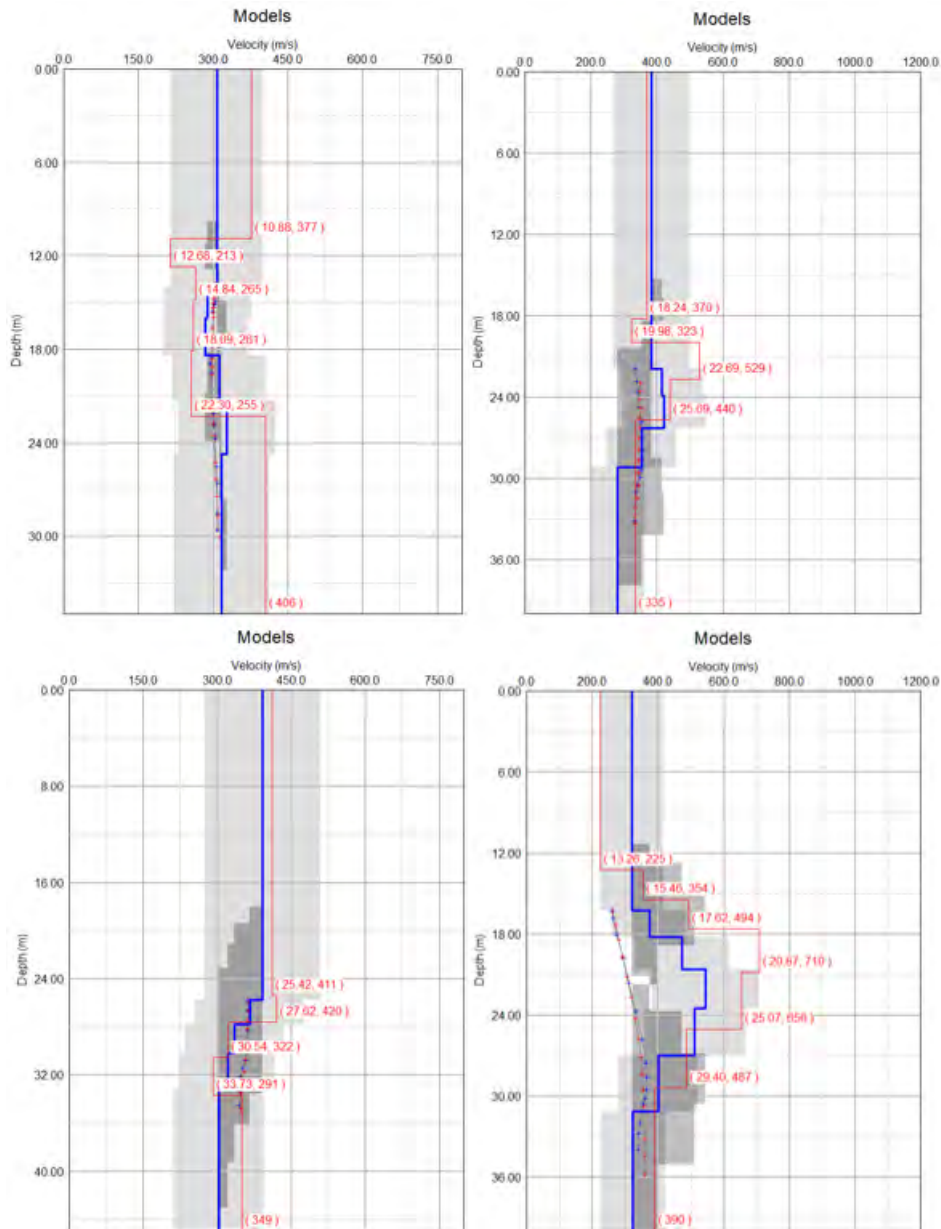
Figur 78 Från vänster till höger: Fv-spektrum för cirkel med 15 m i diameter, med minskande antal aktiva geofoner. Y-axlarna visar frekvens i Hz. Mätningen hade ett samplingsintervall på 4 ms och mättid på 480 000 ms. Längst till höger är 100% av geofonerna aktiva, därefter 50%, 33% och slutligen 25%. Observera att skalan i x-led för hastighet varierar.



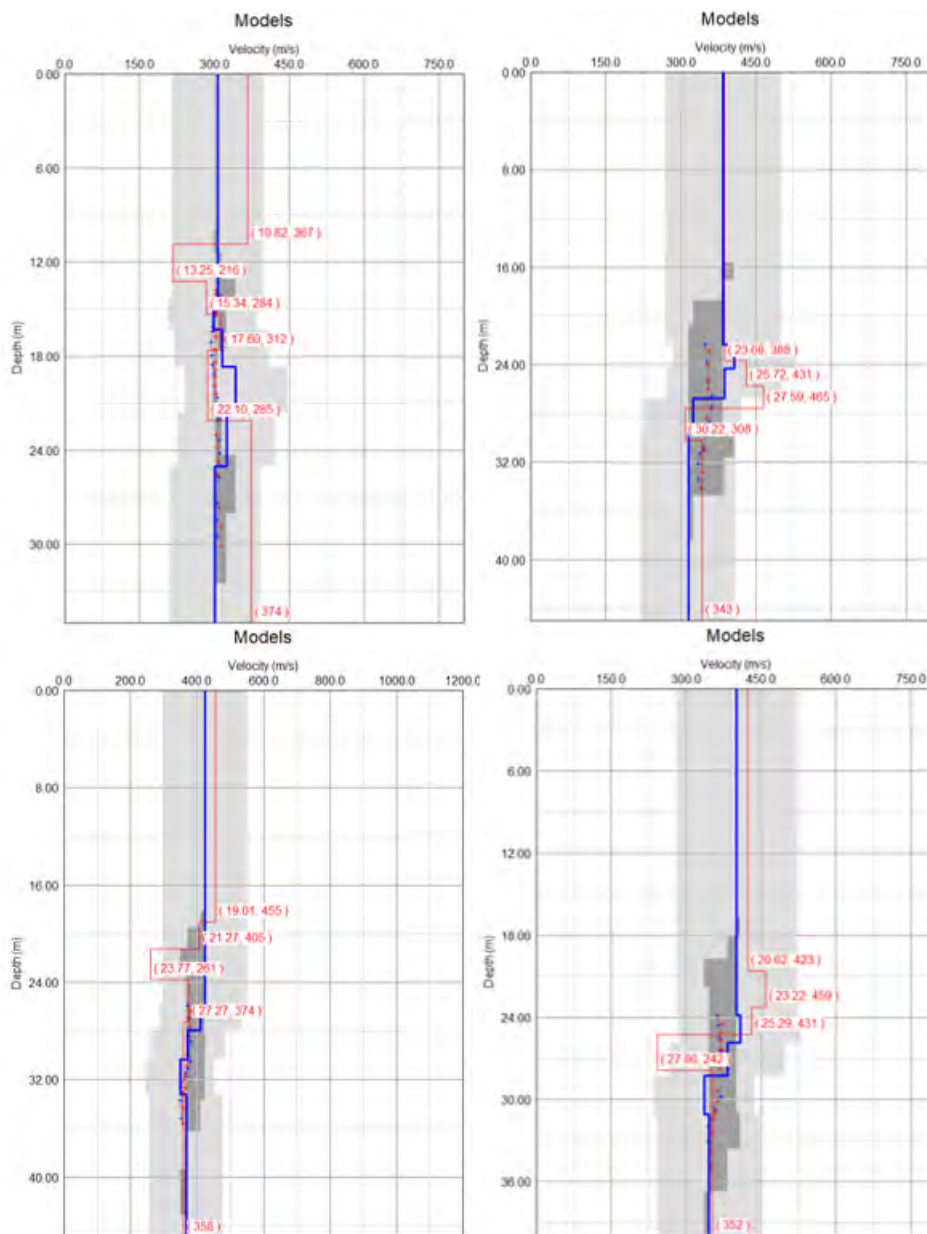
Figur 79 Från vänster till höger: Fv-spektrum för cirkel med 15 m i diameter, med minskande antal aktiva geofoner. Y-axlarna visar frekvens i Hz. Mätningen hade ett samplingsintervall på 8 ms och mättid på 960 000 ms. Längst till höger är 100% av geofonerna aktiva, därefter 50%, 33% och slutligen 25%. Observera att skalan i x-led för hastighet varierar.

Nedan ses modellerna för skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet i Figur 80 och Figur 81 som motsvarar Figur 78 och Figur 79 ovan. Modellerna skiljer sig markant åt i både form, startdjup, antal lager och skjuvvågshastigheter för båda mätningarna.

Misfit för dessa kurvor redogörs för i Tabell 6. Misfit varierar för den kortare mätningen, men är relativt lika för den längre mätningen.



Figur 80 Från övre vänstra hörnet till nedre högra hörnet: modeller av skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet med 100% av geofonerna aktiva respektive 50%, 33% och 25%. Dessa grafer tillhör cirkeluppställningen med 15 meters radie och motsvarar Figur 78 ovan. De fyra modellerna skiljer sig åt från varandra vad gäller form, startdjup, antal lager och skjuvvågshastighet. Observera att skalan för djup och skjuvvågshastighet skiljer sig något åt mellan de fyra graferna.



Figur 81 Från övre vänstra hörnet till nedre högra hörnet: modeller av skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet med 100% av geofonerna aktiva respektive 50%, 33% och 25%. Dessa grafer tillhör cirkeluppställningen med 15 meters radie och motsvarar Figur 79 ovan. De fyra modellerna skiljer sig åt från varandra vad gäller form, startdjup, antal lager och skjuvvågshastighet. Observera att skalan för djup och skjuvvågshastighet skiljer sig något åt mellan de fyra graferna.

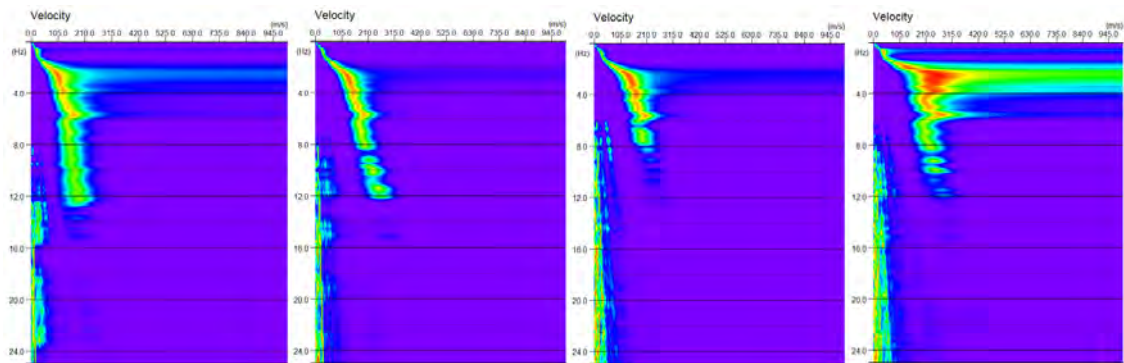
Tabell 6 Misfit för stor cirkeluppställning i Greve med mätningar med samplingsintervall på 4 ms respektive 8 ms och mättid på 480 000 ms respektive 960 000 ms. Parametrar för upplösningen av hastighet och djup i inversionsprocessen anges.

BESKRIVNING AV MÄTNING	UPPLÖSNING HASTIGHET [m/s]	UPPLÖSNING DJUP [m]	MISFIT [%]
4 ms samplingsintervall, 480 000 ms mättid			
100% aktiva	6,0	0,3	0,97
50% aktiva	4,0	0,2	2,31
33% aktiva	2,0	0,1	0,55
25% aktiva	6,0	0,3	3,93
8 ms samplingsintervall, 960 000 ms mättid			
100% aktiva	4,0	0,2	1,62

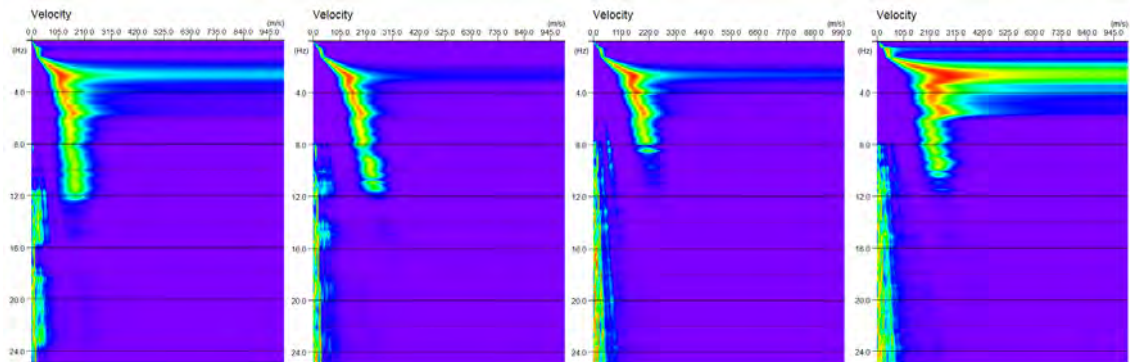
50% aktiva	2,0	0,1	1,87
33% aktiva	4,0	0,2	1,43
25% aktiva	2,0	0,1	1,55

7.3.1.4 Grevie – Liten cirkel

Inaktivering har även skett för den mindre cirkeluppställningen i Grevie för två mätningar. Peakvärdena i fv-spektrumen liknar varandra när man jämför Figur 82 och Figur 83 nedan; peakvärdena minskar i amplitud för de högre frekvenserna vid lägre andel aktiva geofoner, men vid endast 25% aktiva geofoner ser kurvan märkbart annorlunda ut jämfört med de tidigare. Bruset vid låga hastigheter för höga frekvenser är också som störst med lägst andel aktiva geofoner.



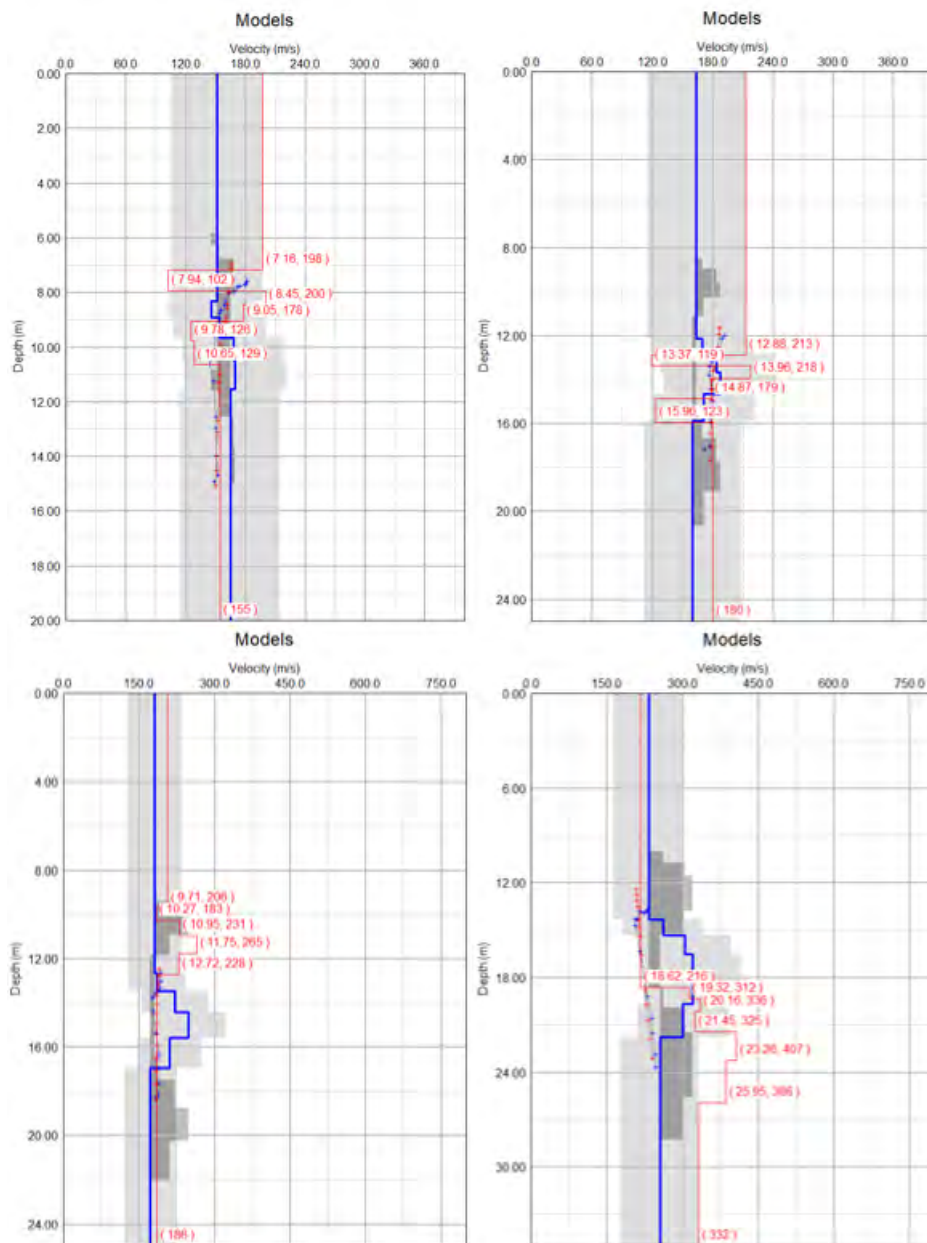
Figur 82 Från vänster till höger: Fv-spektrum för cirkel med 5 m i diameter, med minskande antal aktiva geofoner. Y-axlarna visar frekvens i Hz. Mätningen hade ett samplingsintervall på 4 ms och mättid på 480 000 ms. Längst till höger är 100% av geofonerna aktiva, därefter 50%, 33% och slutligen 25%. Observera att skalan i x-led för hastighet varierar. Notera hur amplituden i peakvärdena i fv-spektrumen minskar i amplitud med lägre andel aktiva geofoner.



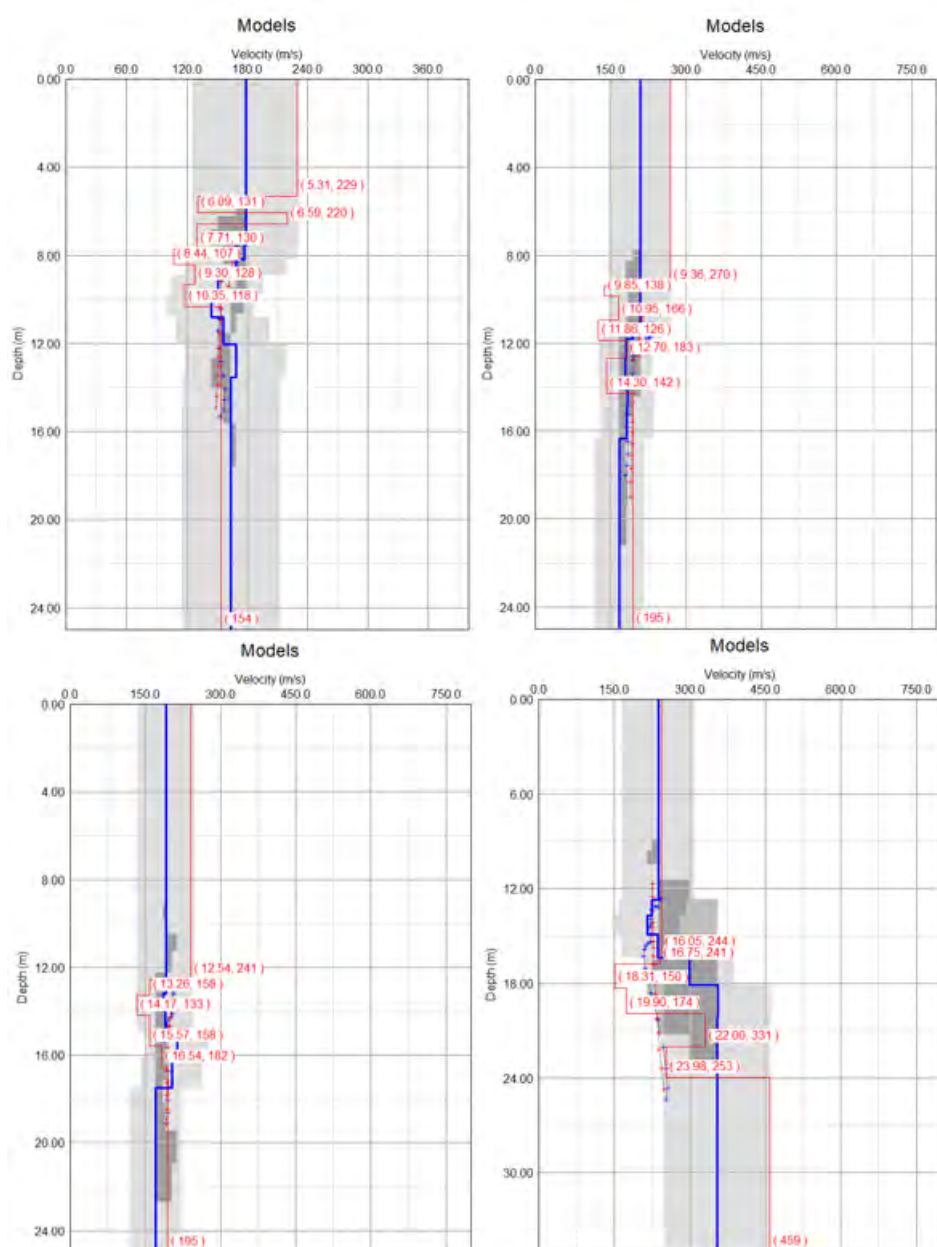
Figur 83 Från vänster till höger: Fv-spektrum för cirkel med 5 m i diameter, med minskande antal aktiva geofoner. Y-axlarna visar frekvens i Hz. Mätningen hade ett samplingsintervall på 8 ms och mättid på 960 000 ms. Längst till höger är 100% av geofonerna aktiva, därefter 50%, 33% och slutligen 25%. Observera att skalan i x-led för hastighet varierar. Notera hur amplituden i peakvärdena i fv-spektrumen minskar i amplitud med lägre andel aktiva geofoner.

Modellerna för skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet skiljer sig mellan de olika andelarna aktiva geofoner i både Figur 84 och Figur 85 nedan. De skiljer sig åt vad gäller form, startdjup, antal lager och skjuvvågshastighet.

Misfit för modellerna anges nedan i Tabell 7. Misfit varierar mellan 1,23 och 5,14% för båda mätningarna.



Figur 84 Från övre vänstra hörnet till nedre högra hörnet: modeller av skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet med 100% av geofonerna aktiva respektive 50%, 33% och 25%. Dessa grafer tillhör cirkeluppställningen med 5 meters radie och motsvarar Figur 82 ovan. De fyra modellerna skiljer sig åt från varandra vad gäller form, startdjup, antal lager och skjuvvågshastighet. Observera att skalan för djupet skiljer sig något åt mellan de fyra graferna.



Figur 85 Från övre vänstra hörnet till nedre högra hörnet: modeller av skjuv vågshastigheten i förhållande till djupet med 100% av geofonerna aktiva respektive 50%, 33% och 25%. Dessa grafer tillhör cirkeluppställningen med 5 meters radie och motsvarar Figur 83 ovan. De fyra modellerna skiljer sig åt från varandra vad gäller form, startdjup, antal lager och skjuv vågshastighet. Observera att skalan för djupet skiljer sig något åt mellan de fyra graferna.

Tabell 7 Misfit för liten cirkeluppställning i Grevie med mätningar med samplingsintervall på 4 ms respektive 8 ms och mättid på 480 000 ms respektive 960 000 ms. Parametrar för upplösningen av hastighet och djup i inversionsprocessen anges.

BESKRIVNING AV MÄTNING	UPPLÖSNING HASTIGHET [m/s]	UPPLÖSNING DJUP [m]	MISFIT [%]
4 ms samplingsintervall, 480 000 ms mättid			
100% aktiva	6,0	0,3	4,21
50% aktiva	4,0	0,2	1,42
33% aktiva	2,0	0,2	2,53
25% aktiva	4,0	0,2	4,08
8 ms samplingsintervall, 960 000 ms mättid			

100% aktiva	6,0	0,3	2,01
50% aktiva	2,0	0,2	5,14
33% aktiva	4,0	0,1	1,23
25% aktiva	2,0	0,2	5,09

7.3.2 Inaktivering i triangeluppställning

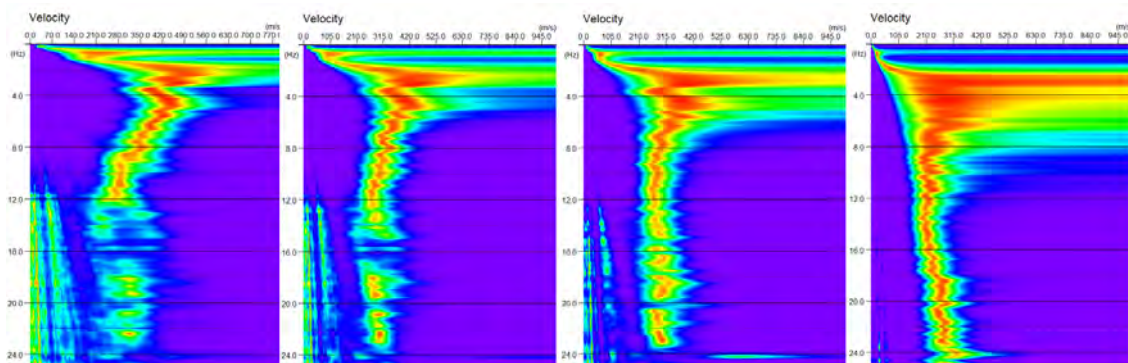
7.3.2.1 Tornhill

Eftersom samtliga mätningar med triangeluppställning i Tornhill var av dålig kvalitet bedömdes det som fruktlöst att minska antalet aktiva geofoner ytterligare.

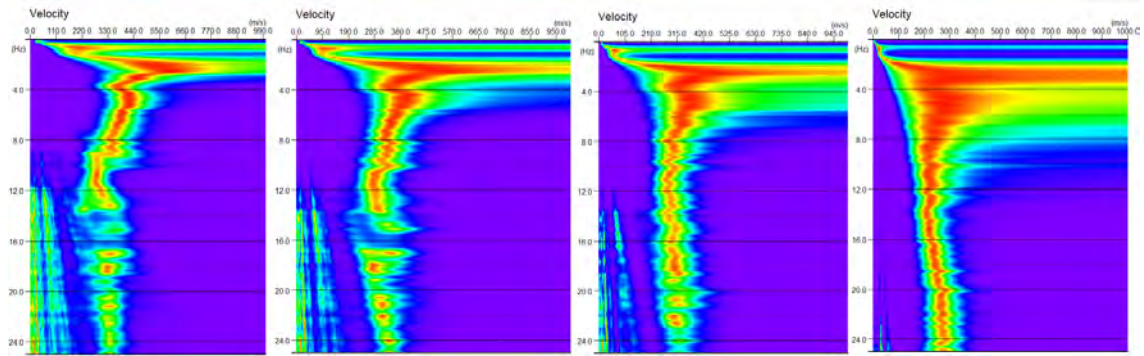
7.3.2.2 Grevie

Två analyser av inaktivering av trianglar för Grevie genomfördes; först för en mätning på 4 ms samplingsintervall och 480 000 ms mättid och sedan för en för 8 ms samplingsintervall och 960 000 ms mättid. En hel triangel har inaktiverats i taget med start från den yttersta, se det tidigare avsnittet 6.2.2 Inaktivering av geofoner. Fv-spektrummen visas nedan i Figur 86 och Figur 87. Båda figurerna följer samma mönster, med mer diffusa peakvärden för de lägre frekvenserna men med en ökande amplitud hos peakvärdena för de lägre frekvenserna, ju fler trianglar som inaktiveras.

En annan observation är att med färre geofoner, blir utseendet för peakvärdena i fv-spektrummet alltmer lik en rät linje som utgår från origo, vilket kan kopplas till artefakter på grund av undersampling, se kapitel 6.1.2 Vikningseffekter och artefakter. Det tyder på att färre aktiva geofoner till slut ger oanvändbara resultat och att fler geofoner (till en viss gräns) är bättre.



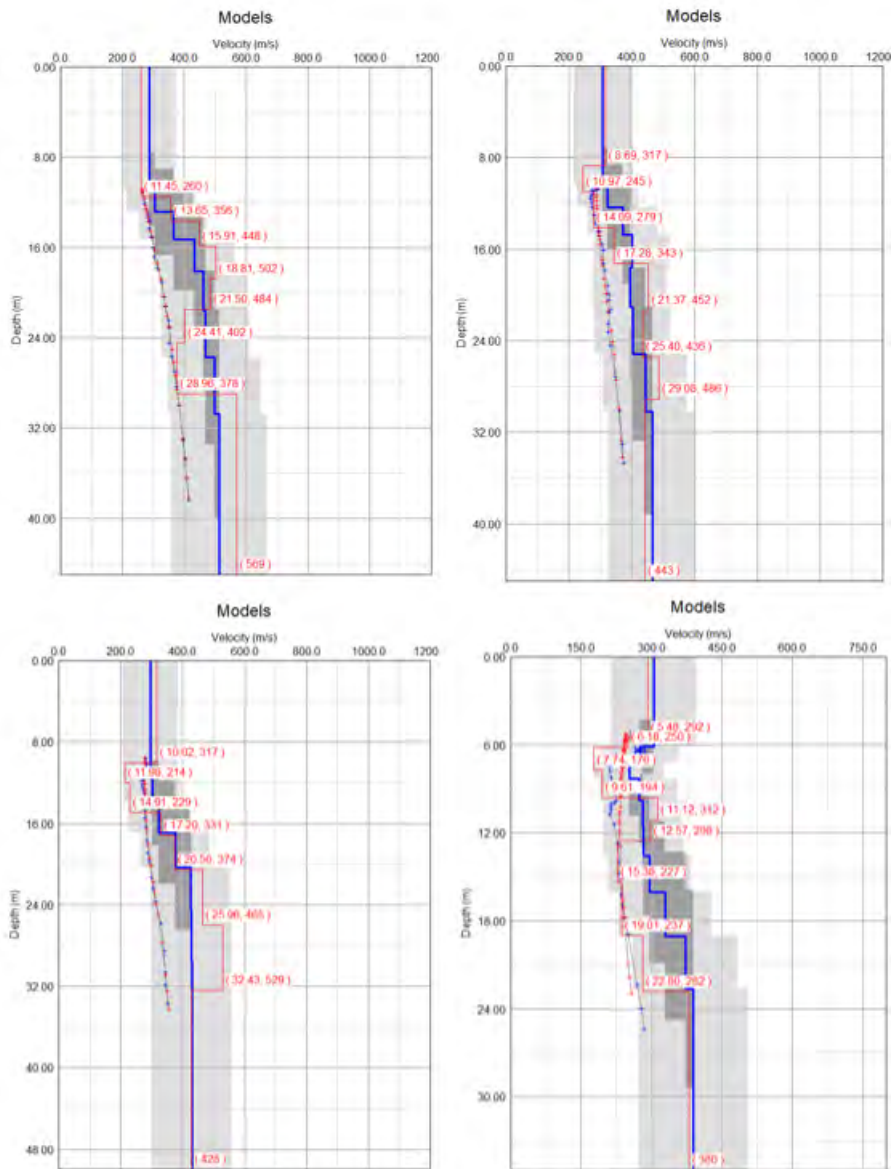
Figur 86 Från vänster till höger: Fv-spektrum för triangeluppställning, med minskande antal aktiva geofoner. Y-axlarna visar frekvens i Hz. Mätningen hade ett samplingsintervall på 4 ms och mättid på 480 000 ms. Längst till höger är alla geofonerna aktiva, har en triangel inaktiverats i taget från den yttersta och inåt. Observera att skalan i x-led för hastighet varierar. Notera hur de högre frekvenserna ökar i amplitud med minskande antal geofoner, medan de lägre frekvenserna får en mer diffus spridning.



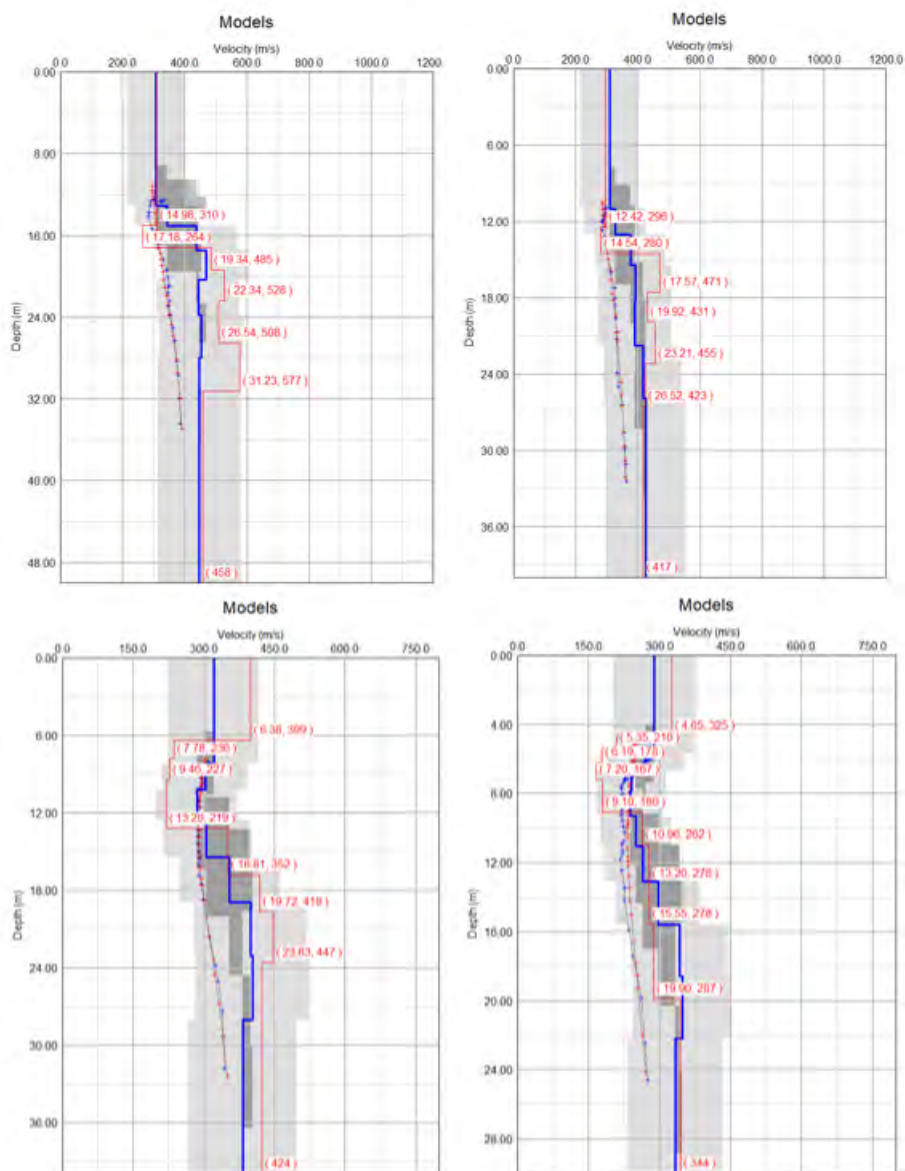
Figur 87 Från vänster till höger: Fv-spektrum för triangeluppställning, med minskande antal aktiva geofoner. Y-axlarna visar frekvens i Hz. Mätningen hade ett samplingsintervall på 8 ms och mättid på 960 000 ms. Längst till höger är alla geofonerna aktiva, därefter har en triangel inaktiverats i taget från den yttersta och inåt. Observera att skalan i x-led för hastighet varierar. Notera hur de högre frekvenserna ökar i amplitud med minskande antal geofoner, medan de lägre frekvenserna får en mer diffus spridning.

När det gäller modellerna för skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet är de första tre graferna i Figur 88 nedan relativt lika varandra vad gäller startdjupet, form på kurvan och skjuvvågshastighet för djup mindre än 24 meter, medan den fjärde skiljer sig på dessa punkter. Graferna i Figur 89 liknar de i Figur 88, med undantaget att de två första och två sista graferna skiljer sig åt vad gäller startdjupet i kurvan över skjuvvågshastigheten, form på kurvan och själva skjuvvågshastigheten för djup större än 24 meter.

Misfit för dessa kurvor redogörs för i Tabell 8. Misfit varierar mellan 1,05 och 9,61% för båda mätningarna.



Figur 88 Från övre vänstra hörnet till nedre högra hörnet: modeller av skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet med alla geofoner aktiva respektive med en, två och tre inaktiverade trianglar med start från den yttersta triangeln. Dessa grafer motsvarar Figur 86 ovan. Den fjärde kurvan är olik resten då den visar en minskande skjuvvågshastighet runt 6 meters djup som därefter ökar. Den sista angivna skjuvvågshastigheten har ett lägre värde för den fjärde grafen än hos de andra tre graferna.



Figur 89 Från övre vänstra hörnet till nedre högra hörnet: modeller av skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet med alla geofoner aktiva respektive med en, två och tre inaktiverade trianglar med start från den yttersta triangeln. Dessa grafer motsvarar Figur 87 ovan. De två första kurvorna är mer lika varandra, exempelvis vad gäller startdjup. Den tredje och fjärde kurvan visar en minskande skjuvvågshastighet runt 6,5 respektive 4,5 meters djup som därefter ökar.

Tabell 8 Misfit för triangeluppställning i Greve med mätningar med samplingsintervall på 4 ms respektive 8 ms och mättid på 480 000 ms respektive 960 000 ms. Parametrar för upplösningen av hastighet och djup i inversionsprocessen anges.

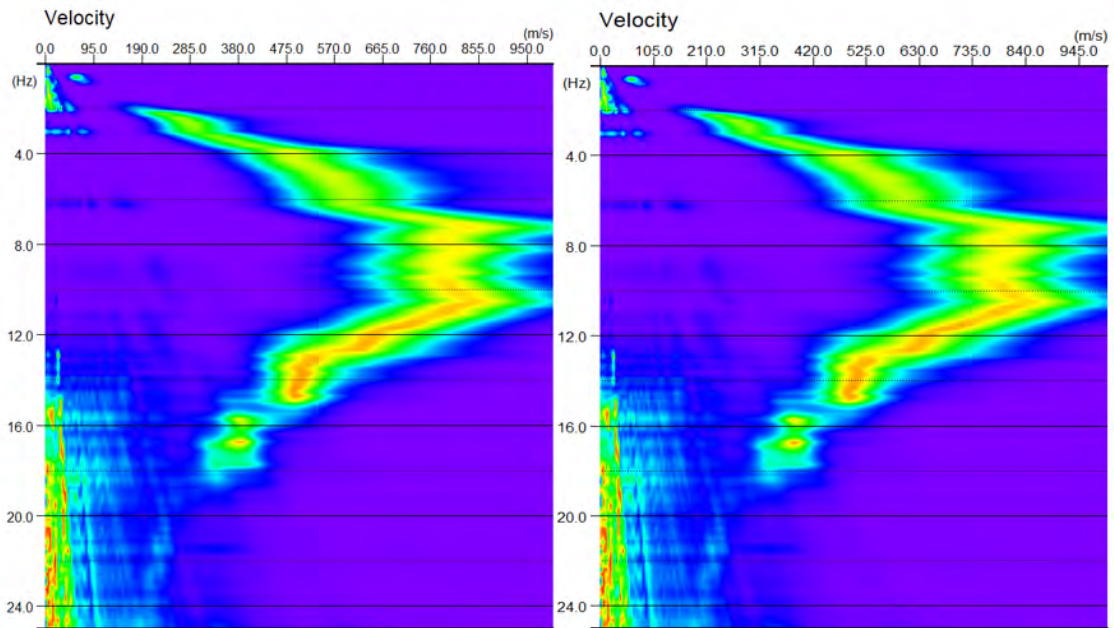
BESKRIVNING AV MÄTNING	UPPLÖSNING HASTIGHET [m/s]	UPPLÖSNING DJUP [m]	MISFIT [%]
4 ms samplingsintervall, 480 000 ms mättid			
Alla trianglar aktiva	2,0	0,1	1,05
En triangel inaktiverad	4,0	0,1	3,50
Två trianglar inaktiverade	4,0	0,1	1,88
Tre trianglar inaktiverade	4,0	0,2	9,61
8 ms samplingsintervall, 960 000 ms mättid			
Alla trianglar aktiva	6,0	0,3	5,22
En triangel inaktiverad	4,0	0,1	2,04

Två trianglar inaktiverade	8,0	0,4	1,22
Tre trianglar inaktiverade	6,0	0,3	6,80

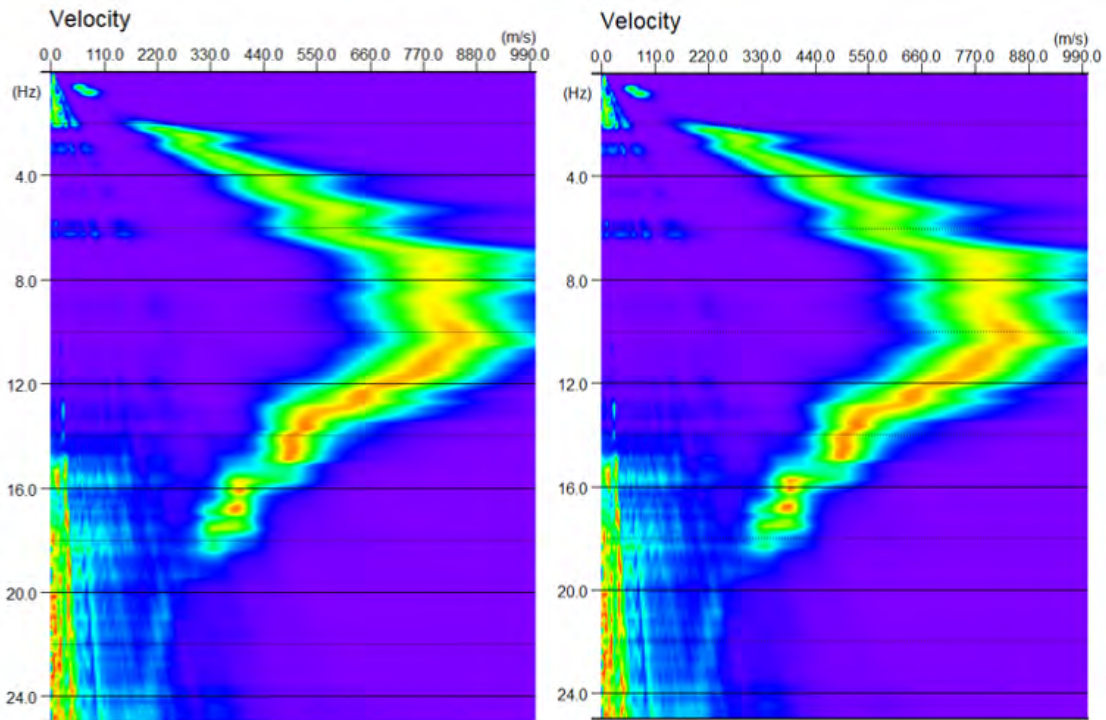
7.3.3 Inaktivering av mittpunkt i cirkeluppställning

7.3.3.1 Tornhill – Stor cirkel

Inaktivering av mittgeofonen skedde för två mätningar för den stora cirkeln i Tornhill, med samplingsintervall på 4 respektive 8 ms samt mättid på 480 000 ms respektive 960 000 ms. I Figur 90 och Figur 91 nedan visas en jämförelse av fv-spektrumen med och utan mittgeofon aktiverad. Resultaten är nästintill identiska.

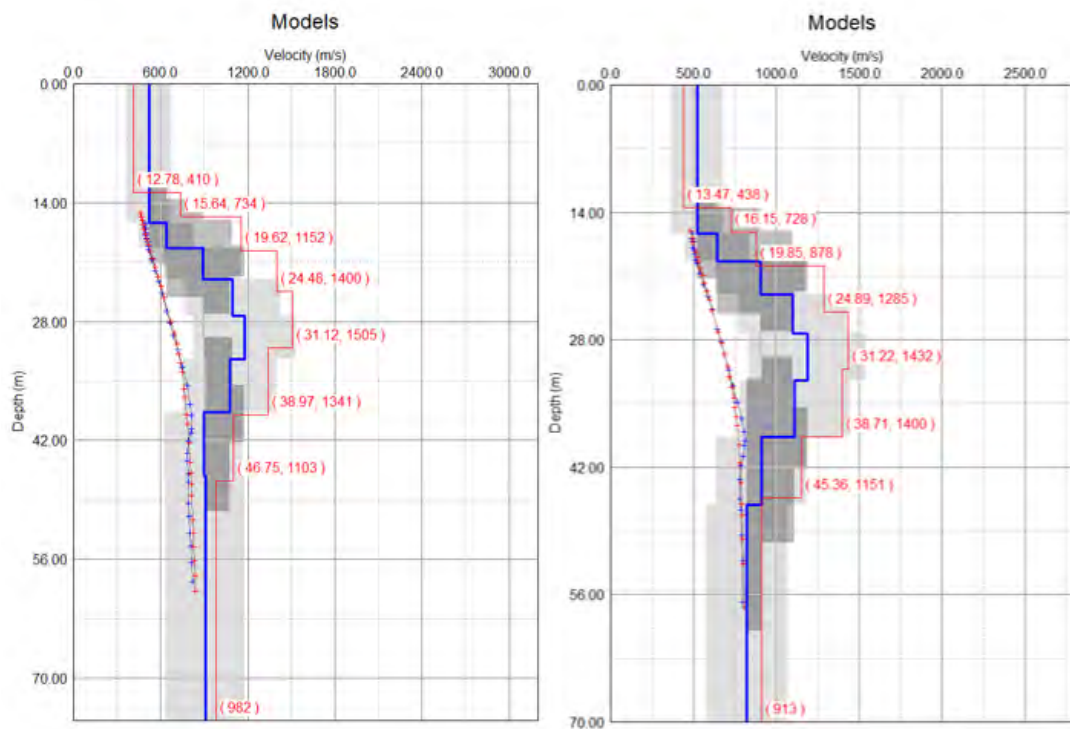


Figur 90 Till vänster: Fv-spektrum för mätning för stor cirkel med mittgeofon aktiv i Tornhill. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Fv-spektrum för samma mätning med mittgeofonen inaktiverad. Mätningen hade ett samplingsintervall på 4 ms och en mättid på 480 000 ms.

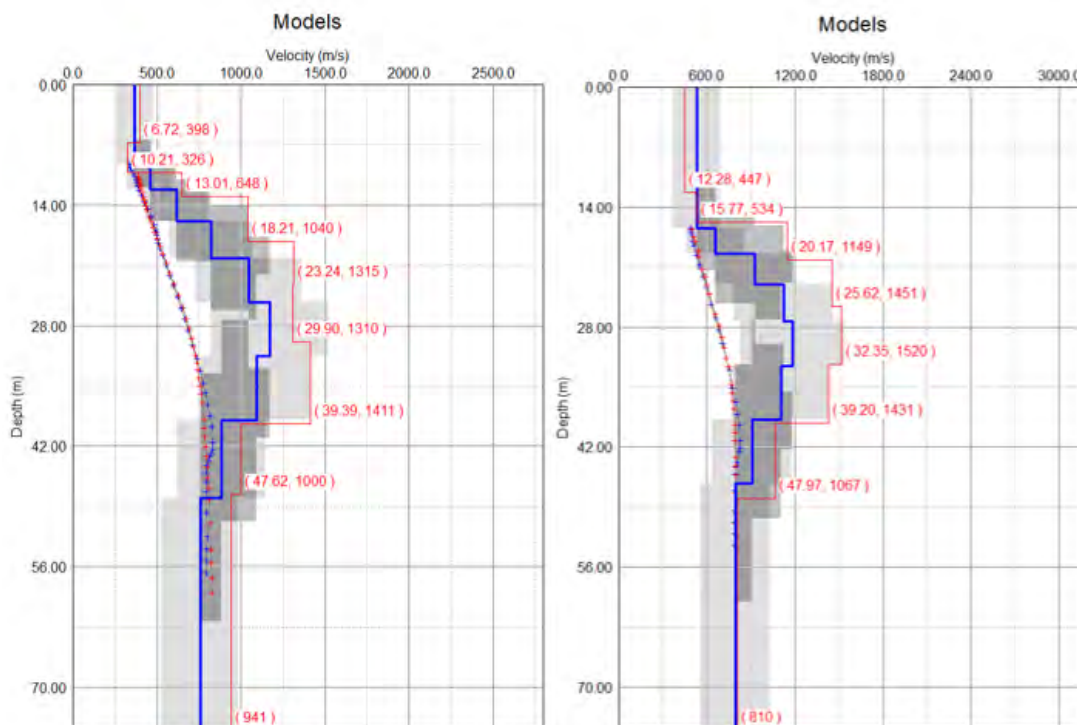


Figur 91 Till vänster: Fv-spektrum för mätning för stor cirkel med mittgeofon aktiv i Tornhill. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Fv-spektrum för samma mätning med mittgeofonen inaktiverad. Mätningen hade ett samplingsintervall på 8 ms och en mättid på 960 000 ms.

Modeller över skjuvvågshastigheten mot djupet har skapats för dessa kurvor, och resultaten är även de överlag lika varandra när man jämför mätningarna med och utan aktiv mittgeofon, både vad gäller form på kurvan, djup och skjuvvågshastigheter. Se Figur 92 och Figur 93 nedan. För *misfit*, se Bilaga A.



Figur 92 Till vänster: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet för mätning för stor cirkel med mittgeofon aktiv i Tornhill. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet för samma mätning med mittgeofonen inaktiverad. Mätningen hade ett samplingsintervall på 4 ms och en mättid på 480 000 ms.



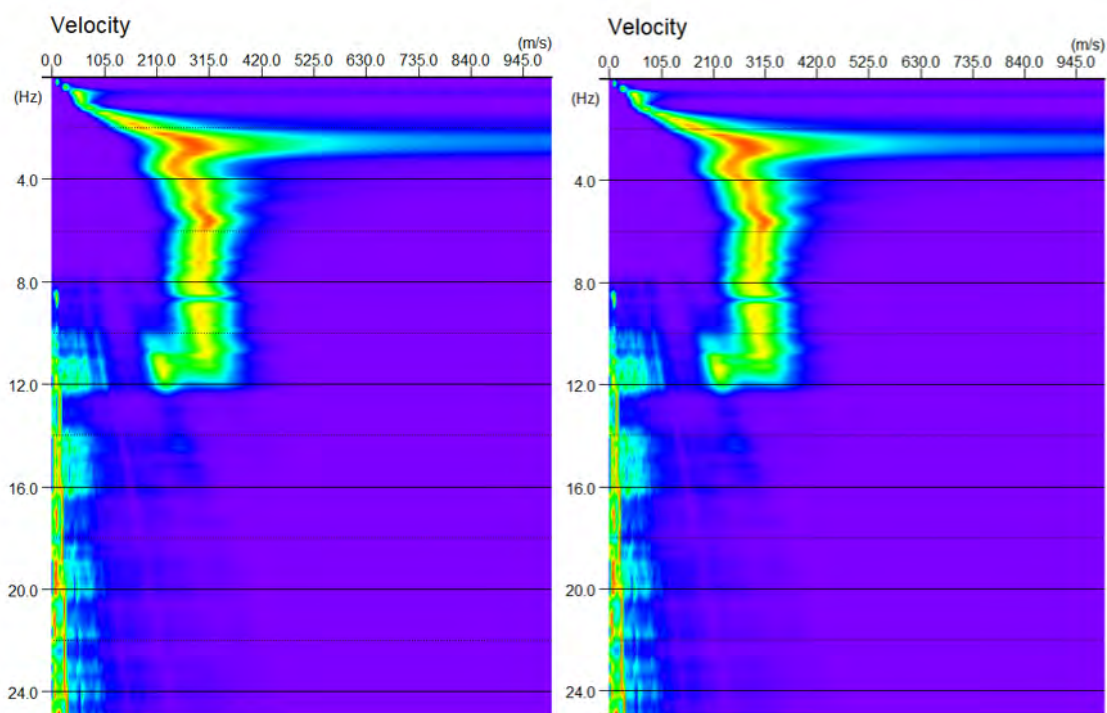
Figur 93 Till vänster: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet för mätning för stor cirkel med mittgeofon aktiv i Tornhill. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet för samma mätning med mittgeofonen inaktiverad. Mätningen hade ett samplingsintervall på 8 ms och en mättid på 960 000 ms.

7.3.3.2 Tornhill – Liten cirkel

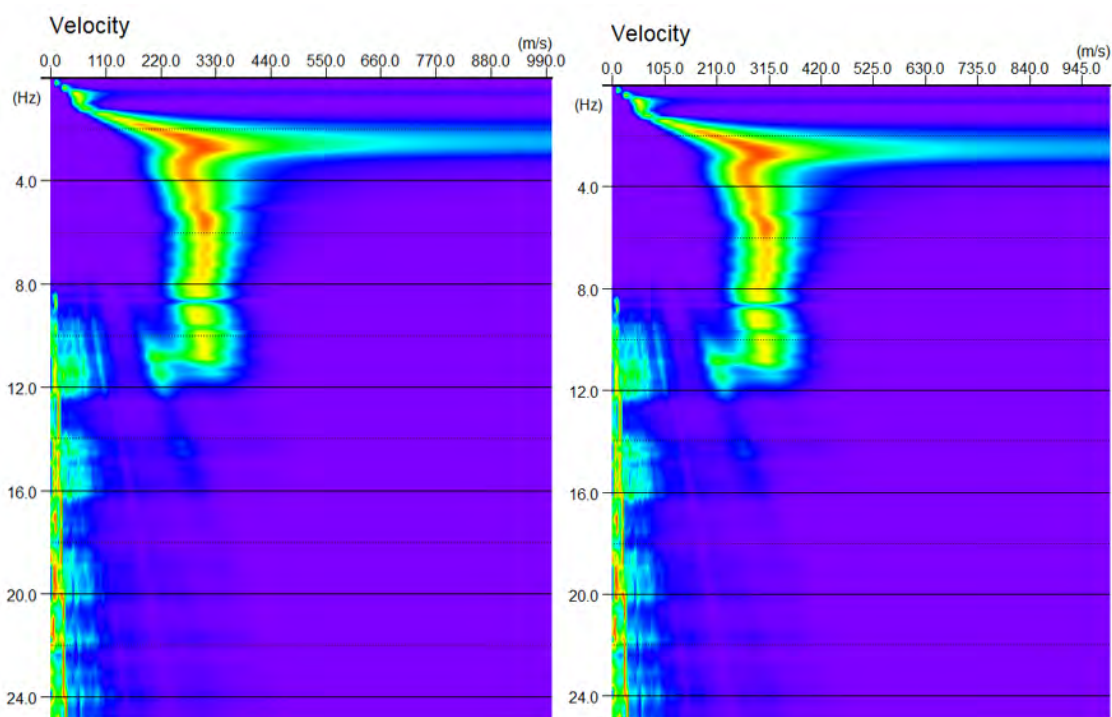
Den mindre cirkeluppställningen i Tornhill utfördes utan mittpunkt. Således kan den inte inaktiveras.

7.3.3.3 Greve – Stor cirkel

Inaktivering av mittgeofon skedde för samtliga mätningar och nedan visas två. I Figur 94 och Figur 95 visas fv-spektrum med och utan mittgeofon aktiverad och resultaten är visuellt snarlika varandra.



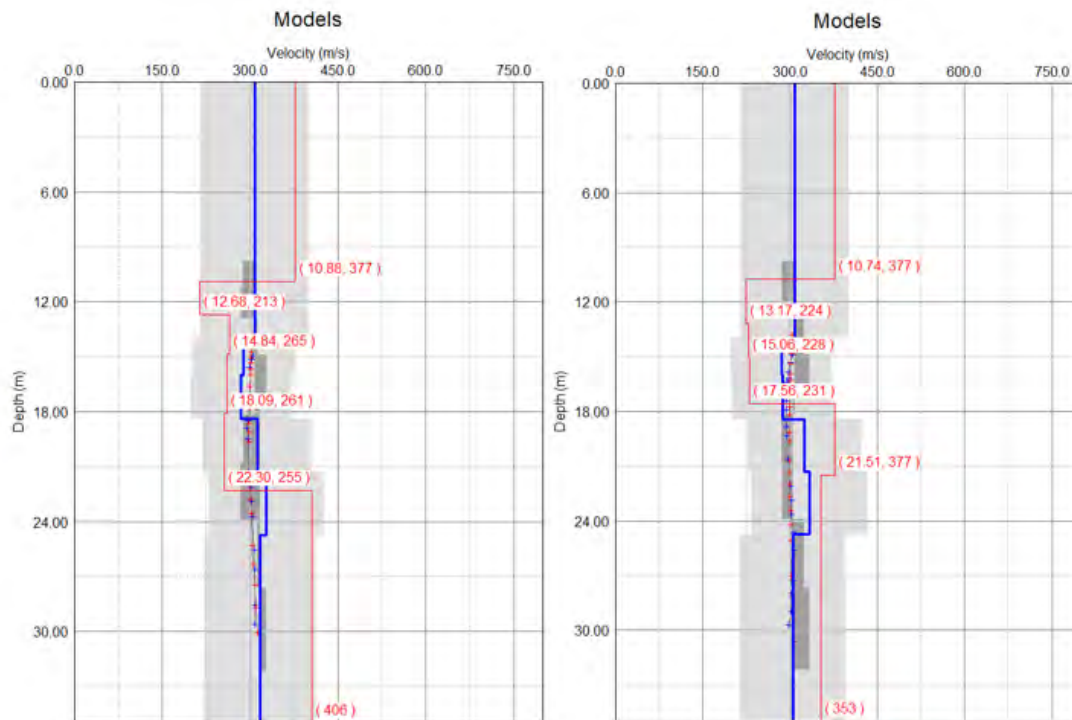
Figur 94 Till vänster: Fv-spektrum för mätning för stor cirkel med mittgeofon aktiv Grevie. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Fv-spektrum för samma mätning med mittgeofonen inaktiverad. Mätningen hade ett samplingsintervall på 4 ms och en mättid på 480 000 ms.



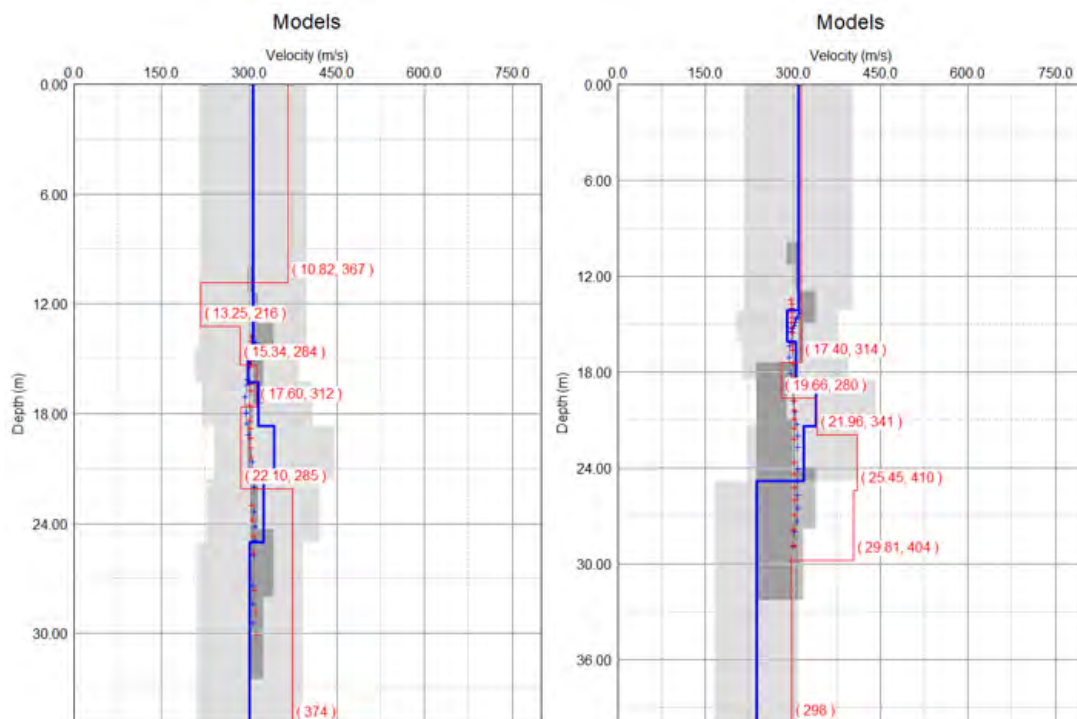
Figur 95 Till vänster: Fv-spektrum för mätning för stor cirkel med mittgeofon aktiv Grevie. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Fv-spektrum för samma mätning med mittgeofonen inaktiverad. Mätningen hade ett samplingsintervall på 8 ms och en mättid på 960 000 ms.

Nedan (i Figur 96 och Figur 97) ses även modellerna för skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet som hör till Figur 94 och Figur 95 ovan. I den första figuren (Figur

96) stämmer lagerdjupen väl överens när man jämför med och utan mittgeofon, och till stor del även skjuvvågshastigheterna, dock inte efter cirka 18 meters djup. För Figur 97 skiljer sig både lagerdjup och skjuvvågshastigheter markant åt mellan de bägge fallen.



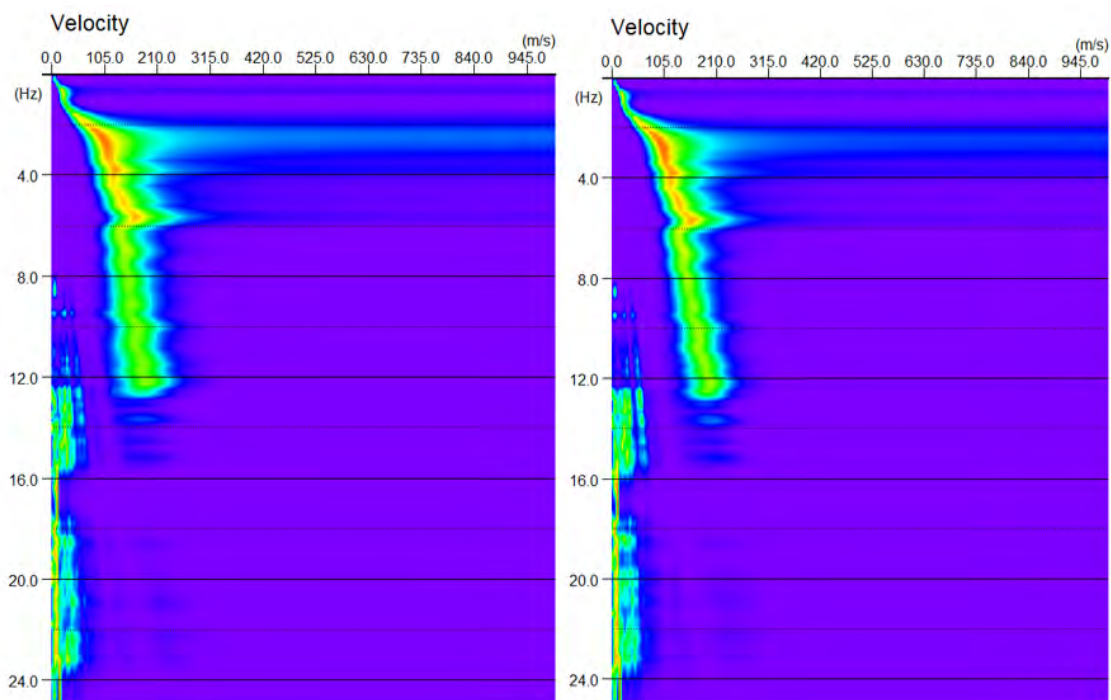
Figur 96 Till vänster: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet för mätning för stor cirkel med mittgeofon aktiv i Grevie. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet för samma mätning med mittgeofonen inaktiverad. Mätningen hade ett samplingsintervall på 4 ms och en mättid på 480 000 ms.



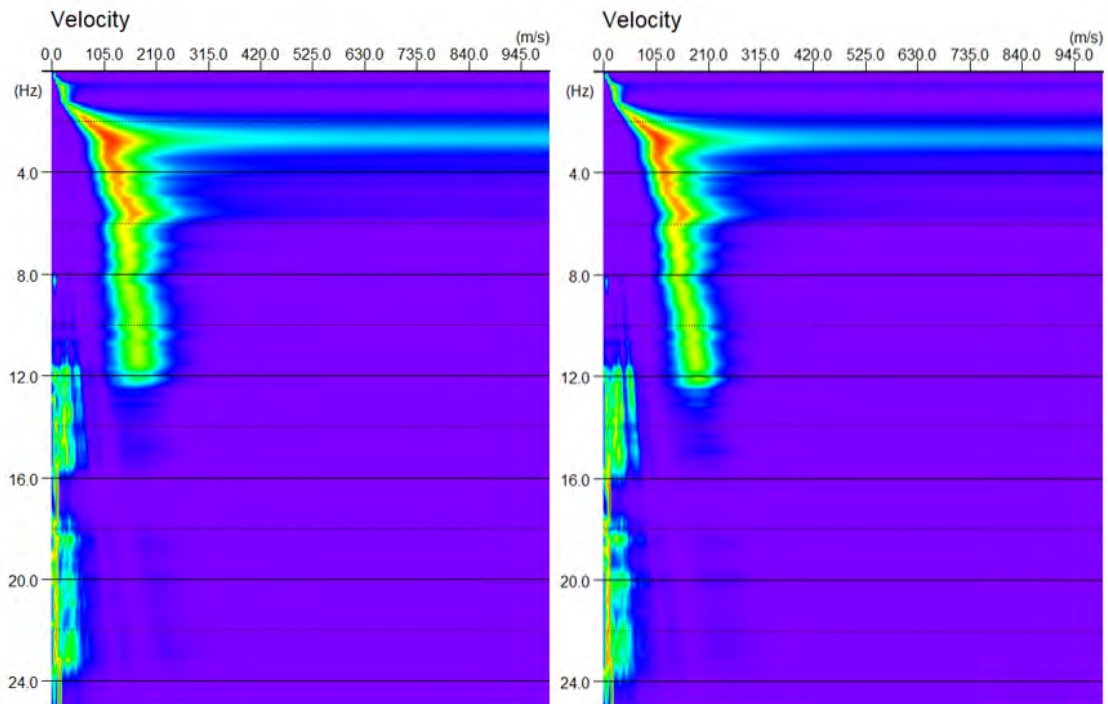
Figur 97 Till vänster: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet för mätning för stor cirkel med mittgeofon aktiv i Grevie. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet för samma mätning med mittgeofonen inaktiverad. Mätningen hade ett samplingsintervall på 8 ms och en mättid på 960 000 ms.

7.3.3.4 Grevie – Liten cirkel

Även för den mindre cirkeluppställningen i Grevie har mittgeofonen inaktiverats för mätningarna. I Figur 98 och Figur 99 visas resultaten från två av mätningarna. Fv-spektrumen är, liksom resultaten av inaktiveringen av mittgeofonen för den stora cirkeln i Grevie (se 7.3.3.3 Grevie – Stor cirkel), väldigt lika varandra.

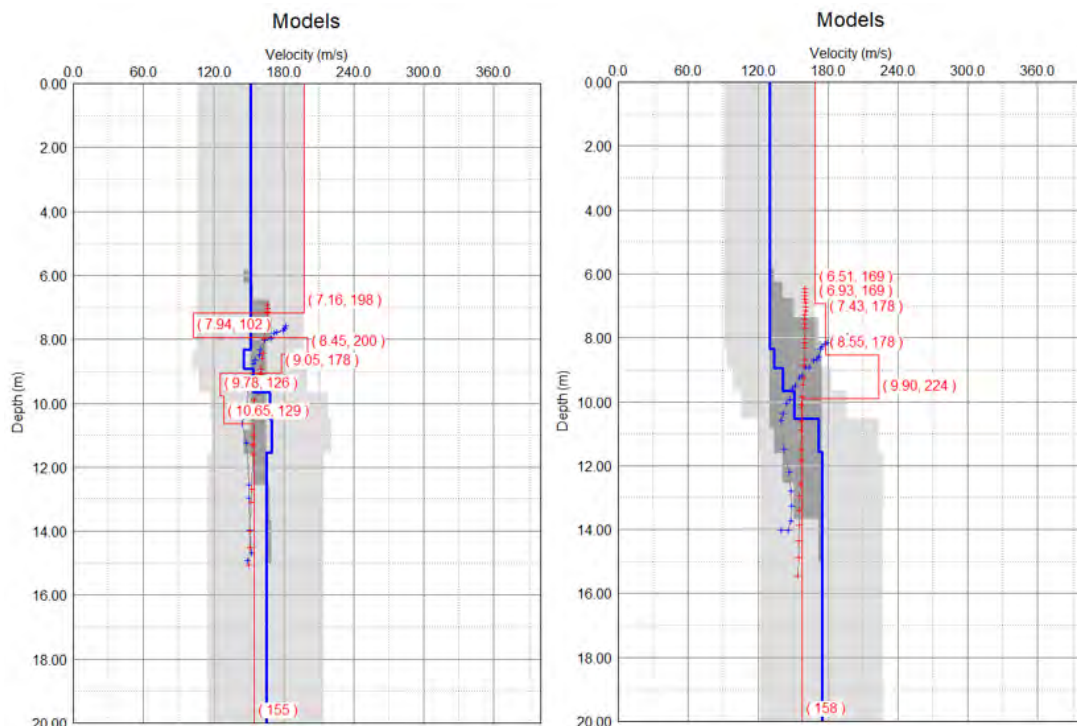


Figur 98 Till vänster: Fv-spektrum för mätning för liten cirkel med mittgeofon aktiv Grevie. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Fv-spektrum för samma mätning med mittgeofonen inaktiverad. Mätningen hade ett samplingsintervall på 4 ms och en mättid på 480 000 ms.

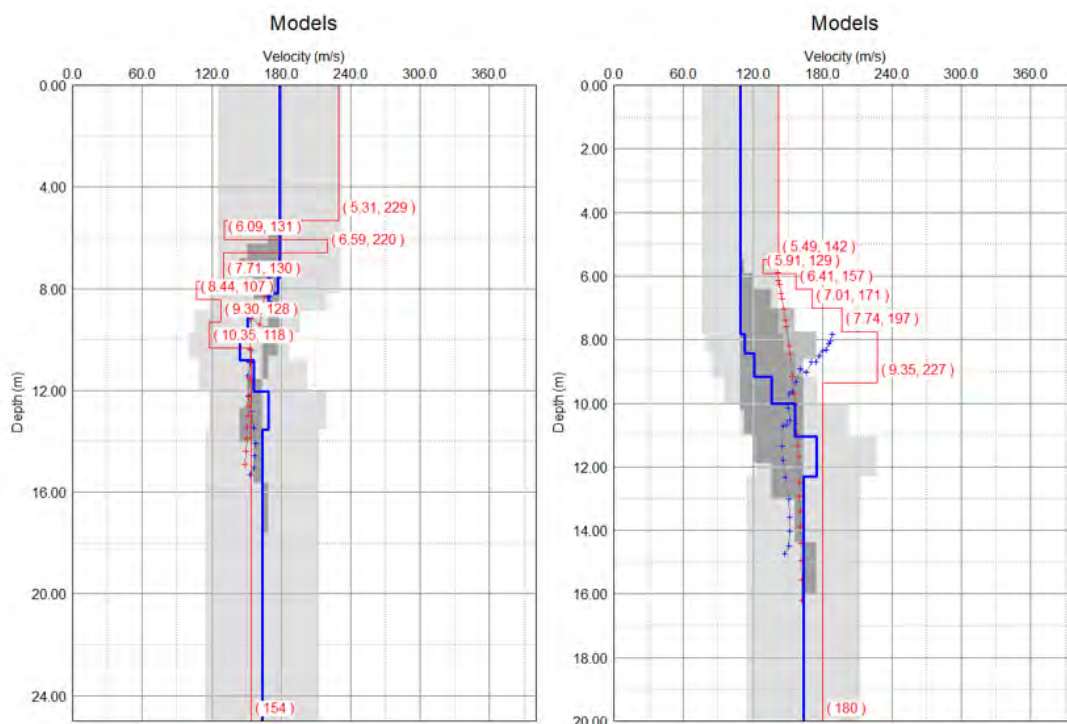


Figur 99 Till vänster: Fv-spektrum för mätning för liten cirkel med mittgeofon aktiv Grevie. Y-axeln visar frekvens i Hz. Till höger: Fv-spektrum för samma mätning med mittgeofonen inaktiverad. Mätningen hade ett samplingsintervall på 8 ms och en mättid på 960 000 ms.

För modellerna över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet (se Figur 100 och Figur 101) skiljer de sig åt vad gäller skjuvvågshastighet för data med eller utan mittgeofon aktiv. Däremot är det svårt att uttala sig om hur pass väl lagerföljden stämmer överens, då lagren ligger väldigt tätt. Modellerna spänner bara över ett cirka 4 till 5 meter stort intervall.



Figur 100 Till vänster: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet för mätning för liten cirkel med mittgeofon aktiv i Grevie. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet för samma mätning med mittgeofonen inaktiverad. Mätningen hade ett samplingsintervall på 4 ms och en mättid på 480 000 ms.



Figur 101 Till vänster: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet för mätning för liten cirkel med mittgeofon aktiv i Grevie. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet för samma mätning med mittgeofonen inaktiverad. Mätningen hade ett samplingsintervall på 8 ms och en mättid på 960 000 ms.

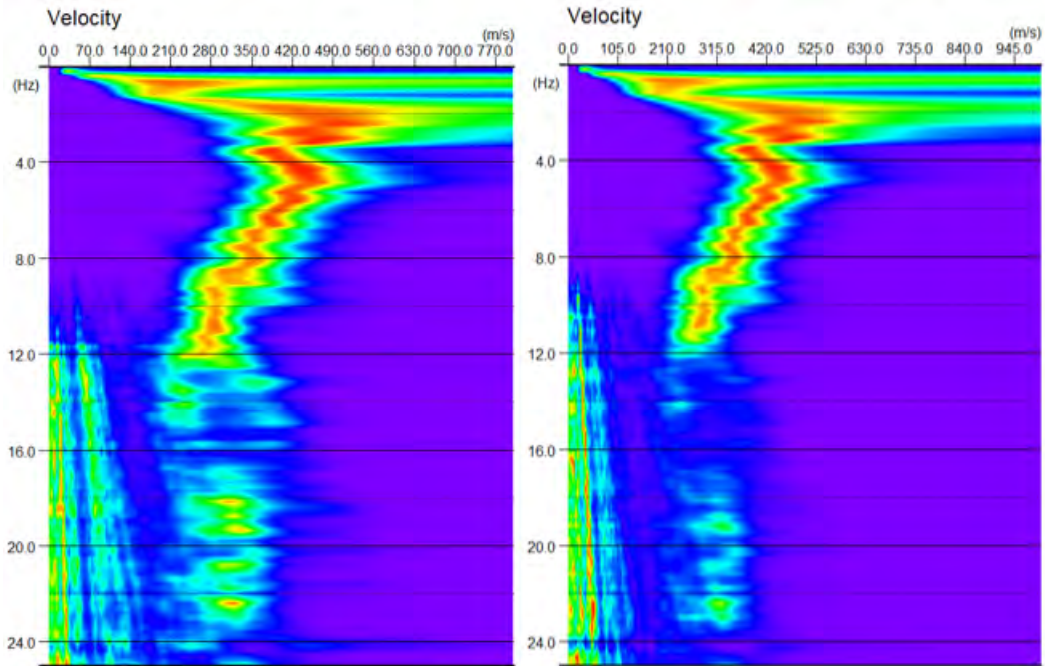
7.3.4 Inaktivering av mittpunkt i triangeluppställning

7.3.4.1 Tornhill – Triangel

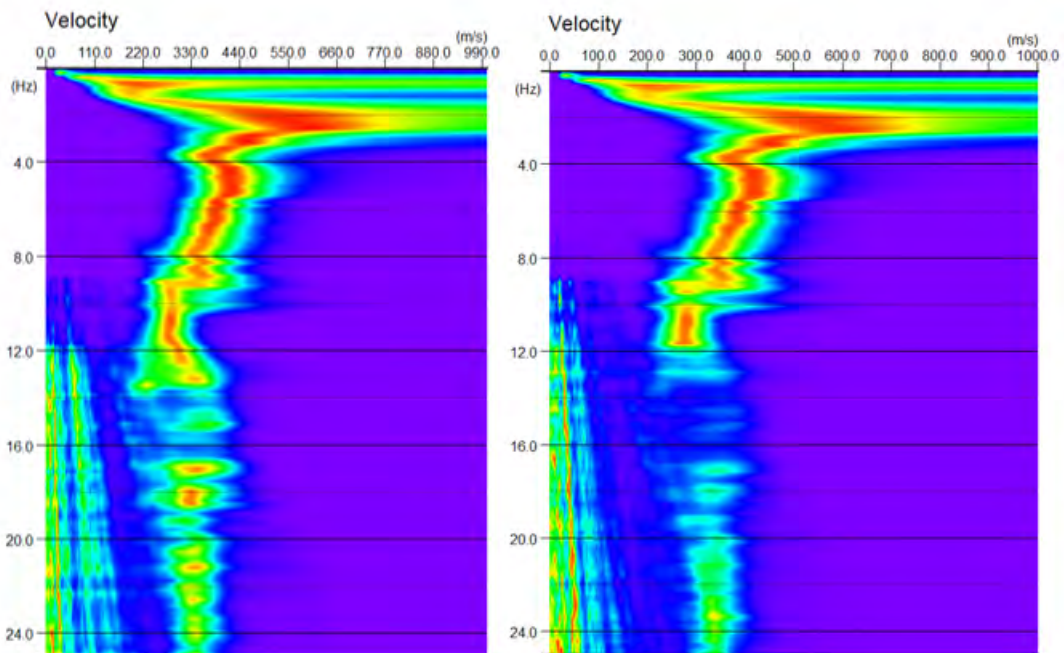
För triangeluppställningen i Tornhill testades inte inaktivering av uppställningens mittgeofon eftersom mätdata var av för låg kvalitet.

7.3.4.2 Grevie – Triangel

Två av mätningarna från triangeluppställningen i Grevie har även testats med inaktivering av mittgeofonen. Dessa mätningar hade 4 respektive 8 ms samplingsintervall och 480 000 respektive 960 000 ms mättid. I Figur 102 och Figur 103 nedan kan det ses att amplituden i peakvärdena i fv-spektrummen är lägre för de högre frekvenserna i graferna som skapats med mittgeofonen inaktiverad.



Figur 102 Till vänster: Fv-spektrum för mätning för triangel med mittgeofon aktiv i Grevie. Till höger: Fv-spektrum för samma mätning med mittgeofonen inaktiverad. Y-axlarna visar frekvens i Hz. Mätningen hade ett samplingsintervall på 4 ms och en mättid på 480 000 ms. Amplituden i peakvärdena i fv-spektrumen för de högre frekvenserna är lägre när mittgeofonen är inaktiverad.

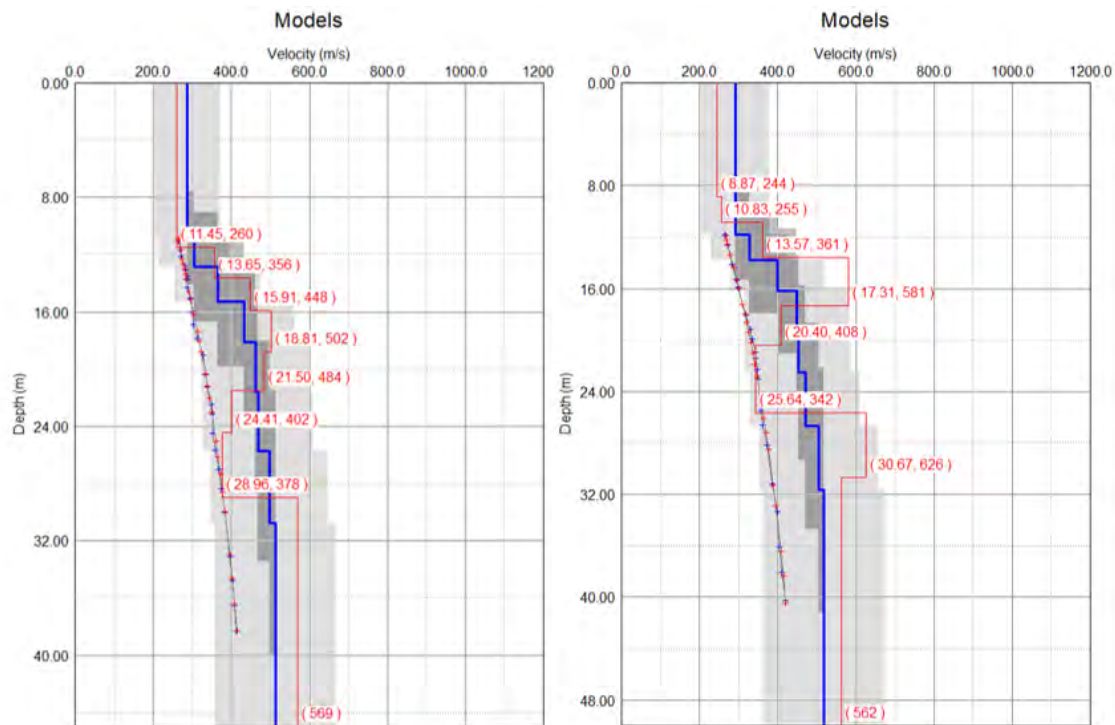


Figur 103 Till vänster: Fv-spektrum för mätning för triangel med mittgeofon aktiv i Grevie. Till höger: Fv-spektrum för samma mätning med mittgeofonen inaktiverad. Y-axlarna visar frekvens i Hz. Mätningen hade ett samplingsintervall på 8 ms och en mättid på 960 000 ms. Amplituden i peakvärdena i fv-spektrumen för de högre frekvenserna är lägre när mittgeofonen är inaktiverad.

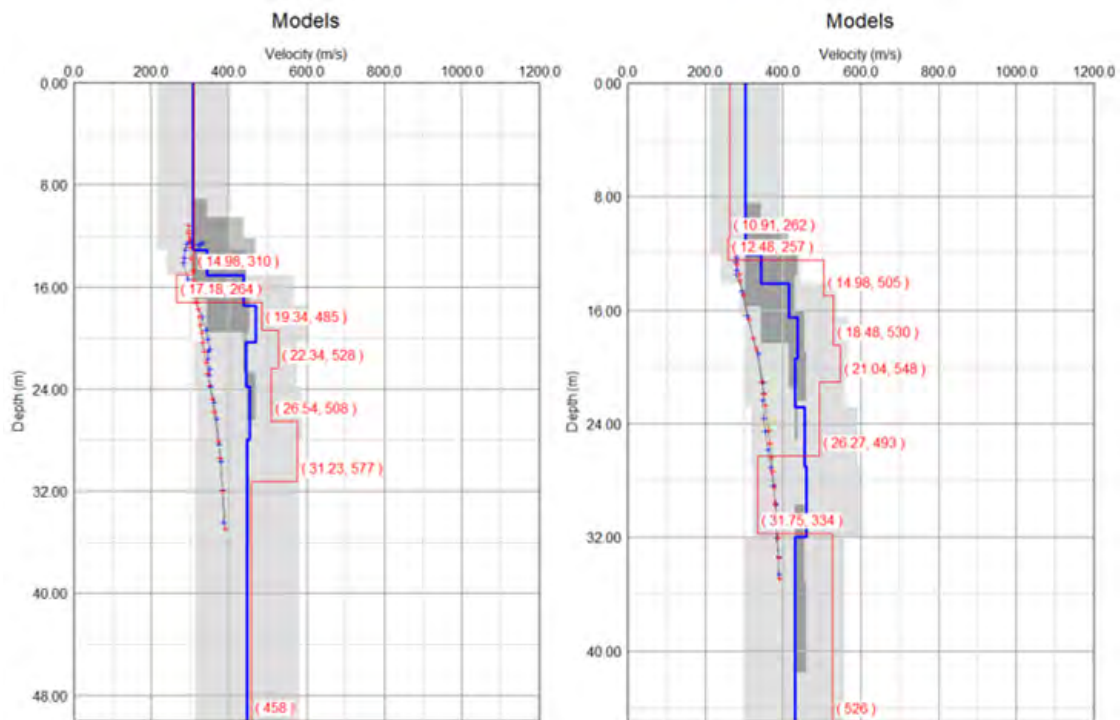
Därför är det även av intresse att se hur modellerna av skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet varierar med och utan mittgeofon aktiv. Detta illustreras nedan i Figur 104 och Figur 105. Modellerna skiljer sig markant åt i form och startdjup när man jämför med

och utan mittgeofon aktiverad för båda mätningarna, där mätningen utan mittgeofon visar på större fluktuationer upp och ned i skjuvvågshastighet samt har ett mindre startdjup.

Misfit för dessa kurvor jämfört med mätningar med mittgeofon redogörs för i Tabell 9 nedan.



Figur 104 Till vänster: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet för mätning för triangel med mittgeofon aktiv i Greve. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten för samma mätning med mittgeofonen inaktiverad. Mätningen hade ett samplingsintervall på 4 ms och en mättid på 480 000 ms och motsvarar fv-spektrumen i Figur 102.



Figur 105 Till vänster: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet för mätning för triangel med mittgeofon aktiv i Greve. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten för samma mätning med mittgeofonen inaktiverad. Mätningen hade ett samplingsintervall på 8 ms och en mättid på 960 000 ms och motsvarar fv-spektrumen i Figur 103.

Tabell 9 Misfit för inaktivering av mittgeofoner triangeluppställning i Greve med mätningar med samplingsintervall på 4 ms respektive 8 ms och mättid på 480 000 ms respektive 960 000 ms. Parametrar för upplösningen av hastighet och djup i inversionsprocessen anges även.

BESKRIVNING AV MÄTNING	UPPLÖSNING HASTIGHET [m/s]	UPPLÖSNING DJUP [m]	MISFIT [%]
4 ms samplingsintervall, 480 000 ms mättid			
Aktiverad mittgeofon	2,0	0,1	1,05
Inaktiverad mittgeofon	2,0	0,1	1,37
8 ms samplingsintervall, 960 000 ms mättid			
Aktiverad mittgeofon	6,0	0,3	5,22
Inaktiverad mittgeofon	2,0	0,2	2,04

8 Övriga observationer från mätningarna

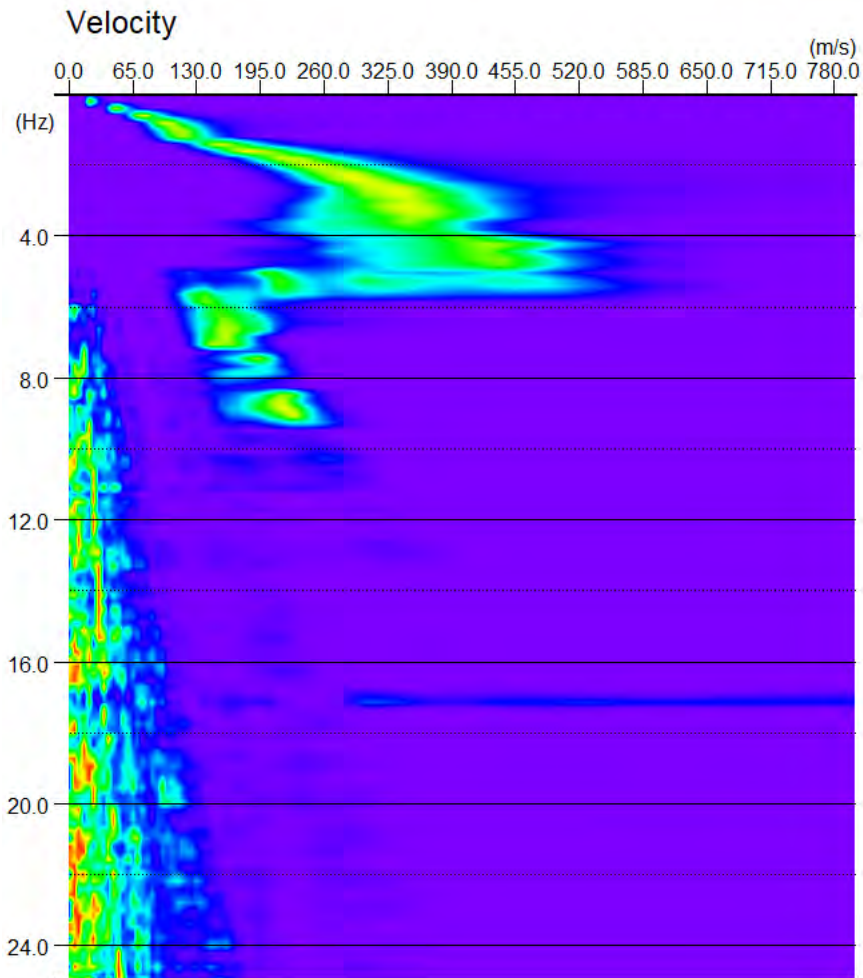
Nedan följer ett kortare avsnitt som berör dels avbrott i signal från enstaka geofoner under mätningarnas gång, dels en uppskattning av tidsåtgången för olika moment under fältarbetet för de olika uppställningar som använts. Här har två extremer valts ut: den största cirkeluppställningen (med 79 geofoner i cirkeln) har jämförts med triangeluppställning (med 16 geofoner totalt). Resultaten från tidsuppskattningarna ska snarare ses som diskussionspunkter och inte värden huggna i sten, då få mätningar ligger till grund för resultaten i figurer och tabeller.

8.1 Signal från geofoner

I registreringar av seismiska data (se Bilaga A) kan man se om en geofon inte ger någon signal i en mätning. I vissa mätningar har det förekommit att en enskild geofon plötsligt under mätningens gång har slutat ge signal, eller plötsligt börjat ge signal efter en tid utan signal.

De mätningar där enstaka geofoner inte har fungerat är i mätningarna med stor cirkel i Tornhill, där två geofoner inte har verkat fungera för majoriteten av mätningarna. För den mindre cirkeln i Tornhill är det en geofon som inte har fungerat under mätningarna. Slutligen var det en av de åtta mätningarna med triangeluppställning i Greve som hade en icke-fungerande geofon under en mätning. Denna geofon var placerad i den yttersta triangeln och tillhör det fv-spektrum som hade märkbart lägre amplitud hos peakvärdena än de andra mätningarna från samma uppställning. Detta illustreras i Figur 106 nedan.

Under dessa mätningar har geofonerna varit korrekt inkopplade och har varken vidrörts före eller efter signalproblematiken; ingen indikation gavs i programmet att de skulle vara inkorrekt inkopplade, utan detta detekterades i efterhand i seismiska data i tidsdomän.



Figur 106 Fv-spektrum för triangeluppställning i Grevie, med ett samplingsintervall på 1 ms och mättid på 120 000 ms. Y-axeln visar frekvens i Hz. Tidsdomändata tyder på att en geofon i den yttersta triangeln inte var fungerande under just denna mätning, se Bilaga A.

8.2 Tidsåtgång i fält för olika uppställningar

Då olika uppställningar av geofoner har testats och även olika metoder för hur geofonerna har satts ut (med mätband eller GNSS) följer här en uppskattning för tidsåtgången för olika moment av fältarbetet.

I Tabell 10 beskrivs uppställning av en cirkel med cirka 80 geofoner, utförd av två personer. I Tabell 11 redogörs det för en triangeluppställning med 16 geofoner, även denna utförd av två personer. Dessa två uppställningar representerar de långsammaste respektive snabbaste som genomförts i detta examensarbete. En cirkeluppställning med färre geofoner tar rimligtvis kortare tid, likaså tar en triangeluppställning med fler trianglar längre tid, oavsett om man sätter ut geofonerna för hand eller med förberäknade koordinater.

Generellt tar det kortare tid att sätta ut geofoner med hjälp av GNSS istället för med mätband. Alla mätningar tar mellan knappt två till tre och en halv timme (exklusive färdtid dit och hem, lasta och bära utrustning, mättiden och rengöring) oavsett cirkel- eller triangeluppställning.

Tabell 10 Uppskattad tidsåtgång för olika moment för en cirkeluppställning med ca 80 geofoner, utförd av 2 personer

MOMENT	TIDSÅTGÅNG
Packa bilen	Ca 15 min
Färd till platsen	Beror på avstånd
Lasta ur bilen, bära till mätplats	Beror på avstånd
Sätta ut geofoner med mätband	Ca 60 min
Sätta ut geofoner med GNSS	Ca 30 min
Dra ut 2 kablar samt koppla in dessa i mätutrustningen	Ca 10 min
Sätta klämmor på alla geofoner	Ca 25 min
Mätningar	Beror på mätningarnas längd
Ta koordinater för alla geofoner	Ca 20 min
Eventuellt ändra något i uppställningen och därefter utföra nya mätningar	Beror på vad som görs. Kan börja genomföras efterhand som koordinater för geofonerna tas om man vill spara tid
Koppla ur alla klämmor, dra upp geofonerna ur markern, separera och sortera i rätt lådor	Ca 25 min
Montera ned dator, GNSS och rulla ihop kablar	Ca 15 min
Bära från mätplats till bilen, lasta in i bilen	Beror på avstånd
Hemfärd	Beror på avstånd
Lasta ur bilen	Ca 10 min
Eventuellt rengöra utrustningen	Ca 30 min
Totalt, cirkel med mätband (exkl. färd, lasta och bära, mätningarnas längd och rengöring)	Ca 210 min, dvs 3 h 30 min
Totalt, cirkel med GNSS (exkl. färd, lasta och bära, mätningarnas längd och rengöring)	Ca 180 min, dvs 3 h

Tabell 11 Uppskattad tidsåtgång för olika moment för en triangeluppställning med ca 16 geofoner, utförd av 2 personer.

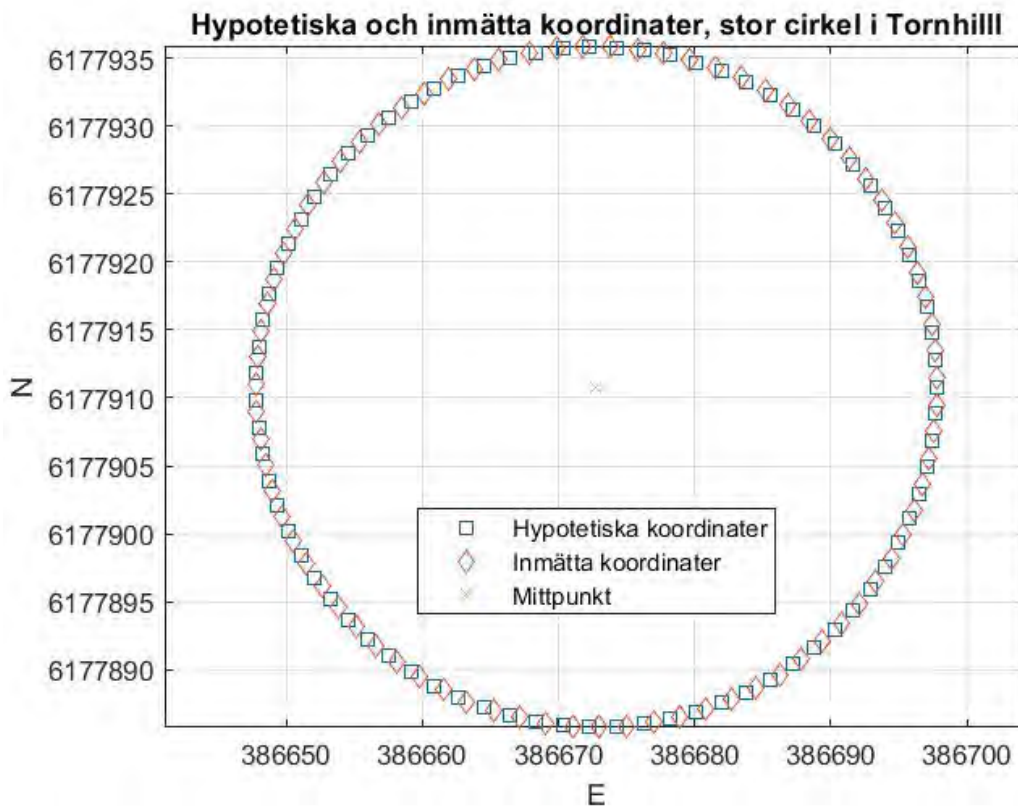
MOMENT	TIDSÅTGÅNG
Packa bilen	Ca 10 min
Färd till platsen	Beror på avstånd
Lasta ur bilen, bära till mätplats	Beror på avstånd
Sätta ut geofoner med mätband	Ca 40 min
Sätta ut geofoner med GNSS	Ca 15 min
Dra ut kabel samt koppla in kabeln i mätutrustningen	Ca 10 min
Sätta klämmor på alla geofoner	Ca 10 min
Mätningar	Beror på mätningarnas längd
Ta koordinaterna för alla mätpunkter	Ca 10 min
Eventuellt ändra något i uppställningen och därefter utföra nya mätningar	Beror på vad som görs. Kan börja genomföras efterhand som koordinater för geofonerna tas om man vill spara tid
Koppla ur alla klämmor, dra upp geofonerna ur marken, separera och sortera i rätt lådor	Ca 10 min
Montera ned dator, GNSS, rulla ihop kabeln	Ca 10 min
Bära från mätplats till bilen, lasta in i bilen	Beror på avstånd
Hemfärd	Beror på avstånd
Lasta ur bilen	Ca 10 min
Eventuellt rengöra utrustningen	Ca 30 min
Totalt, triangel med mätband (exkl. färd, lasta och bära, mätningarnas längd och rengöring)	140 min, dvs 2 h 20 min
Totalt, triangel med GNSS (exkl. färd, lasta och bära, mätningarnas längd och rengöring)	115 min, dvs 1 h 55 min

9 Mätgeometri

Följande kapitel berör geofonernas inmätta koordinater i fält och hur bra de har mätts in, vare sig utsättningen skedde med mätband eller med förberäknade koordinater i GNSS. En jämförelse av de förberäknade koordinaterna för uppställningarna med de faktiska, inmätta, punkterna för geofonerna har gjorts med hjälp av ett Matlabprogram. För de mätningar där koordinaterna inte var förberäknade har hypotetiska beräknade koordinater använts som jämförelse, se avsnitt 3.2 Beräkning av stationskoordinater i Matlab. Jämförelsen rör sig om avvikelsen i meter mellan varje förberäknad eller hypotetisk koordinat för utsättning av geofoner och motsvarande inmätta geofonstation.

9.1 Tornhill – Stor cirkel

För den stora cirkeln i Tornhill, med radie på 25 m, har hypotetiska beräknade koordinater skapats, eftersom cirkeln i fält skapades med hjälp av mätband. Mittpunkten valdes i fält och har varit utgångspunkt för de hypotetiska koordinaterna. Skillnaden mellan utsatta och inmätta stationer illustreras nedan i Figur 107. I Tabell 12 finns resultaten av jämförelsen av koordinater.



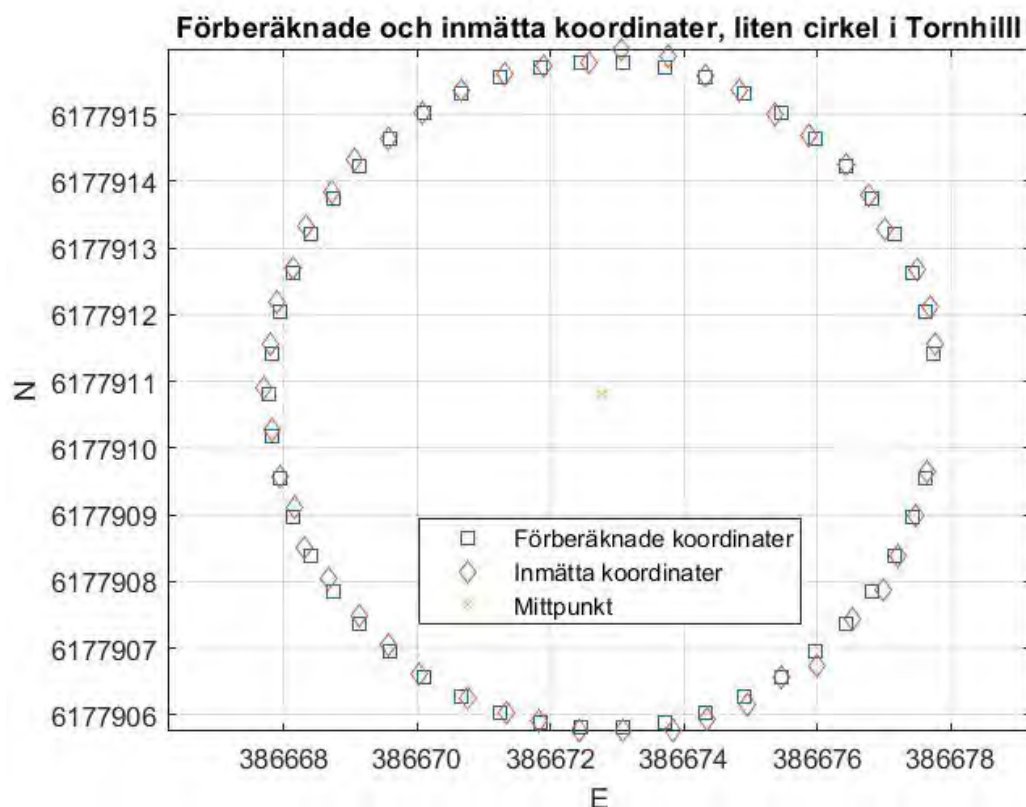
Figur 107 Hypotetiska förberäknade koordinater samt inmätta koordinater för stor cirkel i Tornhill.

Tabell 12 Skillnad mellan de hypotetiska förberäknade koordinaterna och de inmätta koordinaterna i fält för den stora cirkeln i Tornhill (avrundat till två decimaler).

STATISTISKT MÅTT PÅ AVVIKELSER	VÄRDE [m]
Medelvärde	0,70
Median	0,72
Minimumvärde	0,45
Maximumvärde	0,83
Standardavvikelse	0,11

9.2 Tornhill – Liten cirkel

Den lilla cirkeln i Tornhill, med radie på 5 meter, sattes ut med hjälp av förberäknade koordinater inlagda i GNSS. Nedan jämförs de inmätta koordinaterna där geofonerna faktiskt sattes ut med de planerade, förberäknade. Se Figur 108 och Tabell 13.



Figur 108 Hypotetiska förberäknade koordinater samt inmätta koordinater för liten cirkel i Tornhill.

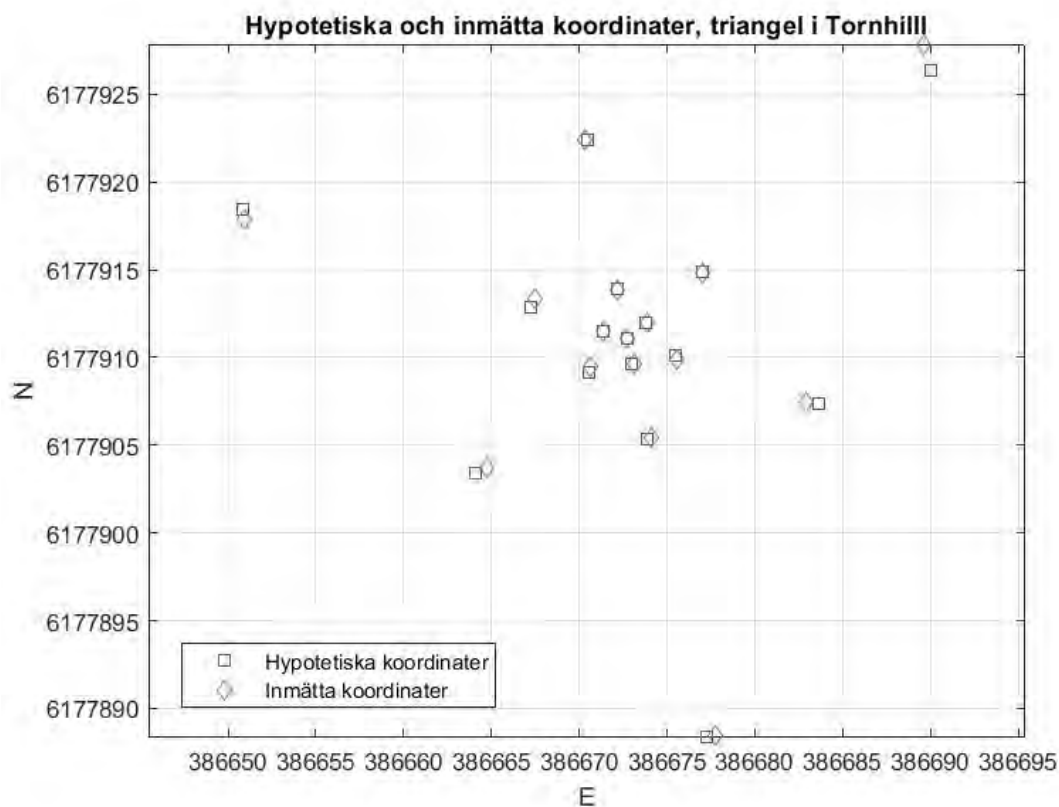
Tabell 13 Skillnad mellan de förberäknade koordinaterna och de inmätta koordinaterna i fält för den lilla cirkeln i Tornhill (avrundat till två decimaler).

STATISTISKT MÅTT PÅ AVVIKELSER	VÄRDE [m]
Medelvärde	0.10
Median	0.10
Minimumvärde	0.01
Maximumvärde	0.20
Standardavvikelse	0.05

9.3 Tornhill – Triangel

Triangeln i Tornhill mättes ut med hjälp av mätband och därför har hypotetiska förberäknade koordinater skapats utifrån den inmätta mittpunkten. Med hjälp av en inmätt koordinat som satts ut nära mittpunkten kunde triangelns rotation (jämfört med en triangel med nord-sydlig linje mellan bas och spets i koordinatsystemet) beräknas innan de hypotetiska koordinaterna beräknades.

Man kan se i Figur 109 att det övre högra hörnets inmätta koordinat skiljer sig synbart från den hypotetiska. Tabell 14 nedan visar även att minimumvärdet är 0, vilket beror på att samma mittpunkt har valts såväl för de hypotetiska koordinaterna som för de inmätta.



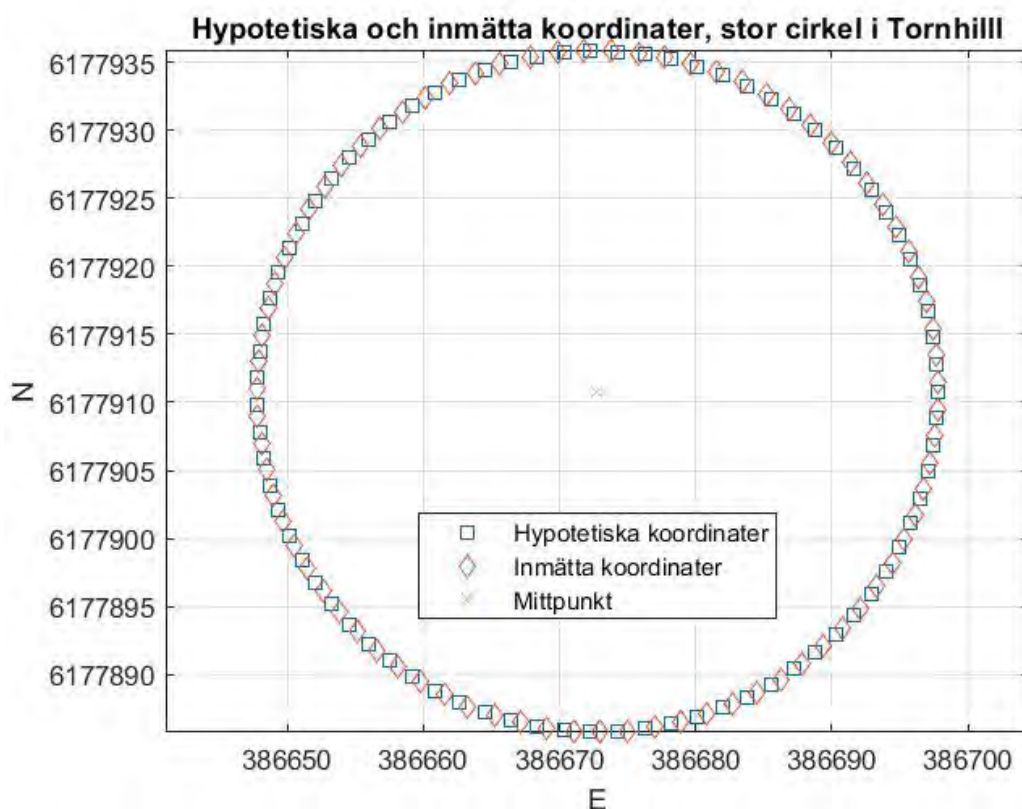
Figur 109 Hypotetiska förberäknade koordinater samt inmätta koordinater för triangel i Tornhill.

Tabell 14 Skillnad mellan de hypotetiska förberäknade koordinaterna och de inmätta koordinaterna i fält för triangeln i Tornhill (avrundat till två decimaler).

STATISTISKT MÅTT PÅ AVVIKELSER	VÄRDE [m]
Medelvärde	0,36
Median	0,25
Minimumvärde	0
Maximumvärde	1,53
Standardavvikelse	0,40

9.4 Grevie – Stor cirkel

Den stora cirkeln i Grevie sattes ut med förberäknade koordinater i GNSS. Cirkeln hade en radie på 15 meter. Nedan jämförs de inmätta koordinaterna, där geofonerna faktiskt sattes ut, med de förberäknade. Resultatet ses i Figur 110 och Tabell 15.



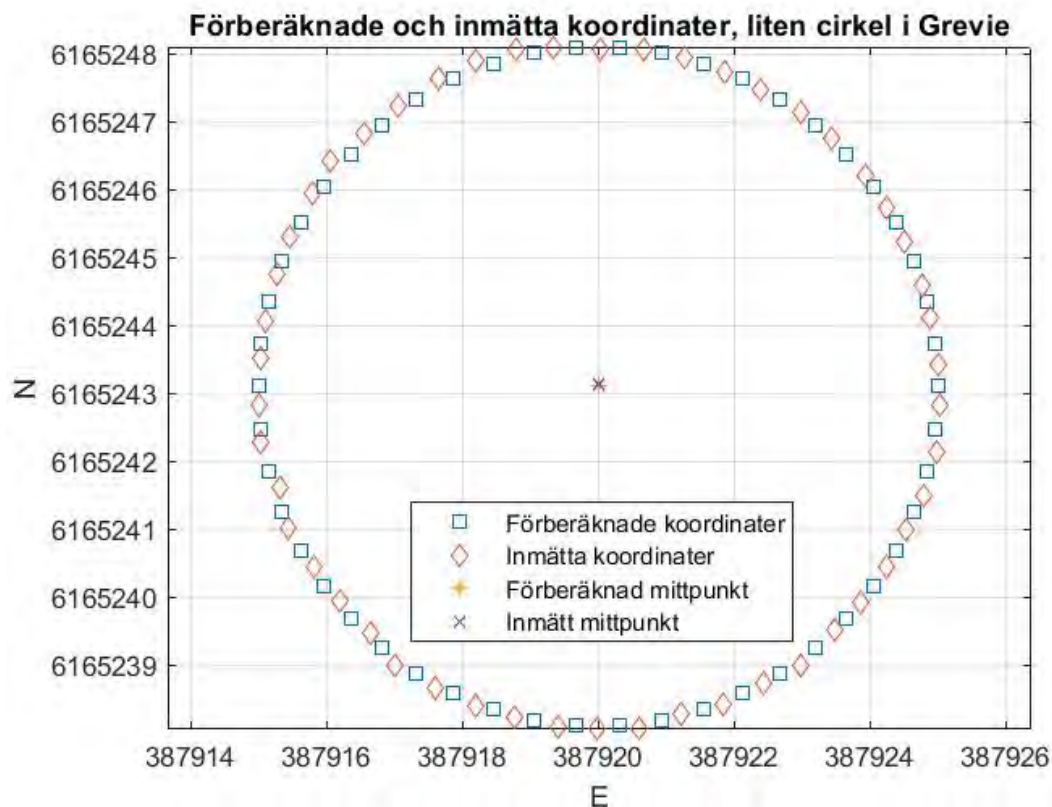
Figur 110 Hypotetiska förberäknade koordinater samt inmätta koordinater för stor cirkel i Grevie.

Tabell 15 Skillnad mellan de hypotetiska förberäknade koordinaterna och de inmätta koordinaterna i fält för den stora cirkeln i Grevie (avrundat till två decimaler). Mittpunktens koordinater har inte jämförts.

STATISTISKT MÅTT PÅ AVVIKELSER	VÄRDE [m]
Medelvärde	0,59
Median	0,59
Minimumvärde	0,49
Maximumvärde	0,71
Standardavvikelse	0,05

9.5 Grevie – Liten cirkel

Även den lilla cirkeln i Grevie sattes ut med förberäknade koordinater i GNSS men hade en radie på 5 meter. En jämförelse av de beräknade och inmätta koordinaterna ges nedan i Figur 111 och Tabell 16.



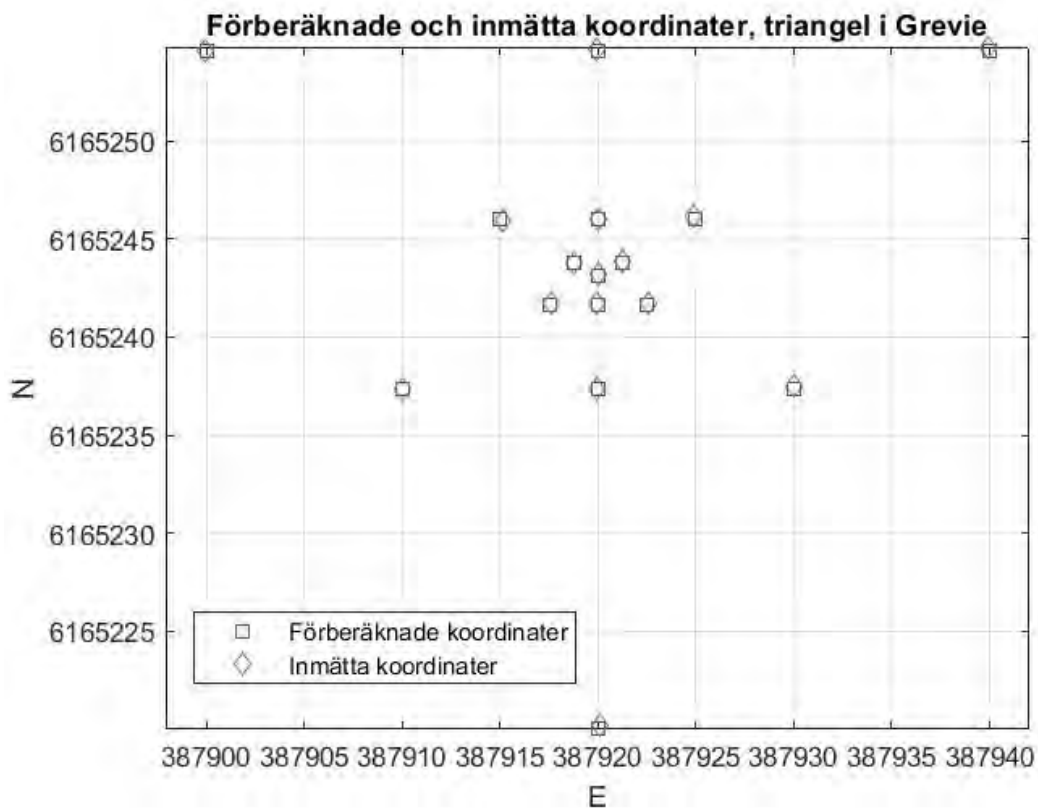
Figur 111 Hypotetiska förberäknade koordinater samt inmätta koordinater för liten cirkel i Grevie.

Tabell 16 Skillnad mellan de hypotetiska förberäknade koordinaterna och de inmätta koordinaterna i fält för den stora cirkeln i Grevie (avrundat till två decimaler). Mittpunktens koordinater har inte jämförts.

STATISTISKT MÅTT PÅ AVVIKELSER	VÄRDE [m]
Medelvärde	0,30
Median	0,31
Minimumvärde	0,18
Maximumvärde	0,40
Standardavvikelse	0,05

9.6 Grevie – Triangel

Triangeluppställningen i Grevie sattes ut med hjälp av förberäknade koordinater. Nedan (i Figur 112 och Tabell 17) redovisas skillnaden mellan de beräknade och inmätta koordinaterna för triangeln.



Figur 112 Förberäknade koordinater samt inmätta koordinater för triangel i Grevie.

Tabell 17 Skillnad mellan de förberäknade koordinaterna och de inmätta koordinaterna i fält för triangeln i Grevie (avrundat till två decimaler).

STATISTISKT MÅTT PÅ AVVIKELSER	VÄRDE [m]
Medelvärde	0,11
Median	0,11
Minimumvärde	0,02
Maximumvärde	0,20
Standardavvikelse	0,06

10 Diskussion

Nedan följer en diskussion om mätresultaten från fältundersökningarna i Tornhill och Grevie. Diskussionen följer till en början samma upplägg som resultatdelen; först diskuteras de individuella mätningarna, därefter kombinationerna och till sist inaktiveringen av geofoner. Därefter diskuteras cirkeluppställningen i jämförelse med triangeluppställningen. Sedan följer ett avsnitt om samplingsintervall och mättid och slutligen en diskussion om *misfit*.

Då det saknas bakgrundsinformation för att verifiera de erhållna skjuvvågshastigheterna på de djup som mätningarna berör kommer detta endast att diskuteras översiktligt.

10.1 Individuella mätningar

Detta avsnitt inleds med en sammanställning av den kortaste våglängd λ som har förekommit i mätningarna i förhållande till geofonavstånden d . Samplingsteoremet ger att

$$d < \frac{\lambda}{2}$$

vilket beskrivits ovan i avsnittet 3.1 Uppställningsgeometrier och mättid.

En kontroll av att samplingsteoremet villkor uppfyllts vid mätningarna (spatialt) visas nedan i Tabell 18. Samtliga mätningar har haft ett mycket kortare geofonavstånd än den kortaste förekommande våglängden, vad gäller avståndet mellan två geofoner på cirkelns omkrets och mellan triangelns hörnpunkter. Det är bara den mindre cirkeln och triangeln i Grevie som även har ett avstånd till mittgeofonen som är kortare än den teoretiska gränsen.

Tabell 18 Jämförelse mellan den kortaste observerade våglängden för peakvärdena i fv-spektrumet för cirkel- och triangeluppställningarna i Tornhill och Grevie och de faktiska avstånden mellan geofoner i fält.

MÄTUPPSTÄLLNING	KORTASTE UPPMÄTTA VÅGLÄNGD [m]	GRÄNS FÖR KORTASTE GEOFONAVSTÅND [m]	FAKTISKT KORTASTE GEOFONAVSTÅND MELLAN GEOFONER [m]	FAKTISKT KORTASTE GEOFONAVSTÅND TILL MITTPUNKT [m]
Tornhill				
Stor cirkel – Passive Circle	19	9,5	1,92	25
Stor cirkel – Circle and Center	33	16,5	1,92	25
Liten cirkel	-	-	0,63	5
Triangel	-	-	2,5	1,44
Grevie				
Stor cirkel	28	14	1,21	15
Liten cirkel	15	7,5	0,63	5
Triangel	25	12,5	2,5	1,44

Ett annat samband att förhålla sig till är att man kan anta att skjuvvågshastigheten blir mer osäker för djup större än halva den längsta uppmätta våglängden (se avsnitt 3.1 Uppställningsgeometrier och mättid). Därför sammanfattas detta nedan i Tabell 19. Inget djup i de inversa modellerna för skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet överstiger dessa gränser.

Det kan vara värt att notera att mätuppställningens storlek påverkar osäkerheten i mätningarna. Till exempel är den stora cirkeln i Tornhill 50 meter i diameter, medan den längsta uppmätta våglängden är 114 m. Denna längsta våglängd kan därför vara osäker.

Tabell 19 Sammanfattning av den längsta uppmätta våglängden för peakvärdena i fv-spektrumet för cirkel- och triangeluppställningarna i Tornhill och Grevie samt den gräns för största trovärdiga som genereras.

MÄTUPPSTÄLLNING	LÄNGSTA UPPMÄTTA VÅGLÄNGD [m]	GRÄNS FÖR TROVÄRDIGT DJUP [m]
Tornhill		
Stor cirkel – Passive Circle	114	57
Stor cirkel – Circle and Center	114	57
Liten cirkel	-	-
Triangel	-	-
Grevie		
Stor cirkel	60	30
Liten cirkel	30	15
Triangel	80	40

10.1.1 Tornhill – Stor cirkel

Lagerföljden i Tornhill förväntas bestå av få lager (se Figur 7 i avsnitt 4.1.2 Geologi och stratigrafi), där berggrunden börjar vid cirka 14 meters djup och där en annan lagergräns finns vid cirka 6 meters djup.

De inversa modellerna över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet har alla ett startdjup på mellan 6 och 14 meter, och det är därför svårt att säga hur pass väl de inversa modellerna stämmer överens med den kända lagerföljden.

Den seismiska CPT som finns tillgänglig för området (se 4.1.3 Data från tidigare markundersökningar) når endast 7 meter ned, och har därför inte kunnat användas för jämförelser med resultaten av den passiva ytvågsseismiken.

I berggrunden, alltså vid djup större än 14 meter skapas ändå ett flertal lager i modellerna, ända ner till cirka 45 meters djup. Modellerna visar att en förändring av skjuvvågshastigheten sker kring cirka 13 till 15,5 meters djup, vilket skulle kunna vara berggrundens.

Skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet ökar med djupet, till ungefär 30 till 40 meters djup, då den sjunker igen. Denna mätning når alltså ett djup som inte går att verifiera med de geotekniska data som finns tillgängliga. En cirkeluppställning med mindre radie (som den som genomfördes i Tornhill, se avsnitt 5.3 Tornhill – Liten cirkel samt triangel) hade däremot givit mer resultat för de mindre djupen, där geotekniska data faktiskt finns tillgängliga för jämförelse. Dessvärre var som sagt resultaten därifrån av för låg kvalitet för att kunna analyseras vidare.

10.1.2 Tornhill – Liten cirkel och triangel

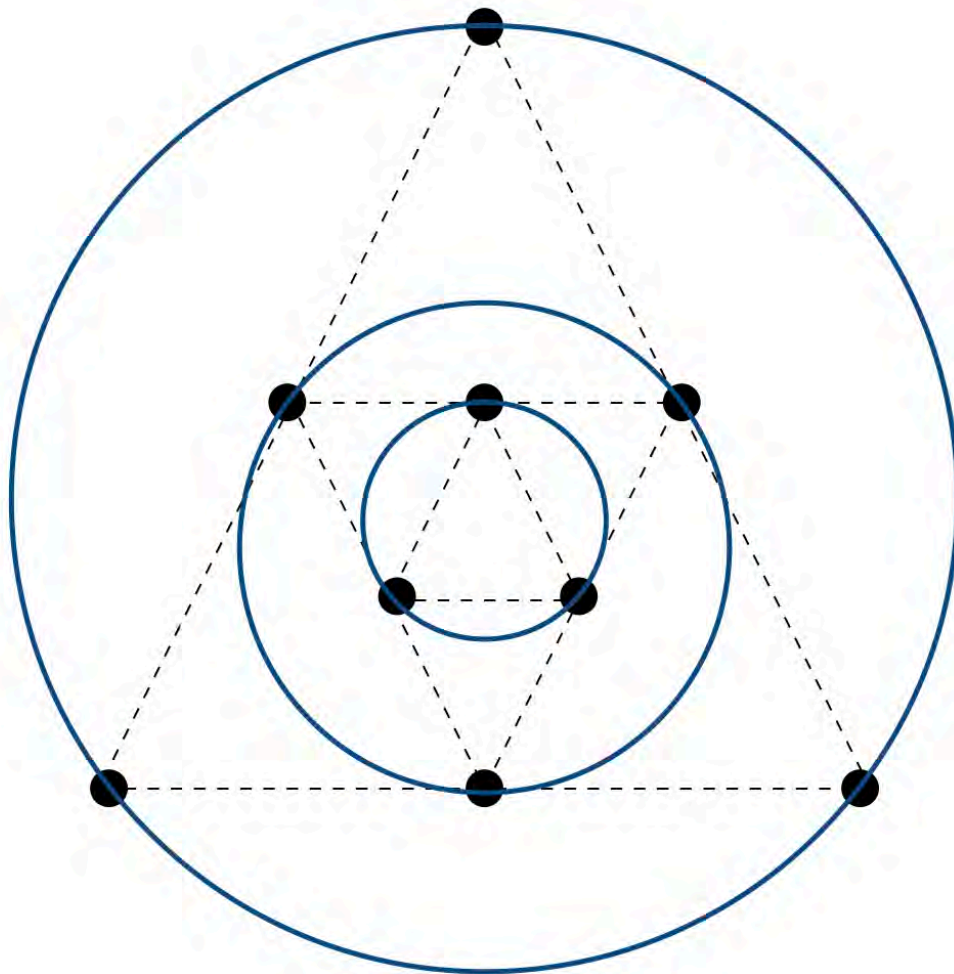
Eftersom resultaten från Tornhill med liten cirkeluppställning och triangeluppställning genomfördes samma dag och gav upphov till resultat av låg kvalitet diskuteras de här under en och samma rubrik.

Det är svårt att säga varför just mätningen denna dag blev misslyckad. Det skulle kunna bero på brist på ljudkällor, men det passerade tåg och bilar under mätningen. Marken var väldigt fuktig men geofonerna trycktes ned så att de satt bra trots det mjuka underlaget, därmed bör de ha kunnat registrera signalerna tillräckligt bra. Det syns i seismiska data att alla geofoner fungerar och ger signal, vilket innebär att den låga signalkvaliteten inte beror på ickefungerande geofoner.

10.1.2.1 Array tolerance

Försöken med att öka *array tolerance* (se avsnitt 6.2 Arbetsprocessen i Geogiga Seismic Pro) gav ett fv-spektrum med högre amplitud i peakvärdena, redan vid 4% jämfört med programmets standardvärde 3%. Samtidigt blev det ingen skillnad när *array tolerance* ökades till 20%, medan det för triangeluppställningen gav markant olika utseende på fv-spektrumen vid 3%, 4%, 10% samt 20%. Detta skulle kunna bero på att alla geofonstationer i cirkeluppställningen redan hade en radie lik den förbestämda, och därför fanns det inga fler geofoner att inkludera vid högre värden än 4%.

Triangeln skulle kunna tolkas som cirkeluppställningar (eftersom SPAC och inte ESPAC används) med tre geofoner per cirkel, enligt Figur 113 nedan. Detta skulle förklara varför ökad *array tolerance* gav variationer i fv-spektrumen, eftersom fler geofoner fanns att inkludera på längre avstånd från mittpunkten. Det är dock oklart exakt hur parametern påverkar andra konfigurationer än cirkeluppställningar. En dialog med programtillverkaren pågår i skrivande stund (januari 2023).



Figur 113 En triangeluppställning skulle kunna tolkas som flera cirkeluppställningar.

För triangeln blev däremot peakvärdena mindre distinkta med ökad *array tolerance*, medan det blev mer brus vid låga hastigheter och höga frekvenser, vilket kan bero på rumsliga avvikelser.

Trots att fv-spektrumet med *array tolerance* på 4%, för den mindre cirkeluppställningen i Tornhill, kunde användas för att skapa en dispersionskurva blev resultatet av inversionsprocessen inte rimligt vid jämförelse med den antagna lagerföljden.

Inversionsmodellen visar tre lager med en mäktighet på 40 till 60 cm mellan 6,5 till 8 meters djup, varefter skjuvvågshastigheten sjunker drastiskt, se Figur 47 i avsnitt 7.1.2 Tornhill – Liten cirkel. Skjuvvågshastigheten för näraliggande lager är nästan samma, vilket skulle kunna tyda på att det är en och samma enhet.

Oavsett detta förklarar det inte varför skjuvvågshastigheten sjunker från 402 till 200 m/s vid 8 meters djup; lagerföljden för Grevie för de översta 14 metrarna förväntas bestå av lerig morän, vilket kan tyda på att den beräknade modellen över skjuvvågshastigheten mot djupet inte är tillförlitlig. En alternativ förklaring kan vara att moränen inte utgör en hastighetsmässigt homogen enhet, utan att till exempel sandlinser eller andra intramoräna sediment i den uppmätta volymen påverkar resultatet.

Detta kan tolkas som att ett förbättrat fv-spektrum med hjälp av (minimalt) större *array tolerance* inte nödvändigtvis ger en bättre inversmodell av skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Det går dock inte att dra en övergripande slutsats baserat på endast ett genomfört försök, utan detta bör undersökas närmare i framtiden.

10.1.2.2 Frekvens

Då fv-spektrumet för den mindre cirkeluppställningen i Greve med 4% *array tolerance* (se Figur 46 i kapitel 7.1.2 Tornhill – Liten cirkel) visade andra peakvärden i spektrumet, som fortsatte bortom grafens övre gräns vid 25 Hz, var det intressant att se hur peakvärdena fortsatte vid högre frekvenser.

I kompletterande fv-spektra för upp till 50 Hz och 100 Hz syns fler linjer med peakvärden, vilket kan tolkas som olika moder, det vill säga inte enbart fundamentalmod som tidigare antagits (se avsnitt 6.2.3 Antaganden). Inkludering av högre moder i inversionen behandlas inte i detta examensarbete, och lämnas därför utan vidare diskussion. De rätta linjerna i fv-spektrumet skulle möjligtvis kunna tyda på rumsliga vikningseffekter, särskilt i grafen för upp till 100 Hz.

10.1.2.3 Utklippta seismisk data

Ytterligare ett försök att få ut resultat av högre kvalitet för den mindre cirkeluppställningen i Tornhill var att välja ut ett tidssegment om 120 000 ms ur de 480 000 ms seismiska data, där det fanns tydligt högre amplituder över tidsperioden.

När *array tolerance* ökades till 4% blev amplituden hos peakvärdena mer framträdande och en dispersionskurva kunde skapas. Resultatet av inversionen blev dock en modell med 19,67% *misfit*. Dessutom skapades många lager av modellen, med skjuvvågshastigheter som varierade inom ett intervall av 150 m/s, i ett intervall där det enligt den geologiska lagerföljden ska finnas lerig morän, vilket gör det svårt att uttala sig om huruvida resultatet stämmer med lagerföljden (se Figur 7 i avsnitt 4.1.2 Geologi och stratigrafi).

Sett till *misfit* gav urklippta data en högre *misfit* än när hela datasetet för mätningen i Tornhill användes. Detta kan dock inte anses gälla generellt, då bara en mätning har undersökts, utan detta är något som bör undersökas mer i framtiden.

10.1.3 Greve – Stor cirkel

I de inversa modellerna för skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet för den stora cirkeluppställningen i Greve skapades 5 lager per mätning. En jämförelse mellan dessa och lagerföljden från brunnsprotokollet ses nedan i Tabell 20 (själva lagerföljden hittas i Figur 9 i 4.2.2 Geologi och stratigrafi). En tabell över skjuvvågshastigheterna i de inversa modellerna samt ett medelvärde ges även i Tabell 21.

Tabell 20 Djup i meter i fyra inversa modeller av skjuvvågshastigheten mot djupet i triangeluppställningen i Greve jämfört med lagerföljden från brunnsprotokollet. Modellerade djup med liknande värden har förts till samma lager. Rubriken Lagerföljd Greve hänvisar till Figur 9 i avsnitt 4.2.2 Geologi och stratigrafi.

INVERSIONSRESULTAT							
LAGER	DJUP	DJUP	DJUP	DJUP	MEDELVÄRDE	LAGERFÖLJD GREVIE	SKILLNAD (+/-)
1		10,82	10,88	11,11	10,94	0	-
2	12,66	13,25	12,68	13,07	12,91	14	-1,09

3	15,09	15,34	14,84	15,04	15,08	15	+0,08
4	18,01	17,60	18,09	17,39	17,77		-
5	20,27	22,10	22,30	20,62	21,32	21	+0,32
6	24,63				24,63	25	-0,37

Tabell 21 Skjuvvågshastighet (V_s i m/s) i fyra inversa modeller av skjuvvågshastigheten mot djupet i triangeluppställningen i Grevie. Lagren motsvarar de ovan angivna i Tabell 20, där även medelvärdet för djup i meter är hämtat från.

INVERSIONSRESULTAT						
LAGER	V_s	V_s	V_s	V_s	MEDELVÄRDE V_s	MEDELVÄRDE DJUP
1		367	377	380	374,67	10,94
2	383	216	213	246	264,5	12,91
3	237	284	265	235	255,25	15,08
4	253	312	261	242	267	17,77
5	379	285	255	400	329,75	21,32
6	301				301	24,63

De lager som angivits av modellen stämmer väl överens med de i lagerföljden, förutom vid 12,91 samt 17,77 meters djup, där brunnsprotokollet inte visade på något geologiskt lager.

När det gäller skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet visar den på en generellt ökande skjuvvågshastighet från cirka 13 meter och nedåt, men vissa lager har en lägre skjuvvågshastighet än omgivande lager (se Figur 52 och Figur 53 i avsnitt 7.1.4 Grevie – Stor cirkel).

En intressant observation är att skjuvvågshastigheten skiljer sig markant åt för den stora och mindre cirkeln i Grevie på liknande djup i de inversa modellerna (vid den stora cirkelns startdjup respektive den mindre cirkelns slutdjup). Då det inte går att verifiera skjuvvågshastigheten med någon bakgrundsinformation kan det inte sägas vilken av uppställningarna som givit upphov till mest korrekta modeller jämfört med verkligheten. Däremot leder resultatens diskrepans till insikten att de inversa modellerna förmodligen för med sig en del osäkerheter vad gäller åtminstone de första och sista angivna skjuvvågshastigheterna.

10.1.4 Grevie – Liten cirkel

De inversa modellerna för den mindre cirkeluppställningen i Grevie har 6–7 lager från ungefär 5 till 11 meters djup. I lagerföljden från brunnsprotokollet är det lerig morän från 0 till 14 meter och dessa lager tolkas därför som lokala variationer i denna. Det har i datahanteringen antagits att lagren är homogena, men i verkligheten kan det exempelvis förekomma större block eller sandlinser, liksom andra variationer i materialens fasthet, i en morän (se avsnittet 6.2.3 Antaganden). Skjuvvågshastigheten i modellerna minskar även med djupet hos samtliga. Av detta påvisas vikten av att i tolkningskedet ha god bakgrundsinformation om området i form av exempelvis lagerföljder.

Den mindre cirkeluppställningen ger alltså resultat även nära markytan. Om man jämför med Tornhill (se diskussionen i avsnitt 10.1.2 Tornhill – Liten cirkel och triangel ovan), där signalkvaliteten var för låg att kunna analyseras för just den mindre cirkeluppställningen, visar resultaten härifrån att det inte finns principiella hinder för att få resultat från mindre djup.

10.1.5 Grevie – Triangel

10.1.5.1 Den misslyckade mätningen

En av mätningarna med triangeluppställning i Grevie stack ut, då den gav ett fv-spektrum med betydligt svagare amplitud i peakvärdena (se Figur 106 i avsnitt 8.1 Signal från geofoner). Anledningen till detta skulle dels kunna vara brist på tillräckligt starka ljudkällor under de 2 minuter som mätningen pågick, men när seismiska data i tidsdomän studeras finns ändå aktivitet liknande de andra mätningarna med triangel i Grevie.

Däremot verkar en av geofonerna i den yttersta triangeln ha varit ur funktion under just denna mätning, men fungerat som vanligt både före och efter. Det skulle kunna vara en orsak till den plötsligt försämrade kvaliteten hos mätningen, men det är nog mindre troligt, då simulerad inaktivering av fler geofoner än så i triangeluppställningen i Grevie fortfarande givit upphov till fv-spektrum med tydliga mönster hos peakvärdena (se till exempel Figur 86 i avsnitt 7.3.2.2 Grevie).

10.1.5.2 Överensstämmelse med brunnsprotokoll

Då lagerföljden i Grevie (enligt Figur 9 i 4.2.2 Geologi och stratigrafi) förväntas bestå av flera lager av olika mäktighet på djup som nås med den passiva ytvågsseismiken (från runt 13 till 14 meter till cirka 30 meters djup), finns här möjligheter att jämföra modellerna över skjuvvågshastigheten med en geologisk stratigrafi.

Den inversa modellerna för triangeluppställningen i Grevie ger en lagerföljd bestående av flera lager. Generellt skapas en lagerföljd som ser ut som i Tabell 22. I Tabell 23 visas även värdena för skjuvvågshastigheten i de inversa modellerna, tillsammans med medelvärden.

Tabell 22 Djup i meter i sju inversa modeller av skjuvvågshastigheten mot djupet i triangeluppställningen i Grevie jämfört med lagerföljden från brunnsprotokollet. Modellerade djup med liknande värden har förts till samma lager. Antal lager i modellerna skiljer sig åt. Rubriken Lagerföljd Grevie hänvisar till Figur 9 i avsnitt 4.2.2 Geologi och stratigrafi.

INVERSIONSRESULTAT										
LAGER	DJUP	DJUP	DJUP	DJUP	DJUP	DJUP	DJUP	MEDEL VÄRDE	LAGERFÖLJD GREVIE	SKILLNAD (+/-)
1	11,23	12,90	12,62	11,45	10,96		12,47	11,93	0	-
2	13,67	14,46	14,37	13,65	13,21	14,98	14,90	14,18	14	+0,18
3	16,21	16,24	16,46	15,91	15,31	17,18	16,99	16,33	15	+1,33
4	19,67	19,42	18,97	18,81	18,80	19,34	19,75	19,25		-
5	23,10	22,72	22,08	21,50	22,75	22,34	23,69	22,60	21	+1,60
6				24,41				24,41	25	-0,59
7	27,45		27,48	28,96	26,65	26,54	28,75	27,64	28	-0,36
8	32,77				30,33	31,23	34,03	32,09	42	-

Tabell 23 Skjuvvågshastighet (V_s i m/s) i sju inversa modeller av skjuvvågshastigheten mot djupet i triangeluppställningen i Grevie. Lagren motsvarar de ovan angivna i Tabell 22, där även medelvärdet för djup i meter är hämtat från.

INVERSIONSRESULTAT										
LAGER	V_s	V_s	V_s	V_s	V_s	V_s	V_s	MEDELVÄRDE V_s	MEDELVÄRDE DJUP	
1	281	266	299	260	281		294	280,17	11,93	
2	243	319	298	356	212	310	234	281,71	14,18	
3	328	387	345	448	333	264	493	371,14	16,33	

4	592	600	563	502	568	485	501	544,43	19,25
5	585	729	466	484	606	528	559	565,29	22,60
6				402				402	24,41
7	519		519	378	522	508	479	487,5	27,64
8	551				481	577	574	545,75	32,09

Det är tydligt att vissa modellerade djup till lagergränser stämmer väl överens med observerade lagergränser från brunnsprotokollet, exempelvis vid 14 och 28 meters djup. De andra värdena är närliggande, men de inversa modellerna skapar även lager vid 11,93, 19,25 och 32,09 meters djup, som inte kan ses i brunnsprotokollet. Vissa avvikelser mellan modellerade och observerade djup kan förklaras av att de ligger utanför det intervall som bildas av det första respektive sista detekterbara djup som modellen kan skapa. Vid 19,25 meters djup finns dock möjligen en lokal variation som inte syns i lagerföljden från brunnsprotokollet.

För skjuvvågshastigheten finns inga observerade värden att jämföra med från brunnsprotokollet, men den generella trenden är att skjuvvågshastigheten först ökar i modellerna för att därefter minska något vid större djup. Detta verkar motsägelsefullt, då det förväntade resultatet är en ökande skjuvvågshastighet med djupet. Det verkar därmed som att triangeluppställningen i Greve var framgångsrik med att identifiera lagerdjup. Däremot erhålls skjuvvågshastigheter som kan ifrågasättas, åtminstone för de större djupen (där det skulle kunna finnas osäkerheter i hur djupt modellen faktiskt kan visa trovärdiga resultat).

10.2 Kombinerade mätningar

För de kombinerade mätningarna skiljer sig resultaten sig inte särskilt mycket från de individuella mätningarna. Generellt blir värdet på *misfit* ett värde som liknar de för de individuella mätningarna, samtidigt som man inte ska lita alltför mycket på att en låg *misfit*, det vill säga en bra modellanpassning, visar en kurva som bäst motsvarar verkligheten, se vidare diskussion i avsnitt 10.6 Misfit.

Däremot blir startdjupen hos modellerna stundtals mindre för den kombinerade kurvan jämfört med de individuella. Det skulle kunna bero på den mänskliga faktorn, i form av hur punkterna har valts manuellt för att skapa en dispersionskurva, då detta påverkar resultatet i efterföljande steg.

För vissa mätningar kombinerades ett fv-spektrum av låg kvalitet med ett av hög kvalitet, men det gav fortfarande resultat av relativt låg kvalitet. Att försöka förbättra en dålig mätning med hjälp av en bra garanterar alltså inte goda resultat.

Den sammanvägda bedömningen är att kombinationer av två kurvor inte ger resultat som är märkbart bättre än de individuella mätningarna, utan snarare ett medelvärde av två. Att kombinera långt fler filer med varandra kan möjligen ge upphov till mer intressanta resultat, men det kunde inte prövas inom ramen för detta examensarbete (se avsnitt 7.2.1 Tornhill – Stor cirkel).

10.3 Inaktiverade geofoner

10.3.1 Cirkel

När det gäller fv-spektra för de tre cirkeluppställningarna som analyserats, minskar generellt amplituden hos peakvärdena med minskad andel aktiva geofoner. På samma sätt ökar bruset vid låga hastigheter och högre frekvenser och formen på peakvärdena blir mindre mjuk och jämn och mer diffus.

Peakvärdena med hög amplitud når inte de högre frekvenserna vid lägre andel aktiva geofoner (se till exempel Figur 78 i avsnitt 7.3.1.3 Grevie – Stor cirkel). Dessa aspekter är tydligast vid cirkeluppställningarna i Grevie, framförallt vid den mindre uppställningen. Detta kan bero på att den uppställningen från början har färre aktiva geofoner än de andra.

De inversa modellerna över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet förändras vad gäller startdjup och form på kurvan då andelen aktiva geofoner minskar. För Tornhill är förändringen inte särskilt stor, varken i startdjup eller i formen på kurvan och förändringen är inte påtaglig förrän vid 25% aktiva geofoner. Detta skulle kunna bero på det relativt sett större antalet aktiva geofoner från start; att den minskade andelen geofoner inte påverkade lika mycket som för en uppställning med ett mindre totalt antal geofoner.

För de båda uppställningarna i Grevie däremot, är formen på kurvan i den inversa modellen över skjuvvågshastigheten mot djupet varierande i utformning och kan växla fram och tillbaka mellan högre och lägre skjuvvågshastigheter i de olika varianterna av andel aktiva geofoner, se exempelvis Figur 80 i avsnitt 7.3.1.3 Grevie – Stor cirkel.

Här kan man jämföra med lagerföljden från brunnsprotokollet och det blir då tydligt att överensstämmelsen är skiftande. Modellerna skapar många lager på mindre djup än 14 meter, där det endast förväntas lerig morän enligt den geologiska lagerföljden. Många lager är dessutom tunnare än 1 meter, vilket gör jämförelsen med brunnsprotokollet svårare (se Figur 9 i avsnitt 4.2.2 Geologi och stratigrafi). Dessa lager varierar uppåt och nedåt i skjuvvågshastighet, vilket leder till att de inte bedöms utgöra ett och samma lager trots att de är så näraliggande.

Redan vid 50% geofoner inaktiverade i Grevie visar modellen över skjuvvågshastigheten en minskande skjuvvågshastighet med djupet. Detta är ett resultat som är motsatt det som erhålls då samtliga geofoner är aktiva.

Den stora cirkeluppställningen i Grevie hade lika många aktiva geofoner som den i Tornhill, men resultaten från Tornhill fick minskad bedömd trovärdighet först vid 25% aktiva geofoner. Radien för uppställningarna skilde sig visserligen, men det kan även vara mätplatsen som spelar roll, i form av vilka källsignaler som funnits tillgängliga, markprofilernas olika karakteristika eller liknande.

10.3.2 Triangel

För triangeluppställningen i Tornhill genomfördes ingen inaktivering av geofoner på grund av mätdatas ringa kvalitet, därför är det endast resultaten av inaktiveringen från Grevie som kan diskuteras.

Det är tydligt att amplituden hos peakvärdena i fv-spektrumet ökar för de högre frekvenserna med minskat antal geofoner aktiva. Det brus som förekommer vid låga hastigheter för de högre frekvenserna minskar också. Samtidigt blir peakvärdena väldigt diffusa för de lägre frekvenserna med färre geofoner aktiva, för exempel se Figur 86 i avsnitt 7.3.2.2 Grevie.

Generellt stämmer djupen för lagren i de inversa modellerna relativt väl överens med lagerföljden från brunnsprotokollet, men något sämre när geofoner inaktiveras. Ju färre geofoner som är aktiva, desto fler lager skapas dessutom i modellen för de mindre djupen.

Dessa djup motsvarar inte den förväntade lagerföljden, då det från 0 till 14 meter är lerig morän enligt brunnsprotokollet, medan modellerna visar cirka sex olika lager inom intervallet (se Figur 9 i avsnitt 4.2.2 Geologi och stratigrafi).

Det gäller därför att vara kritisk när graferna över skjuvvågshastigheten mot djupet granskas, då resultaten tyder på att den inversa modellen, av den lilla mängd data som blir tillgänglig vid så lågt geofonantal, skapar skjuvvågshastighetsmodeller som inte har en direkt motsvarighet när man jämför med brunnsprotokoll.

10.3.3 Mittgeofon

10.3.3.1 Cirkel

Inaktiveringen av mittgeofon för cirkeluppställningarna har visat på små skillnader i utseendet hos fv-spektra när man jämför med motsvarande mätningar med mittgeofonen aktiv. När det gäller modellerna över skjuvvågshastigheten mot djupet är resultaten olika för olika mätuppställningar.

För den stora cirkeln i Tornhill är resultaten lika i både lagerföljd och skjuvvågshastighet när man jämför med aktiv mittgeofon och utan, medan resultaten i Grevie visar större skillnader för både lagerföljd och skjuvvågshastighet (se exempelvis Figur 92 i 7.3.3.1 Tornhill – Stor cirkel i jämfört med Figur 97 i 7.3.3.3 Grevie – Stor cirkel). För mätningarna med liten cirkel i Grevie motsvarar de djup som visas ett och samma lager i brunnsprotokollet, nämligen lerig morän.

Den slutsats som kan dras utifrån detta är att frånvaron av mittgeofon inte verkar påverka utseendet hos peakvärdena i fv-spektrumet nämnvärt, men att det kan bli skillnader i modellen över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Detta resultat är något överraskande, då liknande fv-spektra borde ge upphov till liknande inversa modeller. En möjlig förklaring skulle kunna vara att punkterna till dispersionskurvan väljs manuellt, och att skillnader i hur de har valts kan ha påverkat utseendet på grafen över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet.

Om överensstämmelsen med brunnsprotokollet blir bättre eller sämre med eller utan mittgeofon för den mindre cirkeln i Grevie är däremot svårt att säga, då det saknas geologiska lager vid de djupen i brunnsprotokollet att jämföra med.

För den stora cirkeln i Grevie stämmer den inversa modellen med lagerföljden från brunnsprotokollet till viss del även utan mittgeofon aktiv. Framförallt är det skjuvvågshastigheterna som varierar. För den stora cirkeluppställningen i Tornhill gav mätningarna med mittgeofon aktiv ett något mindre startdjup men i övrigt ingen större skillnad.

10.3.3.2 Triangel

När det gäller triangeluppställningen har bara mätningarna från Greve kunnat analyseras med inaktiverad mittgeofon. Här är det tydligt att utseendet för fv-spektrumen skiljer sig åt med eller utan mittgeofon aktiv; peakvärdena når inte lika höga frekvenser när mittgeofonen inte är aktiv.

Här är det, till skillnad från i cirkeluppställningen i Tornhill, modellerna utan aktiv mittgeofon som visar ett mindre startdjup. Utöver det stämmer lagersekvensen i de inversa modellerna väl med den från brunnsprotokollet erhållna lagerföljden. Däremot fluktuerar skjuvvågshastigheten kraftigare uppåt och nedåt med djupet utan mittgeofon än med, se Figur 104 i avsnitt 7.3.4.2 Greve – Triangel för jämförelse.

10.4 Cirkel- kontra triangeluppställning

De två mätuppställningarna, cirkel- och triangelformation, har genomförts med olika storlekar och geofonantal för cirkelarna men med samma storlek och geofonantal för triangelformationen.

Resultaten från inversionen av mätningarna från den stora cirkeln i Tornhill gav resultat i form av skjuvvågshastighetsvärden på mellan cirka 6 och 45 meters djup, vilket är det största intervallet av alla mätningar. Tyvärr innehåller lagerföljden i Tornhill bara ett bedömt geologiskt lagarskifte i detta intervall och därmed är det svårt att uttala sig om resultatet av den inversa modelleringen i förhållande till verifieringsdata.

Den stora cirkeln i Greve var mindre i radie än i Tornhill (15 istället för 25 meter) och de inversa modellernas start- och slutvärden var 11 respektive 25 meter. Vid jämförelse med den geologiska lagersekvensen stämmer de modellerade lagren i den inversa modellen väl överens.

Den lilla cirkeln i Greve ger upphov till resultat som är svåra att verifiera, då den geologiska lagerföljden i intervallet 5 till 11 meter endast består av lerig morän, medan den inversa modellen föreslår ett flertal lager. Det hade därför varit av intresse att se hur pass väl den lilla cirkeluppställningen hade kunnat bidra till skapandet av en inversmodell över skjuvvågshastigheten i Tornhill, där lagerföljden är mer varierande vid så små djup (se avsnitt 7.1.2 Tornhill – Liten cirkel).

Eftersom mätkvaliteten från triangeluppställningen på Tornhill var alltför låg finns det inget att jämföra triangeluppställningen i Greve med på ett adekvat sätt. Resultaten från mätningen med triangeluppställning i Greve har lyckats karaktärisera lagerföljden på ett sätt som stämmer väl överens med lagerföljden från brunnsprotokollet och modellens start- och slutdjup spänner över cirka 12 och 32 meter.

Sammanfattningsvis kan det konstateras att den största uppställningen (det vill säga den stora cirkeln i Tornhill), med både flest antal geofoner och störst radie, gav det största resulterande intervallet sett till lagerföljden i inversionen (se exempelvis Figur 40 i avsnitt 7.1.1 Tornhill – Stor cirkel). Med triangeluppställningen i Greve når man dock ett större intervall vad gäller djup än vid den stora cirkeluppställningen i Greve, trots att triangeluppställningen använder långt färre geofoner. Båda dessa inversa modeller gav goda resultat. Den mindre cirkeluppställningen i Greve har ett litet djupintervall, och det hade varit av större intresse att se hur en sådan uppställnings resultat såg ut för motsvarande mätning i Tornhill.

10.5 Samplingsintervall och mättid

Fyra olika kombinationer av samplingsintervall och mättider har använts i examensarbetet (se Tabell 1 i 3.1.1 Samplingsintervall och mättid). När resultaten av mätningarna jämförs går det inte att se någon markant skillnad vad gäller *misfit* eller startdjup för de inversa modellerna mellan mätningar med olika samplingsintervall och mättid.

Vilket samplingsintervall och vilken mättid som är att rekommendera går därför inte att säga. Däremot kan man reflektera över slumpmässigheten i de signaler man avser att samla in. Om man exempelvis har tåg som passerar med jämna mellanrum skulle en längre mättid (och därmed större samplingsintervall) vara att föredra, för att ha chans att detektera tågets ljudvågor under mätningens gång. Kortare mätintervall skulle kunna vara att föredra om man tror att ens ljudkällor är mer konstanta, exempelvis vid en hårt trafikerad väg, det vill säga om man är övertygad om att tillräckligt med ljudvågor kommer kunna detekteras under den korta mätningens gång för att kunna skapa resultat av hög kvalitet. Vad som är tillräckligt är naturligtvis svårt att definiera, och med tanke på att frekvenserna ofta är lägre än vad vi människor kan höra kan det vara svårt att uppskatta i fält.

10.6 Misfit

Som tidigare introducerat i avsnitt 6.2 Arbetsprocessen i Geogiga Seismic Pro används *misfit* som ett mått på skillnaden mellan startmodellerna och inversionsmodellerna. En låg *misfit* visar att dessa modeller är lika, och är det som eftersträvas. I detta examensarbete har den godtyckliga uppskattningen gjorts att *misfit* runt 3 till 5% kan anses vara av bra kvalitet. I vissa fall har *misfit* varit så hög som cirka 20 eller 45%, vilket har tolkats som att modellen från inversionsprocessen är mindre tillförlitlig.

Samtidigt har en påtagligt låg *misfit* förekommit vid inaktivering av geofoner, där alltså *misfit* rimligtvis borde bli högre med tanke på den minskade mängden data att utgå ifrån. Samtidigt är det troligtvis just detta som gör att det blir en låg *misfit*, att det finns mindre data att ta hänsyn till och skapa sin inversa modell efter. Därför bör inställningen till dessa mätningars *misfit* hållas mer kritisk.

11 Diskussion av praktiska erfarenheter

För att göra mätningar med passiv ytvågsseismik så värdefulla som möjligt behöver de ge tillräckligt tillförlitliga resultat samtidigt som de bör vara enkla att genomföra och tidseffektiva.

I projektet har samtliga mätningar har skett på jordbruksmark med stora öppna ytor och med lättillgängliga mätplatser. Områdenas utformning skiljer sig därför från urbana miljöer, där det är mindre vanligt med stora öppna ytor och olika hinder i form av exempelvis elskåp, lyktstolpar och byggnader som begränsar mätningens utformning och utförande.

Nedan diskuteras några praktiska erfarenheter av mätningarna som bedöms vara av allmän karaktär.

11.1 Personal

Antalet personer som utför mätningarna påverkar framförallt tidsaspekten avsevärt. Man behöver vara minst två personer för att det ska vara rimligt att genomföra passiv seismik, då man av säkerhetsskäl inte bör vara ensam ute på fältarbete. Fältarbetet i detta examensarbete har utförts av två personer, men tre deltagare skulle göra arbetet ännu mer effektivt, dock givetvis med ökande kostnader som följd. De aktiviteter där tiden kan minska är uppställning (det vill säga utsättning av geofoner och att koppla klämmor till dem) samt avetablering.

När det gäller att sätta ut geofoner spelar metoden roll för hur lång tid det tar; med GNSS går det snabbare än med mätband. Att vara tre personer och mäta in en cirkeluppställning med mätband skulle inte göra någon skillnad gentemot två, eftersom bara två personer behövs till det (eller fyra, om man arbetar två och två och börjar från varsin ände). För triangeluppställningen hade det nog underlättat något att vara tre deltagare istället för två. Då hade arbetsuppgifterna kunnat delas upp i att två mäter in med mätband och en tredje placerar mätmarkörer och kollar avstånd.

Däremot skulle tre personer minska tiden det tar för att sätta ut geofonstationerna med GNSS. Antingen kan man använda sig av tre GNSS-mottagare samtidigt och börja på olika ställen av uppställningen, eller kan två personer starta med GNSS och den tredje kan istället fokusera på att bära utrustning och rigga upp fältdator under tiden som geofonerna sattes ut. Detta kan bero på hur många GNSS-mottagare man har tillgängligt. Samtidigt kan det bli större variationer i exakthet när det gäller att sätta ut geofoner med GNSS om en person är mindre noggrann än den andre. Avgörande är såklart att tillgång till personal är en kostnadsfråga där situationen avgör vad som är lämpligast. Exempelvis kan det vara lönt att vara fler personer om man vill minimera antal dagar i fält, exempelvis om det tar lång tid att ta sig till mätplatsen.

11.2 Utsättning av geofoner med mätband jämfört med GNSS

Skillnaden mellan att sätta ut geofonstationer med mätband jämfört med GNSS är intressant, både vad gäller tid, förberedelse och svårighetsgrad, och det finns för- och nackdelar med båda. Illustrationer av uppställningsgeometrierna finns i Figur 3 och Figur 4 i avsnitt 3.2 Beräkning av stationskoordinater i Matlab.

11.2.1 Mätband

Att sätta ut stationer med mätband kräver mindre förberedelser innan fältbesöket än vid utsättning med GNSS. För en cirkel behöver endast avstånd mellan geofonerna beräknas utifrån önskad radie och antalet tillgängliga geofoner. För triangeluppställningen utgår man från önskade sidlängder och behöver endast beräkna avstånden mellan geofonerna längs mittlinjen i förväg. När stationerna skall sättas ut är det enkelt att anpassa sin mittpunkt i fält utifrån förutsättningarna, exempelvis för att undvika stora stenar eller andra föremål som kanske inte syns på ett ortofoto eller andra kartor. Även om man har studerat kartor och ortofoton noga i förväg kan det ha tillkommit föremål som hindrar ens tänkta uppställning efter det att kartorna skapades eller ortofotona togs.

Det fungerar bra att sätta ut stationerna med mätband om marken är torr och med lågväxande markvegetation, så att inte mätbandet blir smutsigt av fuktig jord eller fastnar i uppstickande växter när det dras över marken. I urban miljö kan det vara komplicerat att dra mätband om det finns lyktstolpar, elskåp och papperskorgar som mätbandet fastnar vid.

Utsättningen av framförallt geofoner på randen av en cirkel kan vara ergonomiskt krävande, med mycket arbete sittandes på huk eller med böjd rygg, vilket är påfrestande i längden. Triangeluppställningen är inte lika fysiskt krävande att sätta upp med mätband som cirkeluppställningen, då en stor del av arbetet kan göras stående.

11.2.2 GNSS

Att sätta ut geofoner med GNSS kräver en del förberedelser innan själva fältarbetet äger rum. Startkoordinater för cirkeln måste väljas, antingen genom ett fältbesök eller genom att studera tillförlitliga kartor. Därefter behöver koordinater för alla geofoner räknas ut (i detta examensarbete gjordes detta i Matlab, se avsnitt 3.2 Beräkning av stationskoordinater i Matlab) och laddas in i GNSS-mottagaren. Om man redan har en välfungerande kod för koordinatgenerering, till exempel den som tagits fram inom ramen för detta arbete, blir processen enkel och snabb inför upprepade fältbesök.

Det blir dock problematiskt om något har ändrats på platsen när man väl är där för fältarbete, exempelvis om en bil står felparkerad i urban miljö där mätningarna ska genomföras. Det går naturligtvis att beräkna koordinaterna på nytt utifrån en annan startpunkt, men detta tar värdefull tid i anspråk. Själva inmätningen går däremot snabbt och det är mindre fysiskt krävande än att mäta in med mätband, åtminstone för cirkeluppställning.

11.2.3 Koordinater: förberäknade och inmätta

I avsnitt 9 Mätgeometri redogjordes det för de förberäknade och inmätta koordinaterna för de geometriska uppställningarna i fältarbetet. För jämförelserna mellan koordinaterna

med stor och liten cirkeluppställning i Grevie verkar ett systematiskt fel förekomma, då de förberäknade och inmätta koordinaterna placerar sig mitt emellan varandra i grafen (se Figur 110 och Figur 111 i avsnitt 9.4 Grevie – Stor cirkel respektive 9.5 Grevie – Liten cirkel). Det syns även på minimum- och maxvärdet som ligger på cirka 50 respektive 70 cm för den stora cirkeln samt 20 respektive 40 cm för den mindre cirkeln. Både medelvärdet och värdet för medianen är lika varandra och är cirka 60 respektive 30 cm för de två uppställningarna. När koordinaterna mättes ut gjordes detta av båda medverkande i fältarbetet och det är således osannolikt att båda skulle ha ett systematiskt fel rent manuellt i inmätningen. Samtidigt är det även mindre troligt att felet beror på GNSS-mottagaren, då dessa är väl beprövade. Därmed är orsaken till felet oklar och således diskuteras dessa resultat inte vidare.

När man jämför utsättningsfelen är det tydligt att beräknade koordinater programmerade i Matlab är att föredra framför utsättning med mätband. Skillnaden mellan den hypotetiska koordinaten och den inmätta blev som mest 80 cm respektive 153 cm för cirkel- och triangeluppställningen i Tornhill. Motsvarande maximumvärde för de geofoner som sattes ut med GNSS-mottagare blev 20 cm för både liten cirkel i Tornhill och triangelformationen i Grevie. Standardavvikelsen landar på 10 respektive 40 cm för uppställningarna som sattes ut med mätband, medan standardavvikelsen bara blir 5 eller 6 cm för de med förberäknade koordinater. Notera att i skapandet av fv-spektrum och sedermera dispersionskurvor användes alltid GNSS-inmätta geofonkoordinater.

Samtidigt ska det sägas att endast ett fåtal mätningar har genomförts och metoderna för att sätta ut uppställningarna med mätband kunde troligtvis ha förbättrats vad gäller effektivitet och noggrannhet. Vid upprepade försök hade därför maximumvärdet och standardavvikelsen förmodligen inte blivit lika höga. Cirkeluppställningen har goda möjligheter att bli ännu mer exakt, då det underlättar att radien alltid är densamma. I triangeluppställningen är det däremot svårare när det oftast inte finns några närliggande punkter att orientera sig efter, utan långa sträckor behöver dras.

En generell rekommendation är dock att använda sig av förberäknade koordinater och GNSS om man vill vara så noggrann som möjligt med koordinaternas placering. Att sätta ut en cirkeluppställning med mätband kan gå an, men speciellt med triangeluppställning är det svårt att nå den noggrannhet som krävs.

11.2.4 Sammanfattning

Sammanfattningsvis kan det sägas att det är fördelaktigt att använda sig av mätband om förhållandena på platsen är lämpliga och om man inte har möjlighet att besöka platsen innan mätningarna sker, alternativt om man vet att det kan finnas många hinder i terrängen.

Att använda GNSS är ett bättre alternativ, speciellt om det finns möjlighet att besöka platsen innan fältarbetet äger rum för att välja startkoordinater, alternativt att det finns tillgång till god bakgrundsinformation om platsen.

Som nämnts tidigare kan antalet personer som deltar i fältarbetet också påverka valet av mätband eller GNSS. Om man utför fältarbete många dagar i rad kan det vara mer skonsamt för kroppen att mäta in med GNSS då detta kräver mindre arbete i ergonomiskt ofördelaktiga positioner. Slutligen måste man självklart ta hänsyn till hur pass bra täckning man har för GNSS, då detta kan vara ett problem i vissa miljöer.

11.3 Olika typer av geofonuppställningar

I examensarbetet testades tre varianter av uppställningar: en stor cirkel (med och utan mittpunkt), en liten cirkel med mittpunkt samt en triangeluppställning med mittpunkt. Att använda sig av en triangeluppställning tog betydligt kortare tid än en stor cirkeluppställning, detta för att färre geofoner användes (ungefär 20% av antalet geofoner i den stora cirkeluppställningen). Att använda så få geofoner som möjligt minskar tiden som krävs för att etablera, ställa upp, mäta och avetablera. Samtidigt kan den extra tiden som krävs vara värt mödan då de stora cirkeluppställningarna i Tornhill och Grevie visat goda resultat. Dock kan troligtvis geofonantalet minskas till ungefär hälften utan att resultatet påverkas dramatiskt, som sågs i simuleringarna av inaktiverade geofoner längs cirkelperiferin.

Grundat på erfarenheter i detta arbete är det rimligt att anta att man (med två personer i fält) på en dag skulle kunna hinna ställa upp två eller tre trianglar längs en linje för att skapa en profil, jämfört med att man bara hinner en eller två cirklar med samma mittpunkt med ett så stort geofonantal som här.

Att som i triangeluppställningen använda få geofoner innebär också att flera personer skulle kunna arbeta parallellt med att ställa upp trianglar längs profilen, då mätningen är passiv och inte störs av släggslag, som i en aktiv mätning. Man behöver inte nödvändigtvis genomföra mätningarna exakt samtidigt, men bara att kunna göra en andra uppställning en bit bort, under tiden som mätningar pågår för en första uppställning, sparar tid. Det totala antalet tillgängliga geofoner är nämligen en begränsande faktor för uppställningen, och därför kan man reflektera över om det i det enskilda fallet är bättre att göra en stor uppställning med många geofoner, eller fler små uppställningar med färre geofoner.

Tidigare har skillnaden mellan att sätta ut geofonernas placering med mätband eller med koordinater diskuterats, men det skiljer sig även mellan uppställningarna vilken som är enklast att genomföra. Här har cirkeluppställningen en enklare geometri med en konstant radie, men den tar lång tid att genomföra när det är många geofoner som ska mätas in (här till exempel 79 st). En cirkel med kortare radie och färre geofoner hade rimligen tagit kortare tid att genomföra. Triangeluppställningen är mer komplicerad och görs i många steg, men uppställningen går trots det snabbare eftersom färre geofoner ska sättas ut. Man behöver dock gå långa avstånd i olika riktningar under uppställningen av triangelformationen, medan man i cirkeluppställningen systematiskt flyttar sig ett steg framåt i längs cirkelns rand när stationerna sätts ut.

11.4 Generella rekommendationer

Ett antal observationer har gjorts under dagarna med fältarbete vad gäller hur man kan gå till väga för att utnyttja tiden i fält samt utrustningen så effektivt som möjligt och samtidigt erhålla bra resultat i mätningarna. Dessa beskrivs därför nedan, som rekommendationer.

Det är viktigt att reflektera över hur mycket utrustning som behövs till de mätningar man planerar att genomföra. Om få geofoner används, kan det eventuellt behövas färre klämmor och det kan räcka med en kabelrulle istället för två (men detta beror naturligtvis på vilken utrustning man använder och dess begränsningar). Att använda mindre

utrustning sparar tid och minskar de logistiska kraven. Samtidigt måste man se till de krav som finns på bland annat antalet aktiva kanaler kan uppfyllas.

Ytterligare en rekommendation rör utsättningen av geofonstationer till triangeluppställning med mätband. Använd om möjligt långa och färgade mätmarkörer eller stakkäppar för att markera geofonernas placering (innan de sedan tas bort när väl geofonerna är utsatta och kablar har dragits). Detta underlättar, särskilt i terräng med växtlighet, och sparar tid. Själva datainsamlingen kan ta, i sammanhanget, långt tid; uppemot 20 minuter. Denna tid utnyttjas dock med fördel till att anteckna, dokumentera uppställningen med kamera samt att ta pauser.

Därtill rekommenderas det att mäta in geofonernas stationskoordinater med GNSS i samma ordning som stationsnumreringen i insamlingsprogrammet. Detta underlättar den efterföljande datahanteringen avsevärt.

När det gäller att göra flera uppställningar under samma fältarbetsdag finns det möjlighet till effektivisering även där. I Greve mättes två uppställningar av cirklar, där valet gjordes att mäta den stora cirkeln först, för att sedan endast lossa geofonerna från marken och dra ihop cirkeln till en mindre radie. Det hade varit komplicerat att göra tvärtom, det vill säga att börja med en liten cirkel och därefter utvidga till en stor, eftersom kabeln kanske inte hade räckt till. De geofoner som inte behövdes till den mindre cirkeln kunde enkelt kopplas av och plockas ned.

En annan idé är att låta vissa av geofonerna i de olika uppställningarna ha samma koordinater, så att de slipper flyttas. Det skulle till exempel vara möjligt om man gör triangeluppställningar längs en profil att låta den yttersta triangelns bas utgöra en bas i nästa triangel med spets åt motsatt håll. Ett annat moment som lätt kan effektiviseras är inmätningen av geofonstationernas koordinater. Om GNSS ska utföras för de mätpunkter man har haft i sin första uppställning kan den ena personen ta ut koordinater och den andre börja flytta de geofoner som hunnit bli inmätta under tiden för att effektivisera ytterligare.

12 Slutsatser

Nedan följer ett avsnitt som syftar till att besvara problemställningarna som formulerats i projektmålen för examensarbetet utifrån diskussionerna som förts tidigare. Därefter beskrivs de eventuella felkällor som har identifierats under arbetets gång samt ett antal framtida forskningsförslag för passiv ytvågsseismik.

12.1 Besvarande av problemställningar

I detta avsnitt ämnas problemställningarna att besvaras utifrån de resultat och diskussioner som redovisats och förts tidigare. En fråga i taget kommer att besvaras.

12.1.1 Passiv seismik i de undersökta områdena

Hur väl fungerar den undersökta passiva seismiska metoden i de undersökta områdena?

Generellt fungerar mätningar med passiv ytvågsseismik bra i både Tornhill och Greve, med undantag för att mätningar utförda under samma dag i Tornhill med de två uppställningsgeometrierna liten cirkel och triangel gav upphov till resultat av låg kvalitet.

Båda fältundersökningslokalerna bestod av jordbruksmark vilket möjliggjorde att i sammanhanget stora uppställningar, med exempelvis en radie på 25 meter, kunde genomföras utan problem.

När det gäller lågfrekventa ljudkällor har de funnits tillgängliga i närheten av mätningens uppställning. Utöver det har bägge platserna varit föremål för tidigare geologiska, geofysiska, och för Tornhill även geotekniska, undersökningar, vilket innebär att bakgrundsinformation fanns tillgänglig.

Alla dessa faktorer ligger till grund för mätningarnas generella framgång och möjligheten att verifiera och diskutera resultaten.

12.1.2 Geologisk och geoteknisk bakgrundsinformation

Hur väl stämmer resultaten med tillgänglig geologisk och geoteknisk bakgrundsinformation?

12.1.2.1 Geologisk bakgrundsinformation

Geologisk bakgrundsinformation fanns tillgänglig för både Tornhill och Greve i form av lagerföljder, varav den i Greve kom från ett brunnsprotokoll placerat på ett avstånd mindre än 15 meter från mätningarnas mittpunkt. Av de tre försök som utfördes med olika mätuppställningar i Tornhill var det endast den stora cirkeluppställningen som gav resultat av god kvalitet, och dessa resultat var svåra att jämföra med den geologiska lagerföljden då endast en lagerförändring från bakgrundsinformationen innefattades av resultatet.

För Grevie var möjligheten till jämförelser med geologisk lagerföljd från brunnsprotokollet däremot stor, både för att den innehöll fler lager och för att intervallet för djup i resultaten från mätningarna var i liknande intervall som brunnsprotokollets lagerföljd. Särskilt för den stora cirkeluppställningen och triangeluppställningen stämde brunnsprotokollets geologiska lagerföljd generellt väl med de lager som visades i de inversa modellerna av skjuvvågshastigheten mot djupet.

12.1.2.2 Geoteknisk bakgrundsinformation

När det gäller den geotekniska bakgrundsinformationen, i form av CPT utförd i Tornhill, var djupet för litet för att kunna jämföras med resultaten från mätningarna. Det går därför inte att dra någon slutsats om hur väl resultaten stämmer med den geotekniska bakgrundsinformationen. Detta innebär även att ingen jämförelse av data över skjuvvågshastigheter för områdena gentemot resultatet av de inversa modellerna har kunnat genomföras.

12.1.3 Plats, källsignal och uppställning

Hur varierar resultaten med plats, variationer i källsignal och uppställning?

12.1.3.1 Plats

Att jämföra resultaten mellan platserna är svårt, då det bara finns en uppställning i Tornhill som genererat godtagbara resultat, och dennes motsvarighet i Grevie var av en mindre radie (25 meters radie i Tornhill för stor cirkeluppställning kontra 15 meter i Grevie).

Utseendet på peakvärdena i fv-spektrumen skiljer sig åt mellan Tornhill och Grevie, vilket är rimligt då även lagerföljderna är olika på de två platserna. Att platserna skiljer sig åt syns även i graferna över den inversa modellen av skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet, där modellen för Tornhill visar på markant högre skjuvvågshastigheter än i Grevie.

12.1.3.2 Källsignal

I Tornhill är både järnvägen och den större bilvägen lokaliserade nära mätplatsen, medan ljudvägarna från trafiken i Grevie kommer från en väg längre bort. Det finns ingen järnväg nära mätplatsen i Grevie.

12.1.3.3 Uppställning – cirkel kontra triangel

Resultaten såg annorlunda ut för cirkeluppställningar jämfört med triangeluppställningar, särskilt när man jämför utseendet hos fv-spektrumen för de två cirkeluppställningarna i Grevie med triangeluppställningen; för cirkeluppställningarna skapades spektrum med en nästan rak linje av peakvärden, medan peakvärdena för triangeluppställningen fluktuerade mer i hastighet. När det gäller de inversa modellerna över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet blev det intervall av lagersekvenser som skapades i modellen som störst för triangeluppställningen jämfört med cirkeluppställningarna i Grevie. Skillnaden mellan dessa skulle kunna ligga i antalet *spacings* och *pairings*, men då ingen formel finns för beräkning av detta för triangeluppställningen kan de inte jämföras kvantitativt för de uppställningar som har använts i fält. Betydelsen av antalet *spacings* i jämförelse med antalet *pairings* för resultatets djupintervall går därför inte att dra en slutsats kring, men större *spacings* verkar ge resultat för större djup än vad mindre *spacings* ger.

Intervallerna i djupled i meter blev allra störst för cirkeluppställningen i Tornhill, men då den mindre cirkel- och triangeluppställningen gav resultat av låg kvalitet är det svårt att uttala sig om eventuella skillnader i resultat beroende på uppställningens utformning i Tornhill.

Även om resultaten för både cirkel- och triangeluppställningen i Greve gav lagerföljder som inte motsägs av den geologiska lagerföljden från brunnsprotokollet, hade de alla något mindre trovärdiga resultat vad gäller skjuvvågshastigheten.

Det går visserligen inte att verifiera skjuvvågshastigheten för mätningarna i Greve då geoteknisk bakgrundsinformation saknas, men de inversa modellerna visar generellt på en skjuvvågshastighet som fluktuerar uppåt och nedåt i skjuvvågshastighet med ökande djup. Det har tidigare antagits att den rimliga utvecklingen av skjuvvågshastigheten mot djupet är en ökande skjuvvågshastighet, vilket gör att resultaten ses med viss skepticism vad gäller hur väl de motsvarar verkligheten.

Samtidigt skulle det naturligtvis kunna förekomma mindre kompakta lager, som en lokal variation, men detta är svårt att veta utan fler undersökningar av andra slag, exempelvis borrhningar och mer detaljerade undersökningar av materialen. Om någon av geofonuppställningarna är bättre eller sämre på att identifiera just skjuvvågshastigheten hos materialet är därför svårt att säga.

12.1.3.4 Uppställning – mittgeofon eller ej

När det gäller hur resultaten varierar med eller utan mittgeofon i mätningen är skillnaden liten när det gäller utseendet på fv-spektrumet för cirkeluppställningarna, men en viss skillnad kan ses vad gäller de inversa modellerna av skjuvvågshastigheten mot djupet.

För triangeluppställningen var däremot skillnaderna större. En orsak till de generellt, i jämförelse med för mittgeofon inaktiverad i cirkeluppställning, sämre frekvensfasthastighetsspektrumet och inversa modellerna skulle kunna vara att geofonantalet i triangeluppställningen är lågt redan från början (16 stycken), och att det därför blir större relativ påverkan att inaktivera geofoner i den uppställningen jämfört med i en större uppställning (med 79 geofoner).

Som rekommendation skulle det därför kunna sägas att man bör ha en mittgeofon inkopplad när man gör mätuppställningar i triangelformation, för att vara på den säkra sidan, medan det inte verkar spela lika stor roll i cirkeluppställningar.

12.1.3.5 Uppställning – totalt geofonantal

Det totala antalet geofoner i en uppställning är också en intressant aspekt att studera, då den inte bara påverkar mätningens kvalitet utan även tiden som går åt till att skapa uppställningen i fält. För cirkeluppställningarna med 78 eller 79 geofoner (exklusive eventuell mittgeofon) märktes det i försöken med inaktivering av geofoner att det går att minska antalet geofoner och därmed öka avstånden mellan dem till minst 50% utan att kvaliteten försämrades på ett betydande sätt.

En triangeluppställning, däremot, består redan av ett lågt antal geofoner, nämligen 16 stycken i detta fall. Rent intuitivt är det inte rimligt att använda sig av färre geofoner än så, med tanke på den korta tid det tar att sätta ut dem, då varje triangel består av tre geofoner. Därmed blev även resultaten vid inaktivering snabbt sämre med färre geofoner aktiva.

12.1.3.6 Uppställning – storlek på uppställning

Det är tydligt att storleken på uppställningen är viktig för vilket djup man vill nå i sina mätresultat. En stor uppställning ger ett större djup än en liten uppställning, eftersom avståndet mellan geofoner spelar in, likaså vilka frekvenser och därmed våglängder som uppmäts under försöket. Det ger ett komplext förhållande, som innebär att det inte går att i förväg förutspå exakt vilka djup som kommer att nås, eftersom man på förhand inte har specifik kunskap om sina passiva källor. Därför rekommenderas det att utföra flera mätningar med samma mittpunkt, med olika storlek på uppställningarna för att täcka ett så stort intervall som möjligt av olika djup.

En cirkeluppställning är lätt att justera i storlek genom att ändra radien, efter vad som önskas vid en mätning. Att justera storleken hos en triangeluppställning kan göras genom att justera sidlängderna eller lägga till fler trianglar. Att använda färre geofoner än 16 är inte att rekommendera om syftet är att minska triangeluppställningens storlek, utan är det troligtvis klokare att minska sidlängden då resultatet lär bli sämre med färre geofoner aktiva än 16.

12.1.4 Framtidsutsikter

Vad är framtidsutsikterna för denna typ av seismiska mätningar; var är den mer och mindre lämpad?

Det finns många fördelar med passiv ytvågsseismik som gör den till ett attraktivt val vid markundersökningar. Att mäta passivt gör den förberedande processen enkel; man behöver inte söka tillstånd för att spränga eller liknande som i aktiv seismik. Detta minskar också mängden utrustning som krävs, när man inte behöver använda sig av vibratorer, fallvikter eller släggor. Vidare gör även metoden mer ergonomiskt fördelaktig då det inte förekommer särskilt tunga lyft eller upprepade slag med slägga i marken. Metoden är även kostnadseffektiv vad gäller personal, då det räcker med två personer (helst inte färre) för att genomföra mätningar väl, även om man naturligtvis kan vara fler. Valet att sätta ut geofonstationerna med GNSS till skillnad från med mätband underlättar arbetet väsentligt.

Utöver det är metoden bra på att karaktärisera större djup än vid aktiv seismik, eftersom våglängden hos ljudkällorna i den passiva seismiken är längre. Vid undersökningar där man är intresserad av större djup är därför passiv seismik lämplig; vice versa är den olämplig om man endast är intresserad av djup från exempelvis marknivå och 1–2 meter ner i marken.

Den passiva seismiken är också mer lämpad att använda i projekt där stor djupnedträngning behövs och som är i behov av många snabba, upprepade mätningar i ett område, som varken är för dyra eller för komplicerade att genomföra. Området bör ha god tillgång på lågfrekventa ljudkällor från exempelvis tåg och trafik. Detta kan vara i stadsmiljöer, nära städer eller på landsbygden i närheten av sådan infrastruktur.

Ett mindre lämpligt sammanhang för passiv ytvågsseismik skulle vara mätningar i områden med komplicerad lagerföljd, där det istället är mer tidseffektivt att använda sig av andra geofysiska metoder eller geotekniska metoder (som någon typ av borrhning, till exempel).

I områden med avsaknad av lågfrekventa ljudkällor är det svårt att genomföra mätningar med passiv seismik. Detta skulle kunna vara mätningar i avlägsna naturområden, långt från tågtrafik och större vägar. Å ena sidan skulle en så icke-invasiv metod som passiv

seismik lämpa sig väl i just känslig natur och på avlägsna platser, dit det är svårt att frakta tung utrustning. Å andra sidan kan även en mätning i alltför urbana miljöer skapa problem vad gäller möjligheten till större uppställningsgeometrier, om platsen av intresse innehåller många hinder i form av exempelvis huskroppar.

Slutligen är de resultat som erhålls av mätningarna beroende av någon slags verifiering, i form av exempelvis ett brunnsprotokoll eller andra geofysiska eller geotekniska mätningar. Om det inte går att utföra mer än just passiv ytvågsseismik i ett område får man räkna med stora osäkerheter när resultaten tolkas och diskuteras.

12.2 Felkällor

Ett antal potentiella felkällor har observerats under arbetets gång, rörande både teori och det praktiska utförandet. Dessa beskrivs och diskuteras nedan.

12.2.1 Antaganden om lagerföljd

Ett av de antaganden som gjordes inför datahanteringen berörde hur lagerföljden i de undersökta områdena skulle hanteras. Det antogs att lagerföljden består av horisontella, inbördes homogena lager, och att de geologiska förväntningsmodellerna från borrhningar gäller trots att lagerföljden i fråga inte har observerats exakt på geofonuppställningens mittpunkt.

Självklart är detta antagande en generalisering. Exempel på sannolika skillnader mot antagna förhållanden är om det finns variationer av material inom lagren som har stora skillnader i skjuvvågshastighet, exempelvis ett stort stenblock i lermoränen, eller om konsolideringsgraden varierar inom ett geologiskt lager, och så vidare. Detta kan leda till att en modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet som skapas utifrån seismiska data inte stämmer överens med verifierande data, som ju är en geologisk modell.

Det är naturligtvis även svårt att veta om data från exempelvis ett brunnsprotokoll faktiskt är representativ för den närliggande marken eller om det råkar finnas en stor lokal variation just där. En modell av skjuvvågshastigheten mot djupet skulle i så fall ge en bättre representation av verkligheten än vad lagerföljden gör, men en sådan går ju endast att ta fram genom att mäta skjuvvågshastigheten exakt vid mittpunkten.

Ytterligare en aspekt att reflektera över är över hur stor yta som lagerföljden kan anses vara representativ. En geofonuppställning kan dels ha olika geometriska former, dels olika stor ytutbredning, som exempelvis en radie på 25 m i en cirkeluppställning. Pondera att en mätning av lagerföljden finns på ytterkanten av en sådan cirkeluppställning; kan då lagerföljden anses gälla på motsatta sidan cirkeln, 50 meter bort? Det behöver nämligen antas att lagerföljden är densamma för hela området som berörs av den geometriska uppställningen, men möjligen är fallet inte så i verkligheten.

Här behöver därför en avvägning ske mellan hur djupt man vill nå med sin uppställning (där en större uppställning kan nå djupare), och över hur stort område som kan anses ha samma lagerföljd.

12.2.2 Geofoner

Utsättningen av geofoner har naturligtvis genomförts med ambitionen att överensstämna så väl som möjligt med den förutbestämda stationsgeometrin, men som tidigare diskuterat har placeringen i enstaka fall skiljt sig så mycket som en och en halv meter från sin förberäknade placering. Ju mer felaktigt utsatta geofonerna är, desto mer frångås ambitionen att jämföra just en cirkeluppställning med en triangeluppställning, då geofonerna blir mer slumpmässigt utsatta.

Det uppstod även problem med enstaka geofoner som verkade sluta avge signaler under några mätningar. När detta skedde för cirkeluppställningen blev resultaten ändå så pass bra att de kunde analyseras vidare, troligen på grund av att bortfallet av geofoner motsvarade en väldigt liten andel av det totala antalet geofoner i uppställningen. I datahanteringen har det dock antagits att alla geofoner har varit fungerande och exakt hur det har påverkat resultaten är svårt att säga. För triangeluppställningen, däremot, blev den mätning med en ickefungerande geofon märkbart sämre i kvalitet och kunde inte analyseras vidare. Om detta just berodde på att geofonen inte fungerade är svårt att säga, eftersom försök med inaktivering av geofoner i triangeluppställning (se avsnitt 7.3.2.2 Grevie) ändå givit resultat av högre kvalitet än sagda mätning.

12.2.3 Datahantering

I datahanteringen finns det ett moment som tyvärr blir väldigt subjektivt och som är svårt att undgå. Det handlar om hur man manuellt väljer punkter i fv-spektrumet till dispersionskurvan, exempelvis var man bedömer att kurvan börjar och hur nära man väljer att gå gränsen vid 4,5 Hz (geofonernas resonansfrekvens). Antalet punkter i dispersionskurvan spelar också roll liksom hur noggrann man är när man sätter ut dem, även om funktionen *smooth* används för att jämna ut kurvan. Eftersom dessa punkter sedan ligger till grund för startmodellen till inversionsprocessen, samt utgör målfunktion i inversionsprocessen, får sättet de är valda på en avgörande roll. Det innebär också att det är extremt svårt att upprepa sin datahantering och välja exakt samma punkter som tidigare.

Generellt hade det varit önskvärt med ett mer kvantitativt sätt att jämföra resultaten snarare än det kvalitativa sättet som använts ovan, när *misfit* och korrelation med kända lagerföljder har diskuterats. Den kvalitativa bedömningen har naturligtvis en högre risk för subjektivitet och att aspekter förbises; ett kvantitativt värde på hur bra en modell faktiskt är hade därför underlättat och minskat den mänskliga faktorns påverkan. Det är möjligt att detta går att göra i andra datahanteringsprogram än det som har använts i detta examensarbete.

12.2.4 Rumsliga vikningseffekter

I passiv seismik saknas förkunskap om vilka våglängder som kommer att genereras av vågkällorna och det är därmed svårt att skapa en geometrisk uppställning som minskar risken för rumsliga vikningseffekter.

I framförallt data från den mindre cirkeluppställningen och triangeluppställningen i Tornhill förekommer signalkomponenter som troligtvis har orsakats av rumsliga vikningseffekter. Det är möjligt att amplituden hos dessa peakvärden i fv-spektrumet maskerar faktiska data och gör dem mindre synliga i spektrumet. Detta skulle göra det svårare att identifiera peakvärden att manuellt välja punkter till dispersionskurvan från.

12.3 Förslag till framtida arbete

Detta examensarbete har varit det första på avdelningen för Teknisk geologi på LTH där passiv ytvågsseismik behandlas och många tankar om vidare forskning och försök på området har därför väckts under arbetets gång. Nedan följer ett antal förslag på områden av intresse att studera vidare.

12.3.1 Uppställningsgeometrier

Både cirkel- och triangeluppställningar har testats tidigare av forskare, men framförallt har cirkeluppställningar testats med långt färre geofoner än i detta examensarbete. Det finns många andra uppställningsgeometrier att testa, som L-form och slumpmässig utsättning av geofoner.

En annan form som förespråkas av exempelvis Stefan Burns (Burns, 2020; Napa Seismic, u.å.) är utsättning av stationer med avstånd som svarar mot Fibonacci-sekvensen, antingen i L-form eller som en spiral. Detta finns närmare beskrivet i avsnitt 3.1 Uppställningsgeometrier och mättid. En vidare studie hade kunnat fortsätta att undersöka flera olika typer av uppställningsgeometrier på samma plats för att jämföra hur pass väl resultaten motsvarar den på lokalen kända lagerföljden.

Eftersom man i sin uppställningsgeometri är ute efter ett stort antal både *spacings* och *pairings* (se avsnitt 3.1 Uppställningsgeometrier och mättid) kan en tanke vara att kombinera flera uppställningsgeometrier i samma mätning. Exempelvis skulle man kunna ha en kryssformation eller slumpmässigt utsatta geofoner inuti i en cirkel. Här gäller det i så fall att vara noggrann med kabeldragning och inmätning av geofonernas koordinater för att inte komplicera den efterföljande datahanteringen alltför mycket.

Dessutom hade det varit givande med fler uttryck för antalet *spacings* och *pairings* som en uppställning ger upphov till, för att kunna jämföra olika typer av geometriska uppställningar utifrån den aspekten.

Det är även av intresse att fortsätta undersöka hur storleksskalan av uppställningarna, exempelvis med varierad radie i cirkeluppställningarna, påverkar resultaten. Detta särskilt eftersom resultaten från den mindre cirkeluppställningen i Tornhill i detta examensarbetet blev något misslyckade och därmed har jämförelser mellan de små cirkeluppställningarna inte varit möjliga. Detta skulle med fördel kunna utföras som simuleringar.

12.3.2 Samplingsintervall och mättid

I detta examensarbete har den lägsta och högsta samplingsintervallet i tid varit 1 respektive 8 ms, och motsvarande mättid 120 000 ms (2 min) respektive 960 000 ms (16 min). Mättider på upp emot en timme har rapporterats, men beroende på samplingsintervall genererar detta en stor mängd data. Här är man beroende av kapaciteten hos den dator som används i fält. Det finns även möjlighet att samla in data löpande till en hårddisk, men detta har inte prövats i detta examensarbete.

Här hade det varit av intresse att jämföra samplingsintervall och mättid, genom att mäta samma uppställning med fler variationer i samplingstid och mättid, för att komma fram till vad som är både tidseffektivt och högkvalitativt. Kortare mättider gör det möjligt att exempelvis hinna genomföra fler mätningar i fält.

12.3.3 Profil av sonderingar

Fältarbetet i detta examensarbete har utgått från samma startkoordinater för mittpunkten på de olika lokalerna, och istället ändrat uppställningens utformning och storlek. I framtiden hade det därför varit intressant att skapa en profil av sonderingar med passiv ytvågsseismik, genom att utföra dem med jämna mellanrum längs en sträcka. På så sätt hade man lättare kunnat jämföra resultaten från den passiva ytvågsseismiken med profiler av aktiv seismik och resistivitetsmätningar.

Hur resultaten korrelerar eller divergerar i en sådan jämförelse skulle kunna visa på vilka typer av jordlagerföljder som bäst karakteriseras av olika geofysiska mätmetoder. Med andra ord; den passiva ytvågsseismiken kanske lättare kan särskilja vissa jordlager jämfört med resistivitetsmätningar, eller vice versa. Ett konkret exempel på vidare studier är att utföra flera sonderingar med passiv ytvågsseismik längs samma resistivetsprofil som har skapats för Grevie, för att jämföra resultaten.

En sådan profil hade varit enklast att skapa med hjälp av triangeluppställningar, eftersom färre geofoner krävs och man kan därför arbeta parallellt med att sätta upp nya uppställningar medan mätningar pågår för en redan uppställd triangel. Det är även möjligt att behålla vissa punkter i triangeln, exempelvis de hörnpunkterna i den yttersta triangelns bas, och låta dessa vara basen för nästa triangel med en spets åt motsatt håll.

12.3.4 Urban miljö

Då passiv ytvågsseismik lämpar sig bra för miljöer med mycket ljud från trafik är det av intresse att testa denna geofysiska mätmetod ännu mer i urbana miljöer, istället för på jordbruksmarker som i detta examensarbete.

I stadsmiljöer, med hus, vägar och andra fasta komponenter kan det dock vara svårt att skapa en tillräckligt stor och jämn uppställning av cirkel- eller triangelform. Exempelvis skulle man kunna undersöka hur mätresultaten påverkas av om man måste (fysiskt) ta bort en stor del av geofonerna på grund av hinder i form av exempelvis lyktstolpar, elskåp och brunnslock, om man samtidigt försöker ha en uppställning som inte är slumpmässig utan följer exempelvis en cirkel- eller triangelform. I detta examensarbete har nämligen geofonerna som inaktiverats haft en jämn fördelning så att avstånden mellan geofonerna har ökat lika mycket.

12.3.5 Kombination av passiv och aktiv seismik

För att kunna karakterisera de allra översta jordlagren krävs ljudvågor med korta våglängder och därmed höga frekvenser. Detta är svårt att uppnå med passiv ytvågsseismik, som baseras på ljudkällor med låga frekvenser bland annat eftersom högfrekvent ljud snabbt dämpas med ökat avstånd från källan.

Den aktiva seismiken är däremot bättre på att karakterisera de övre lagren. Att kombinera aktiv och passiv seismik är därför en god idé och bör testas i större utsträckning, förslagsvis på en lokal med känd lagerföljd.

Sådana försök skulle också ge insikter om hur pass väl överlappande lagerföljder stämmer överens med varandra, vilket kan bidra till ökad förståelse om hur små respektive stora djup man kan förlita sig på för mätningar med passiv ytvågsseismik, respektive en aktiv seismisk metod.

Olika försök med kombinationer av aktiv och passiv seismik genomförs redan, som beskrivs i avsnitt 2.3.1 Passiv ytvågsseismik, och det hade varit intressant med fler bidrag i den utvecklingen.

12.3.6 Datahantering

Det finns naturligtvis fler funktioner att testa i programmet för datahantering, Geogiga Seismic Pro 9.3 Surface Plus, som att kombinera ännu fler mätningar med varandra (istället för endast två) samt att kombinera mätningar med olika uppställningar som har skett med samma mittpunkt. Att ändra fler parametrar i inställningarna för när fv-spektrat skapas är också en möjlighet.

Exempelvis är *array tolerance* en intressant parameter att justera (se avsnitt 6.2 Arbetsprocessen i Geogiga Seismic Pro), för att se hur fv-spektrumets utseende ändras och därmed de inversa modellerna över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet, utifrån de dispersionskurvor som väljs ut. Ytterligare en aspekt som kan undersökas är möjligheten att skapa urklipp ur sin seismiska data och jämföra resultaten med de från ett komplett dataset från en seismisk mätning. Detta genomfördes bara för en mätning i detta examensarbete och bör undersökas ytterligare.

Det finns även andra program för datahantering, som Geopsy (se avsnitt 6.1 Datahantering). Här hade en jämförelse av de bägge programmen varit intressant, för att se om och i så fall hur resultaten skiljer sig mellan de olika programmen.

13 Referenser

- Adly, Ashraf; Poggi, Valerio; Fäh, Donat; Hassoup, Awad och Omran, Awad. 2017. Combining active and passive seismic methods for the characterization of urban sites in Cairo, Egypt. *Geophysical Journal International* 210(1): 428–442. doi: <https://doi.org/10.1093/gji/ggx176>
- Aki, Keiiti. 1957. Space and Time Spectra of Stationary Stochastic Waves, with Special Reference to Microtremors. *Bulletin of the Earthquake Research Institute* 35: 415-456.
- Asten, Michael W. 2006. On bias and noise in passive seismic data from finite circular array data processed using SPAC methods. *Geophysics* 17(6): V153-V162.
- Barzilai, Aaron; VanZandt, Tom och Kenny, Tom. 1998. Improving the Performance of a Geophone Through Capacitive Position Sensing and Feedback. *ASME 1998 International Mechanical Engineering Congress and Exposition*: 629-636.
- Berkhout, A. J. (Guus) och Verschuur, D. J. (Eric). 2011. A scientific framework for active and passive seismic imaging, with applications to blended data and micro-earthquake responses. *Geophysical Journal International* 184(2): 777-792. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2010.04855.x>
- Bohlin, Erik och Landen, Ludvig. 2009. *Geofysiska mätmetoder för prospektering till ballastmaterial. Examensarbetet i Geologi vid Lunds universitet – Berggrundsgeologi, nr. 236*. Lund: Geologiska institutionen, Lunds universitet.
- Burns, Stefan. 2020. *The application of novel survey geometries on passive surface wave method – and the influence on data quality*. [Video] <https://www.youtube.com/watch?v=Aon9vBL6Ax0> (Hämtad 2022-11-30).
- DMT Group. 2021. *Seismic data acquisition system for active seismic and continuous recording - DMT SUMMIT X One*. [Video] <https://www.youtube.com/watch?v=hnitEDjoQDQ> (Hämtad 2023-01-06).
- Dueck, Ann. 1994. *Reference site for clay till*. Lund: Avdelningen för geoteknik, LTH.
- Estrella, Hortencia Flores och González, Jorge Aguirre. 2003. SPAC: An alternative method to estimate earthquake site effects in Mexico City. *Geofísica Internacional* 42(2): 227-236.
- Follin, Sven och Johansson, Mattis. 1994. *Produktionsbrunnarna 31-33: Torreberga, Grevie vattentäkt: stegprov pumpningsresultat oktober 1993 och maj 1994*. Lund: Avdelningen för Teknisk Geologi, LTH.
- Foti, Sebastiano; Lai, Carlo G.; Rix, Glenn J. och Strobbia, Claudio. 2015. *Surface Wave Methods for Near-Surface Site Characterization*. Boca Raton: Taylor & Francis Group.
- Foti, S.; Hollender, F.; Garofalo, F. et al. 2018. Guidelines for the good practice of surface wave analysis: a product of the InterPACIFIC project. *Bull Earthquake Eng* 16: 2367–2420 doi: <https://doi.org/10.1007/s10518-017-0206-7>
- Hammond, James. 2019. The future of passive seismic acquisition. *Astronomy & Geophysics* 60(2): 2.37–2.42. doi: <https://doi.org/10.1093/astrogeo/atz102>
- Kearey, Philip; Brooks, Michael och Hill, Ian. 2002. *An Introduction to Geophysical Exploration*. Oxford: Blackwell Science Ltd.
- Keilis-Borok, V. I. och Yanovskaja, T. B. 1967. Inverse Problems of Seismology (Structural Review). *Geophysical Journal International* 13(1-3): 223–234. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1967.tb02156.x>

- Knödel, Klaus; Lange, Gerhard och Voigt, Hans-Jürgen. 2007. *Environmental Geology Handbook of Field Methods and Case Studies*. Hannover: Springer.
- Larsson, H. och Berthelsen Gustafsson, S. 2022. *TEM and DCIP investigations of the Alnarpsdalen Aquifer*. M Sc Thesis Engineering Geology, Lund University. [In prep]
- Larsson, Rolf. 2001. *Investigations and Load Tests in Clay Till - Results from a series of investigations and load tests in the test field at Tornhill outside Lund in southern Sweden, Report No 59*. Linköping: Statens Geotekniska Institut. http://swedgeo.diva-portal.org/smash/record.jsf?aq2=%5B%5B%5D%5D&c=1&af=%5B%5D&searchType=SIMPLE&sortOrder2=title_sort_asc&query=59&language=sv&pid=diva2%3A1299980&aq=%5B%5B%5D%5D&aqe=%5B%5D&sortOrder=author_sort_asc&onlyFullText=false&noOfRows=50&dswid=-7843 (Hämtad 2022-12-26).
- Lindh, Per. 2012. *Kalibrering av FEM-beräkningar med plattbelastning utförd på Tornhill, Lund*. Lund: Geotechnical Engineering, LTH.
- Martínez-Pagán, P.; Navarro, M.; Pérez-Cuevas, J.; Alcalá, F. J.; García-Jerez, A. och Vidal, F. 2018. Shear-wave velocity structure from MASW and SPAC methods. The case of Adra town, SE Spain. *Near Surface Geophysics* 16(3): 256-371. doi: <https://doi.org/10.3997/1873-0604.2018012>
- MATLAB. 2022. Natick MA,USA: The MathWorks Inc.
- Möller, Björn; Larsson, Rolf; Bengtsson, Per-Evert och Moritz, Lovisa. 2000. *Geodynamik i praktiken Information 17*. Linköping: Statens Geotekniska Institut. <http://swedgeo.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1299897&dswid=-9480> (Hämtad 2022-12-26).
- Napa Seismic. [u.å.]. *Survey Geometries for Passive Seismic*. <https://www.napaseismic.org/education/survey-geometries/> (Hämtad 2022-11-30).
- Nationalencyklopedin. [u.å.]. Seismik. *Nationalencyklopedin*. <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/seismik> (Hämtad 2022-11-30).
- Park, Choon B; Miller, Richard D. och Xia, Jianghai. 1999. Multichannel analysis of surface waves. *Geophysics* 64(3): 800-808.
- QGIS.org, 2022. *QGIS Geographic Information System*. QGIS Association. <http://www.qgis.org>
- Robertson, K. P.; Campanella, R. G.; Gillespie, D. och Rice, A. 1986. Seismic CPT to Measure in Situ Shear Wave Velocity. *Journal of Geotechnical Engineering* 112(8). doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1986\)112:8\(791\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1986)112:8(791))
- Setiawan, Bambang; Jaksa, Mark B.; Griffith, M.C. och Love, David. 2016. *Analysis of microtremor array measurement using the spatial autocorrelation (SPAC) method across the Adelaide City. Research Report No. R 196*. School of Civil, Environmental & Mining Engineering, University of Adelaide.
- SGF. 2008. *Ytvågsseismik – metodblad*. Svenska Geotekniska Föreningen. <http://www.sgf.net/web/page.aspx?refid=3363> (Hämtad 2022-10-24).
- SGF. 2013. *Geoteknisk fälthandbok. SGF rapport 1:2013*. Göteborg: SGF.
- Svedala kommun. 2018. *Översiktsplan 2018 - Del 2: Planförutsättningar och hänsyn*. <https://www.svedala.se/contentassets/582ac7aec8944aa089d035a380bffa5/op-2018-del-2-minskad.pdf> (Hämtad 2022-12-26).
- Surface Plus, Geogiga Seismic Pro ver 9.3. 2022. Calgary AB, Canada: Geogiga Technology Corp.
- Svensson, Mats. 2001. *Application of the SASW-technique in geotechnical in-situ testing*. Lund: Department of Geotechnology.
- Sweco. 2021. *Samrådsunderlag - Tillståndsansökan för Grevie vattentäkt*. <https://www.vasyd.se/-/media/Grevie-documents/Bilaga-1-Samr%C3%A5dsunderlag-2021-04-23.pdf> (Hämtad 2022-12-26).

- Thorvaldsson, Petra. 2006. *Metodik för bedömning av skyddsbehov vid avgränsning och zonindelning av vattenskyddsområden: tillämpad på grundvattentäkten i Grevie öster om Malmö*. Lund: Biologibiblioteket, Lunds Universitet.
- Ulriksen, Peter. 2010. *Litteraturstudier och test av oförstörande provningsmetoder (OFP) med möjliga tillämpningar på kärnkraftens betongkonstruktioner*. *Elforsk rapport 10:85*. <https://energiforskmedia.blob.core.windows.net/media/19890/litteraturstudier-och-test-av-oforstorande-provningsmetoder-ofp-med-mojliga-tillampningar-pa-karnkraftens-betongkonstruktioner-elforskrapport-2010-85.pdf> (Hämtad 2022-12-26).
- VA SYD. 2021. *Förnyelse av Grevie vattentäkt*. <https://www.vasyd.se/Artiklar/Miljosmartsatsningar/Bulltofta-Grevie> (Hämtad 2022-10-24).
- VA SYD. 2022. *PM: Redovisning provborrningarna*. VA SYD. [Internt material].
- Wu, Tong; Song, Kezhu; Sun, Zhengyang; Zhao, Hongwei och Hu, Xin. 2019. The Passive Surface Wave Methods for Shallow Engineering Exploration Based on the ESPAC Technology. *E3S Web of Conferences 131, China Biofilms*. doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913101041>

14 Bilagor

Bilaga A Samtliga resultat

Bilaga B Manual för fältdator SUMMIT X One, passiv ytvågsseismik

Bilaga C Matlab-kod: Examensarbete_Cirkel.m

Bilaga D Matlab-kod: Examensarbete_Cirkel_Grevie.m

Bilaga E Matlab-kod: Examensarbete_Cirkel_Grevie_Test_av_koordinater.m

Bilaga F Matlab-kod: Examensarbete_Liten_Cirkel_Tornhill.m

Bilaga G Matlab-kod: Examensarbete_Stor_Cirkel_Tornhill.m

Bilaga H Matlab-kod: Examensarbete_Triangel_Geofonavstand.m

Bilaga I Matlab-kod: Examensarbete_Triangel_Grevie.m

Bilaga J Matlab-kod: Examensarbete_Triangel_Grevie_Test_av_koordinater.m

Bilaga K Matlab-kod: Examensarbete_Triangel_Tornhill_Hypotetiska_koordinater.m

Bilaga L: Matlab-kod: Examensarbete_Triangel_Tornhill_Mittransekt.m

Bilaga M: Matlab-kod: Examensarbete_Triangel_Tornhill_Test_av_Koordinater.m

Bilaga A – Samtliga resultat

Nedan finns samtliga grafer över seismiska data, frekvens-fas hastighetsspektrum och modeller över skjuvvågshastigheten för mätningarna som genomförts i examensarbetet.

Innehållsförteckning

Bilaga A – Samtliga resultat	1
1.1 Individuella mätningar	20
1.1.1 Tornhill – Stor cirkel	20
1.1.2 Tornhill – Liten cirkel	33
1.1.3 Tornhill – Triangel	42
1.1.4 Greve – Stor cirkel	52
1.1.5 Greve – Liten cirkel	58
1.1.6 Greve – Triangel	64
1.2 Kombinerade mätningar	76
1.2.1 Tornhill – Stor cirkel	76
1.2.2 Tornhill – Liten cirkel	82
1.2.3 Tornhill – Triangel	84
1.2.4 Greve – Stor cirkel	88
1.2.5 Greve – Liten cirkel	90
1.2.6 Greve – Triangel	92
1.3 Inaktiverade geofoner – cirkeluppställning	96
1.3.1 Tornhill – Stor cirkel	96
1.3.2 Tornhill – Liten cirkel	106
1.3.3 Greve – Stor cirkel	106
1.3.4 Greve – Liten cirkel	115
1.4 Inaktiverade geofoner – triangeluppställning	124
1.4.1 Tornhill – Triangel	124
1.4.2 Greve – Triangel	124
1.5 Inaktiverad mittgeofon	134
1.5.1 Tornhill – Stor cirkel	134
1.5.2 Tornhill – Liten cirkel	137
1.5.3 Tornhill – Triangel	137
1.5.4 Greve – Stor cirkel	138
1.5.5 Greve – Liten cirkel	144
1.5.6 Greve – Triangel	150

Figurförteckning

Figur 1	Seismiska data för Rec2 för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.....	20
Figur 2	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec2 för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.	21
Figur 3	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Rec2 för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle.	21
Figur 4	Seismiska data för Rec3 för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.....	22
Figur 5	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec3 för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.	22
Figur 6	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Rec3 för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle.	23
Figur 7	Seismiska data för Rec4 för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.....	23
Figur 8	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec4 för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.	24
Figur 9	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Rec4 för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle.	24
Figur 10	Seismiska data för Rec5 för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.....	25
Figur 11	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec5 för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.	25
Figur 12	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Rec5 för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle.	26
Figur 13	Seismiska data för Rec6 för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.....	26
Figur 14	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec6 för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.	27
Figur 15	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Rec6 för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle.	27

Figur 16	Seismiska data för Rec2 för stor cirkel i Tornhill, Circle and Center. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.....	28
Figur 17	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec2 för stor cirkel i Tornhill, Circle and Center. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.	28
Figur 18	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Rec2 för stor cirkel i Tornhill, Circle and Center.....	29
Figur 19	Seismiska data för Rec3 för stor cirkel i Tornhill, Circle and Center. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.....	29
Figur 20	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec3 för stor cirkel i Tornhill, Circle and Center. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.	30
Figur 21	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Rec3 för stor cirkel i Tornhill, Circle and Center.....	30
Figur 22	Seismiska data för Rec4 för stor cirkel i Tornhill, Circle and Center. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.....	31
Figur 23	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec4 för stor cirkel i Tornhill, Circle and Center. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.	31
Figur 24	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Rec4 för stor cirkel i Tornhill, Circle and Center.....	32
Figur 25	Seismiska data för Rec5 för stor cirkel i Tornhill, Circle and Center. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.....	32
Figur 26	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec5 för stor cirkel i Tornhill, Circle and Center. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.	33
Figur 27	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Rec5 för stor cirkel i Tornhill, Circle and Center.....	33
Figur 28	Seismiska data för Rec1 för liten cirkel i Tornhill. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.....	34
Figur 29	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec1 för liten cirkel i Tornhill. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.....	35
Figur 30	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Rec1 för liten cirkel i Tornhill.	35
Figur 31	Seismiska data för Rec2 för liten cirkel i Tornhill. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.....	35

Figur 32	Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec2 för liten cirkel i Tornhill. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln.	36
Figur 33	Seismiska data för Rec3 för liten cirkel i Tornhill. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	36
Figur 34	Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec3 för liten cirkel i Tornhill. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln.	37
Figur 35	Seismiska data för Rec4 för liten cirkel i Tornhill. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	37
Figur 36	Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec4 för liten cirkel i Tornhill. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln.	38
Figur 37	Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec1 för liten cirkel i Tornhill. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Array tolerance är 4% till vänster och 20% till höger.	39
Figur 38	Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec1 för liten cirkel i Tornhill. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Den maximala frekvensen är 50 Hz till vänster och 100 Hz till höger.	39
Figur 39	Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet för Rec1 för liten cirkel i Tornhill med en array tolerance på 4% och en maximal frekvens på 25 Hz.	40
Figur 40	Seismiska data för Rec1 för liten cirkel i Tornhill, med 120 000 ms utklippt data. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	41
Figur 41	Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec1 för liten cirkel i Tornhill med 120 000 ms utklippt data. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Array tolerance på 3% till vänster och 4% till höger.	41
Figur 42	Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet för Rec1 för liten cirkel i Tornhill med 120 000 ms utklippt data, med en array tolerance på 4%.	42
Figur 43	Seismiska data för Rec1 för triangel i Tornhill. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	43
Figur 44	Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec1 för triangel i Tornhill. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln.	44
Figur 45	Seismiska data för Rec2 för triangel i Tornhill. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	44
Figur 46	Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec2 för triangel i Tornhill. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln.	45
Figur 47	Seismiska data för Rec3 för triangel i Tornhill. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	45
Figur 48	Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec3 för triangel i Tornhill. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln.	46
Figur 49	Seismiska data för Rec4 för triangel i Tornhill. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	46
Figur 50	Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec4 för triangel i Tornhill. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln.	47
Figur 51	Seismiska data för Rec5 för triangel i Tornhill. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	47
Figur 52	Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec5 för triangel i Tornhill. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln.	48
Figur 53	Seismiska data för Rec6 för triangel i Tornhill. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	48

Figur 54	Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec6 för triangel i Tornhill. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln.	49
Figur 55	Seismiska data för Rec7 för triangel i Tornhill. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	49
Figur 56	Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec7 för triangel i Tornhill. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln.	50
Figur 57	Seismiska data för Rec8 för triangel i Tornhill. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	50
Figur 58	Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec8 för triangel i Tornhill. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln.	51
Figur 59	Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec1 för triangel i Tornhill. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Array tolerance är 3% i övre vänstra hörnet, 4% i övre högra hörnet, 10% i nedre vänstra hörnet och 20% i nedre högra hörnet.	52
Figur 60	Seismiska data för Rec1 för stor cirkel i Greve. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	53
Figur 61	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec1 för stor cirkel i Greve. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.	53
Figur 62	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec1 för stor cirkel i Greve.	54
Figur 63	Seismiska data för Rec2 för stor cirkel i Greve. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	54
Figur 64	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec2 för stor cirkel i Greve. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.	55
Figur 65	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec2 för stor cirkel i Greve.	55
Figur 66	Seismiska data för Rec3 för stor cirkel i Greve. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	56
Figur 67	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec3 för stor cirkel i Greve. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.	56
Figur 68	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec3 för stor cirkel i Greve.	57
Figur 69	Seismiska data för Rec4 för stor cirkel i Greve. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	57
Figur 70	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec4 för stor cirkel i Greve. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.	58
Figur 71	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec4 för stor cirkel i Greve.	58
Figur 72	Seismiska data för Rec1 för liten cirkel i Greve. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	59

Figur 73	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec1 för liten cirkel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.	59
Figur 74	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec1 för liten cirkel i Grevie.	60
Figur 75	Seismiska data för Rec2 för liten cirkel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	60
Figur 76	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec2 för liten cirkel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.	61
Figur 77	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec2 för liten cirkel i Grevie.	61
Figur 78	Seismiska data för Rec3 för liten cirkel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	62
Figur 79	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec3 för liten cirkel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.	62
Figur 80	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec3 för liten cirkel i Grevie.	63
Figur 81	Seismiska data för Rec4 för liten cirkel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	63
Figur 82	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec4 för liten cirkel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.	64
Figur 83	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec4 för liten cirkel i Grevie.	64
Figur 84	Seismiska data för Rec2 för triangel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	65
Figur 85	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec2 för triangel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.	66
Figur 86	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec2 för triangel i Grevie.	66
Figur 87	Seismiska data för Rec3 för triangel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	67
Figur 88	Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec3 för triangel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln.	67
Figur 89	Seismiska data för Rec4 för triangel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	68
Figur 90	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec4 för triangel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i	

förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.	68
Figur 91 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec4 för triangel i Grevie.	69
Figur 92 Seismiska data för Rec5 för triangel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	69
Figur 93 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec5 för triangel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.	70
Figur 94 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec5 för triangel i Grevie.	70
Figur 95 Seismiska data för Rec6 för triangel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	71
Figur 96 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec6 för triangel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.	71
Figur 97 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec6 för triangel i Grevie.	72
Figur 98 Seismiska data för Rec7 för triangel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	72
Figur 99 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec7 för triangel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.	73
Figur 100 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec7 för triangel i Grevie.	73
Figur 101 Seismiska data för Rec8 för triangel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	74
Figur 102 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec8 för triangel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.	74
Figur 103 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec8 för triangel i Grevie.	75
Figur 104 Seismiska data för Rec9 för triangel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	75
Figur 105 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec9 för triangel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.	76
Figur 106 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec9 för triangel i Grevie.	76
Figur 107 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Komb2och4 för stor cirkel i Tornhill, Passive circle. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över	

skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.	77
Figur 108 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Komb2och4 för stor cirkel i Tornhill, Passive circle.....	78
Figur 109 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Komb3och5 för stor cirkel i Tornhill, Passive circle. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.	78
Figur 110 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Komb3och5 för stor cirkel i Tornhill, Passive circle.....	78
Figur 111 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Komb3och6 för stor cirkel i Tornhill, Passive circle. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.	79
Figur 112 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Komb3och6 för stor cirkel i Tornhill, Passive circle.....	79
Figur 113 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Komb5och6 för stor cirkel i Tornhill, Passive circle. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.	80
Figur 114 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Komb5och6 för stor cirkel i Tornhill, Passive circle.....	80
Figur 115 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Komb2och3 för stor cirkel i Tornhill, Circle and Center. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.....	81
Figur 116 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Komb2och3 för stor cirkel i Tornhill, Circle and Center.	81
Figur 117 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Komb4och5 för stor cirkel i Tornhill, Circle and Center. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.....	82
Figur 118 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Komb4och5 för stor cirkel i Tornhill, Circle and Center.	82
Figur 119 Frekvens-fashastighetsspektrum för Komb1och2 för liten cirkel i Tornhill. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln.	83
Figur 120 Frekvens-fashastighetsspektrum för Komb3och4 för liten cirkel i Tornhill. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln.	84

Figur 121	Frekvens-fashastighetsspektrum för Komb1och2 för triangel i Tornhill. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln.....	85
Figur 122	Frekvens-fashastighetsspektrum för Komb3och4 för triangel i Tornhill. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln.....	86
Figur 123	Frekvens-fashastighetsspektrum för Komb5och6 för triangel i Tornhill. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln.....	87
Figur 124	Frekvens-fashastighetsspektrum för Komb7och8 för triangel i Tornhill. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln.....	88
Figur 125	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Komb1och2 för stor cirkel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.	89
Figur 126	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Komb1och2 för stor cirkel i Grevie.	89
Figur 127	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Komb3och4 för stor cirkel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.	90
Figur 128	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Komb3och4 för stor cirkel i Grevie.	90
Figur 129	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Komb1och2 för liten cirkel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.	91
Figur 130	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Komb1och2 för liten cirkel i Grevie.....	91
Figur 131	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Komb3och4 för liten cirkel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.	92
Figur 132	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Komb3och4 för liten cirkel i Grevie.....	92
Figur 133	Frekvens-fashastighetsspektrum för Komb2och3 för triangel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln.....	93
Figur 134	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Komb4och5 för triangel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.	94
Figur 135	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Komb4och5 för triangel i Grevie.	94
Figur 136	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Komb6och7 för triangel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.	95
Figur 137	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Komb6och7 för triangel i Grevie.	95

Figur 138	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Komb8och9 för triangel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.	96
Figur 139	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Komb8och9 för triangel i Grevie.	96
Figur 140	Seismiska data för Rec4 med 50% aktiva geofoner för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.....	97
Figur 141	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec4 med 50% aktiva geofoner för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.....	98
Figur 142	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Rec4 med 50% aktiva geofoner för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle.	98
Figur 143	Seismiska data för Rec4 med 33% aktiva geofoner för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.....	99
Figur 144	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec4 med 33% aktiva geofoner för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.....	99
Figur 145	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Rec4 med 33% aktiva geofoner för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle.	100
Figur 146	Seismiska data för Rec4 med 25% aktiva geofoner för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.....	100
Figur 147	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec4 med 25% aktiva geofoner för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.....	101
Figur 148	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Rec4 med 25% aktiva geofoner för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle.	101
Figur 149	Seismiska data för Rec5 med 50% aktiva geofoner för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.....	102
Figur 150	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec5 med 50% aktiva geofoner för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.....	102
Figur 151	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Rec5 med 50% aktiva geofoner för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle.	103

Figur 152	Seismiska data för Rec5 med 33% aktiva geofoner för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.....	103
Figur 153	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec5 med 33% aktiva geofoner för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.....	104
Figur 154	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Rec5 med 33% aktiva geofoner för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle.....	104
Figur 155	Seismiska data för Rec5 med 25% aktiva geofoner för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.....	105
Figur 156	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec5 med 25% aktiva geofoner för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.....	105
Figur 157	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Rec5 med 25% aktiva geofoner för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle.....	106
Figur 158	Seismiska data för Rec2 med 50% aktiva geofoner för stor cirkel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.....	107
Figur 159	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec2 med 50% aktiva geofoner för stor cirkel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen. ..	107
Figur 160	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec2 med 50% aktiva geofoner för stor cirkel i Grevie.	108
Figur 161	Seismiska data för Rec2 med 33% aktiva geofoner för stor cirkel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.....	108
Figur 162	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec2 med 33% aktiva geofoner för stor cirkel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen. ..	109
Figur 163	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec2 med 33% aktiva geofoner för stor cirkel i Grevie.	109
Figur 164	Seismiska data för Rec2 med 25% aktiva geofoner för stor cirkel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.....	110
Figur 165	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec2 med 25% aktiva geofoner för stor cirkel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen. ..	110
Figur 166	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec2 med 25% aktiva geofoner för stor cirkel i Grevie.	111

Figur 167	Seismiska data för Rec3 med 50% aktiva geofoner för stor cirkel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	111
Figur 168	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec3 med 50% aktiva geofoner för stor cirkel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen. ..	112
Figur 169	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec3 med 50% aktiva geofoner för stor cirkel i Grevie.	112
Figur 170	Seismiska data för Rec3 med 33% aktiva geofoner för stor cirkel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	113
Figur 171	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec3 med 33% aktiva geofoner för stor cirkel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen. ..	113
Figur 172	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec3 med 33% aktiva geofoner för stor cirkel i Grevie.	114
Figur 173	Seismiska data för Rec3 med 25% aktiva geofoner för stor cirkel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	114
Figur 174	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec3 med 25% aktiva geofoner för stor cirkel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen. ..	115
Figur 175	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec3 med 25% aktiva geofoner för stor cirkel i Grevie.	115
Figur 176	Seismiska data för Rec1 med 50% aktiva geofoner för liten cirkel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	116
Figur 177	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec1 med 50% aktiva geofoner för liten cirkel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen. ..	116
Figur 178	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec1 med 50% aktiva geofoner för liten cirkel i Grevie.	117
Figur 179	Seismiska data för Rec1 med 33% aktiva geofoner för liten cirkel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	117
Figur 180	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec1 med 33% aktiva geofoner för liten cirkel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen. ..	118
Figur 181	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec1 med 33% aktiva geofoner för liten cirkel i Grevie.	118
Figur 182	Seismiska data för Rec1 med 25% aktiva geofoner för liten cirkel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	119

Figur 183	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec1 med 25% aktiva geofoner för liten cirkel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen. ..	119
Figur 184	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec1 med 25% aktiva geofoner för liten cirkel i Grevie.	120
Figur 185	Seismiska data för Rec3 med 50% aktiva geofoner för liten cirkel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	120
Figur 186	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec3 med 50% aktiva geofoner för liten cirkel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen. ..	121
Figur 187	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec3 med 50% aktiva geofoner för liten cirkel i Grevie.	121
Figur 188	Seismiska data för Rec3 med 33% aktiva geofoner för liten cirkel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	122
Figur 189	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec3 med 33% aktiva geofoner för liten cirkel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen. ..	122
Figur 190	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec3 med 33% aktiva geofoner för liten cirkel i Grevie.	123
Figur 191	Seismiska data för Rec3 med 25% aktiva geofoner för liten cirkel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	123
Figur 192	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec3 med 25% aktiva geofoner för liten cirkel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen. ..	124
Figur 193	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec3 med 25% aktiva geofoner för liten cirkel i Grevie.	124
Figur 194	Seismiska data för Rec6 med en triangel inaktiverad för triangel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	125
Figur 195	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec6 med en triangel inaktiverad för triangel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.	126
Figur 196	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec6 med en triangel inaktiverad för triangel i Grevie.	126
Figur 197	Seismiska data för Rec6 med två trianglar inaktiverade för triangel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	127

Figur 198	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec6 med två trianglar inaktiverade för triangel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.....	127
Figur 199	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec6 med två trianglar inaktiverade för triangel i Grevie.	128
Figur 200	Seismiska data för Rec6 med tre trianglar inaktiverade för triangel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	128
Figur 201	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec6 med tre trianglar inaktiverade för triangel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.....	129
Figur 202	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec6 med tre trianglar inaktiverade för triangel i Grevie.	129
Figur 203	Seismiska data för Rec8 med en triangel inaktiverad för triangel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	130
Figur 204	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec8 med en triangel inaktiverad för triangel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.....	130
Figur 205	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec8 med en triangel inaktiverad för triangel i Grevie.	131
Figur 206	Seismiska data för Rec8 med två trianglar inaktiverade för triangel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	131
Figur 207	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec8 med två trianglar inaktiverade för triangel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.....	132
Figur 208	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec8 med två trianglar inaktiverade för triangel i Grevie.	132
Figur 209	Seismiska data för Rec8 med tre trianglar inaktiverade för triangel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	133
Figur 210	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec8 med tre trianglar inaktiverade för triangel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.....	133

Figur 211	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec8 med tre trianglar inaktiverade för triangel i Grevie.	134
Figur 212	Seismiska data för Rec2 med inaktiverad mittgeofon för stor cirkel i Tornhill, Circle and Center. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	135
Figur 213	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec2 med inaktiverad mittgeofon för stor cirkel i Tornhill, Circle and Center. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.	135
Figur 214	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Rec2 med inaktiverad mittgeofon för stor cirkel i Tornhill, Circle and Center.	136
Figur 215	Seismiska data för Rec4 med inaktiverad mittgeofon för stor cirkel i Tornhill, Circle and Center. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	136
Figur 216	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec4 med inaktiverad mittgeofon för stor cirkel i Tornhill, Circle and Center. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.	137
Figur 217	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Rec4 med inaktiverad mittgeofon för stor cirkel i Tornhill, Circle and Center.	137
Figur 218	Seismiska data för Rec1 med inaktiverad mittgeofon för stor cirkel Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	138
Figur 219	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec1 med inaktiverad mittgeofon för stor cirkel Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.	139
Figur 220	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec1 med inaktiverad mittgeofon för stor cirkel i Grevie.	139
Figur 221	Seismiska data för Rec2 med inaktiverad mittgeofon för stor cirkel Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	140
Figur 222	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec2 med inaktiverad mittgeofon för stor cirkel Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.	140
Figur 223	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec2 med inaktiverad mittgeofon för stor cirkel i Grevie.	141
Figur 224	Seismiska data för Rec3 med inaktiverad mittgeofon för stor cirkel Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	141
Figur 225	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec3 med inaktiverad mittgeofon för stor cirkel Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger:	

Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.....	142
Figur 226 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec3 med inaktiverad mittgeofon för stor cirkel i Grevie.	142
Figur 227 Seismiska data för Rec4 med inaktiverad mittgeofon för stor cirkel Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	143
Figur 228 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec4 med inaktiverad mittgeofon för stor cirkel Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.....	143
Figur 229 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec4 med inaktiverad mittgeofon för stor cirkel i Grevie.	144
Figur 230 Seismiska data för Rec1 med inaktiverad mittgeofon för liten cirkel Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	144
Figur 231 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec1 med inaktiverad mittgeofon för liten cirkel Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.....	145
Figur 232 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec1 med inaktiverad mittgeofon för liten cirkel i Grevie.	145
Figur 233 Seismiska data för Rec2 med inaktiverad mittgeofon för liten cirkel Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	146
Figur 234 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec2 med inaktiverad mittgeofon för liten cirkel Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.....	146
Figur 235 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec2 med inaktiverad mittgeofon för liten cirkel i Grevie.	147
Figur 236 Seismiska data för Rec3 med inaktiverad mittgeofon för liten cirkel Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	147
Figur 237 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec3 med inaktiverad mittgeofon för liten cirkel Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.....	148
Figur 238 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec3 med inaktiverad mittgeofon för liten cirkel i Grevie.	148

Figur 239	Seismiska data för Rec4 med inaktiverad mittgeofon för liten cirkel Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	149
Figur 240	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec4 med inaktiverad mittgeofon för liten cirkel Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.	149
Figur 241	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec4 med inaktiverad mittgeofon för liten cirkel i Grevie.	150
Figur 242	Seismiska data för Rec6 med med inaktiverad mittgeofon för triangel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	150
Figur 243	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec6 med inaktiverad mittgeofon för triangel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.	151
Figur 244	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec6 med inaktiverad mittgeofon för triangel i Grevie.	151
Figur 245	Seismiska data för Rec8 med med inaktiverad mittgeofon för triangel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.	152
Figur 246	Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec8 med inaktiverad mittgeofon för triangel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.	152
Figur 247	Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec8 med inaktiverad mittgeofon för triangel i Grevie.	153

Tabellförteckning

Tabell 1 Sammanfattning av mätningarnas resultat. Samplingsintervall och mättid för mätningarna beskrivs. Startdjup är det första djup som anges i siffror i den inversa modellen. I inversionsprocessen testades flera kombinationer av upplösning för hastighet och djup, och den som gav lägst misfit valdes.	20
Tabell 2 Sammanfattning av mätningarnas resultat. Samplingsintervall och mättid för mätningarna beskrivs. Startdjup är det första djup som anges i siffror i den inversa modellen. I inversionsprocessen testades flera kombinationer av upplösning för hastighet och djup, och den som gav lägst misfit valdes.	34
Tabell 3 Sammanfattning av mätningarnas resultat. Samplingsintervall och mättid för mätningarna beskrivs. Startdjup är det första djup som anges i siffror i den inversa modellen. I inversionsprocessen testades flera kombinationer av upplösning för hastighet och djup, och den som gav lägst misfit valdes.	42
Tabell 4 Sammanfattning av mätningarnas resultat. Samplingsintervall och mättid för mätningarna beskrivs. Startdjup är det första djup som anges i siffror i den inversa modellen. I inversionsprocessen testades flera kombinationer av upplösning för hastighet och djup, och den som gav lägst misfit valdes.	52
Tabell 5 Sammanfattning av mätningarnas resultat. Samplingsintervall och mättid för mätningarna beskrivs. Startdjup är det första djup som anges i siffror i den inversa modellen. I inversionsprocessen testades flera kombinationer av upplösning för hastighet och djup, och den som gav lägst misfit valdes.	58
Tabell 6 Sammanfattning av mätningarnas resultat. Samplingsintervall och mättid för mätningarna beskrivs. Startdjup är det första djup som anges i siffror i den inversa modellen. I inversionsprocessen testades flera kombinationer av upplösning för hastighet och djup, och den som gav lägst misfit valdes.	64
Tabell 7 Sammanfattning av mätningarnas resultat. Samplingsintervall och mättid för mätningarna beskrivs. Startdjup är det första djup som anges i siffror i den inversa modellen. I inversionsprocessen testades flera kombinationer av upplösning för hastighet och djup, och den som gav lägst misfit valdes.	76
Tabell 8 Sammanfattning av mätningarnas resultat. Samplingsintervall och mättid för mätningarna beskrivs. Startdjup är det första djup som anges i siffror i den inversa modellen. I inversionsprocessen testades flera kombinationer av upplösning för hastighet och djup, och den som gav lägst misfit valdes.	82
Tabell 9 Sammanfattning av mätningarnas resultat. Samplingsintervall och mättid för mätningarna beskrivs. Startdjup är det första djup som anges i siffror i den inversa modellen. I inversionsprocessen testades flera kombinationer av upplösning för hastighet och djup, och den som gav lägst misfit valdes.	84
Tabell 10 Sammanfattning av mätningarnas resultat. Samplingsintervall och mättid för mätningarna beskrivs. Startdjup är det första djup som anges i siffror i den inversa modellen. I inversionsprocessen testades flera kombinationer av upplösning för hastighet och djup, och den som gav lägst misfit valdes.	88
Tabell 11 Sammanfattning av mätningarnas resultat. Samplingsintervall och mättid för mätningarna beskrivs. Startdjup är det första djup som anges i siffror i den inversa modellen. I inversionsprocessen testades flera kombinationer av upplösning för hastighet och djup, och den som gav lägst misfit valdes.	90

Tabell 12 Sammanfattning av mätningarnas resultat. Samplingsintervall och mättid för mätningarna beskrivs. Startdjup är det första djup som anges i siffror i den inversa modellen. I inversionsprocessen testades flera kombinationer av upplösning för hastighet och djup, och den som gav lägst misfit valdes.	92
Tabell 13 Sammanfattning av mätningarnas resultat. Samplingsintervall och mättid för mätningarna beskrivs. Startdjup är det första djup som anges i siffror i den inversa modellen. I inversionsprocessen testades flera kombinationer av upplösning för hastighet och djup, och den som gav lägst misfit valdes.	96
Tabell 14 Sammanfattning av mätningarnas resultat. Samplingsintervall och mättid för mätningarna beskrivs. Startdjup är det första djup som anges i siffror i den inversa modellen. I inversionsprocessen testades flera kombinationer av upplösning för hastighet och djup, och den som gav lägst misfit valdes.	106
Tabell 15 Sammanfattning av mätningarnas resultat. Samplingsintervall och mättid för mätningarna beskrivs. Startdjup är det första djup som anges i siffror i den inversa modellen. I inversionsprocessen testades flera kombinationer av upplösning för hastighet och djup, och den som gav lägst misfit valdes.	115
Tabell 16 Sammanfattning av mätningarnas resultat. Samplingsintervall och mättid för mätningarna beskrivs. Startdjup är det första djup som anges i siffror i den inversa modellen. I inversionsprocessen testades flera kombinationer av upplösning för hastighet och djup, och den som gav lägst misfit valdes.	125
Tabell 17 Sammanfattning av mätningarnas resultat. Samplingsintervall och mättid för mätningarna beskrivs. Startdjup är det första djup som anges i siffror i den inversa modellen. I inversionsprocessen testades flera kombinationer av upplösning för hastighet och djup, och den som gav lägst misfit valdes.	134
Tabell 18 Sammanfattning av mätningarnas resultat. Samplingsintervall och mättid för mätningarna beskrivs. Startdjup är det första djup som anges i siffror i den inversa modellen. I inversionsprocessen testades flera kombinationer av upplösning för hastighet och djup, och den som gav lägst misfit valdes.	138
Tabell 19 Sammanfattning av mätningarnas resultat. Samplingsintervall och mättid för mätningarna beskrivs. Startdjup är det första djup som anges i siffror i den inversa modellen. I inversionsprocessen testades flera kombinationer av upplösning för hastighet och djup, och den som gav lägst misfit valdes.	144
Tabell 20 Sammanfattning av mätningarnas resultat. Samplingsintervall och mättid för mätningarna beskrivs. Startdjup är det första djup som anges i siffror i den inversa modellen. I inversionsprocessen testades flera kombinationer av upplösning för hastighet och djup, och den som gav lägst misfit valdes.	150

1.1 Individuella mätningar

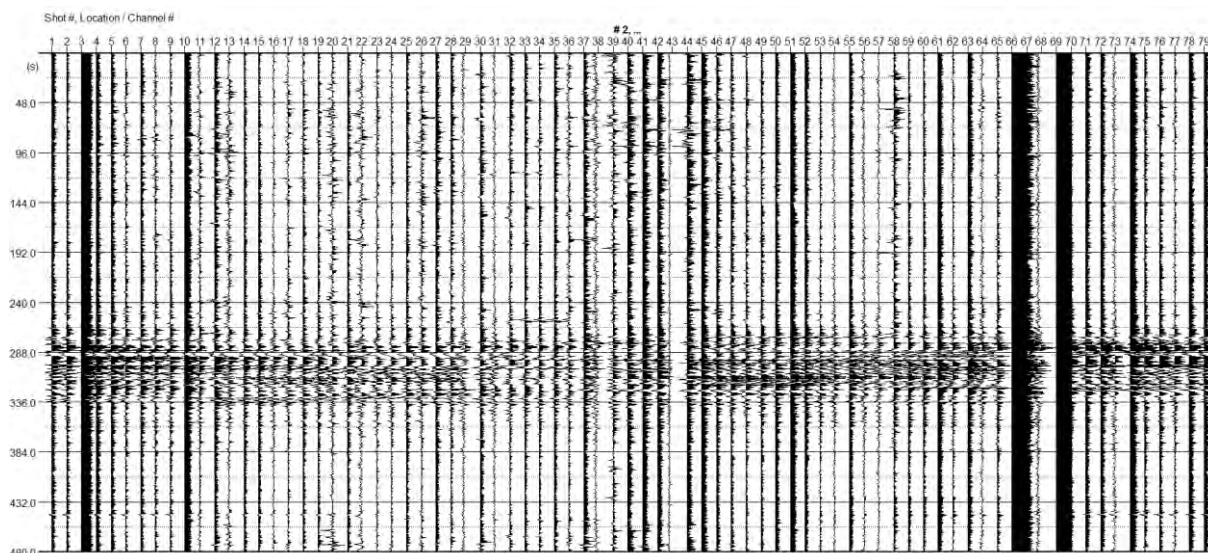
1.1.1 Tornhill – Stor cirkel

I Tabell 1 nedan finns en sammanfattning av de olika mätningarna för den stora cirkeln i Tornhill med först mätningen som genomfördes utan mittgeofon (benämnd som *passive circle*) och därefter mätningen som genomfördes med mittgeofon (*circle and center*). Den stora cirkeln hade en radie på 25 meter och bestod av 79 geofoner. Rec1 för båda förkastades på grund av att den var ett snabbt test för att se om mätupställningen var korrekt inkopplad och har alltså inte använts i examensarbetet. Därför börjar mätningarna med Rec2.

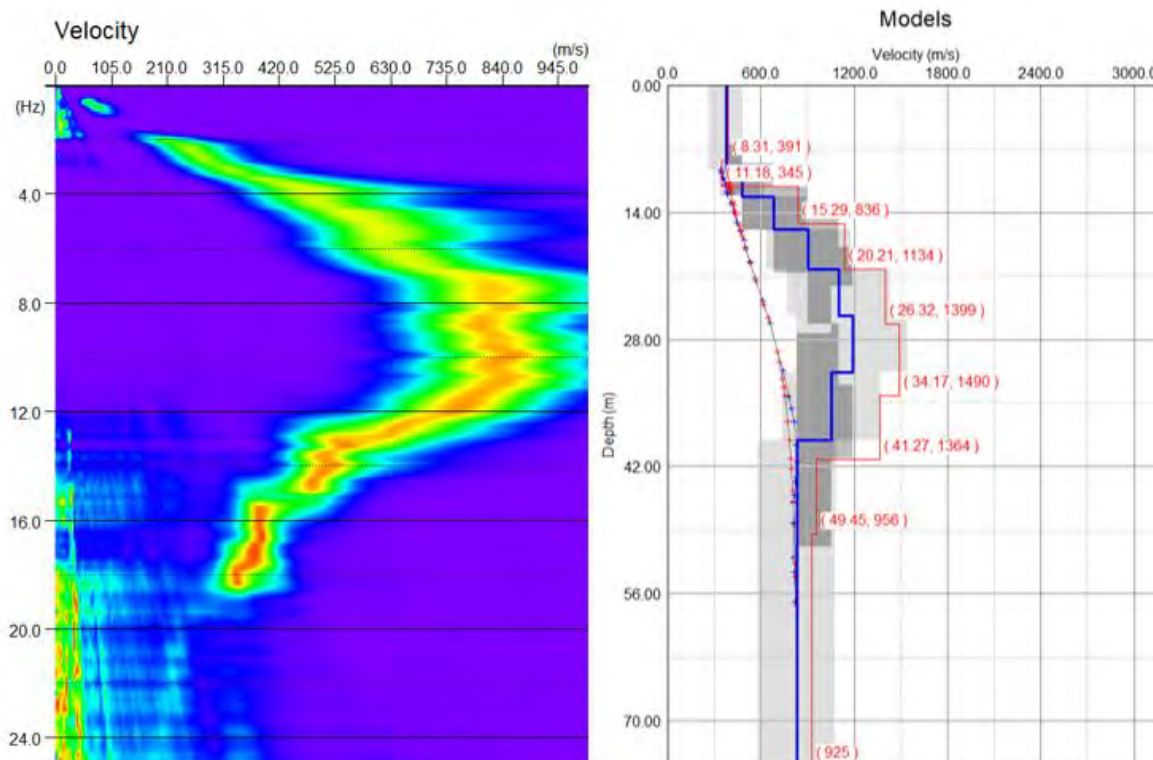
Tabell 1 Sammanfattning av mätningarnas resultat. Samplingsintervall och mättid för mätningarna beskrivs. Startdjup är det första djup som anges i siffror i den inversa modellen. I inversionsprocessen testades flera kombinationer av upplösning för hastighet och djup, och den som gav lägst misfit valdes.

MÄTNINGENS NAMN	SAMPLINGSINTERVALL [ms]	MÄTTID [ms]	STARTDJUP [m]	UPPLÖSNING HASTIGHET [m/s]	UPPLÖSNING DJUP [m]	MISFIT [%]
PASSIVE CIRCLE						
Rec2	4	480 000	8,31	2,0	0,2	5,61
Rec3	8	960 000	7,16	2,0	0,1	5,14
Rec4	4	480 000	7,45	2,0	0,1	6,03
Rec5	8	960 000	7,80	4,0	0,1	4,31
Rec6	8	960 000	10,79	4,0	0,1	5,19
CIRCLE AND CENTER						
Rec2	4	480 000	12,78	2,0	0,1	3,95
Rec3	4	480 000	11,91	4,0	0,1	4,78
Rec4	8	960 000	6,72	4,0	0,1	5,26
Rec5	8	960 000	13,57	2,0	0,2	4,22

1.1.1.1 Passive Circle – Rec2



Figur 1 Seismiska data för Rec2 för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

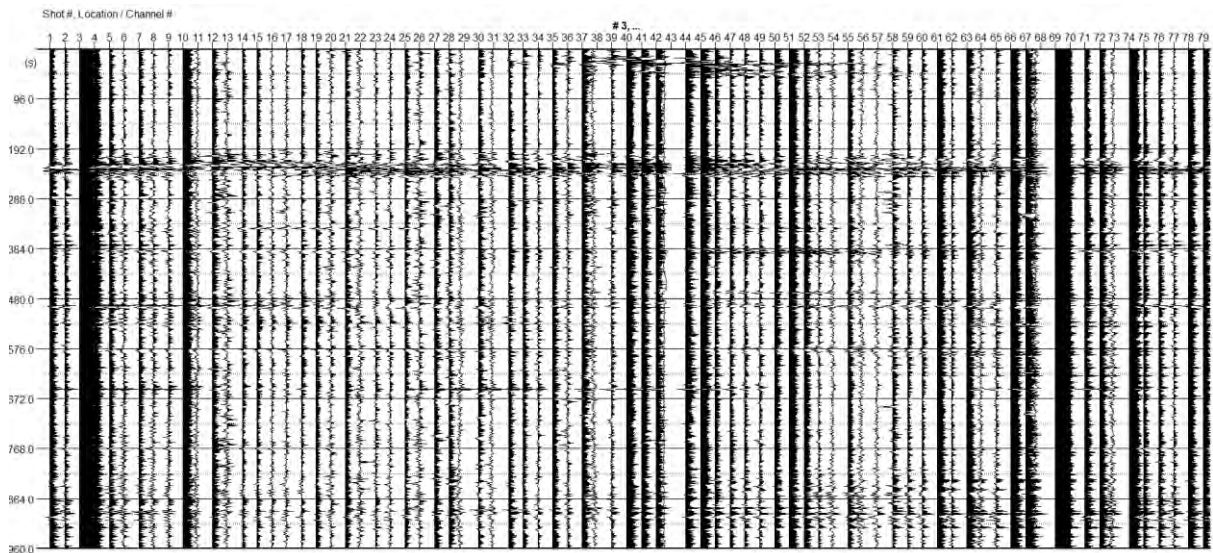


Figur 2 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec2 för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

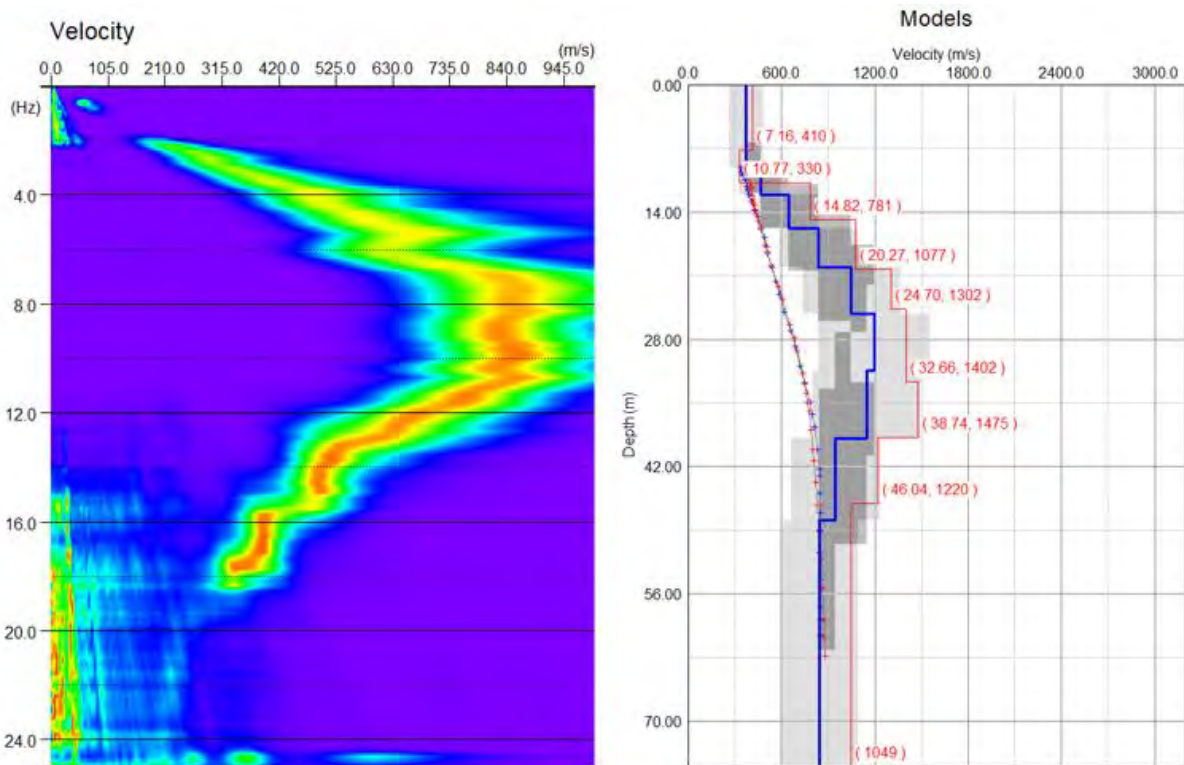
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	v	ρ (t/m ³)
1	9,3	374	30	0,25	2,3
2	12,3	478	30	0,25	2,42
3	15,9	684	30	0,25	2,42
4	20,22	906	30	0,25	2,42
5	25,4	1098	30	0,25	2,42
6	31,62	1189	30	0,25	2,42
7	39,08	1052	30	0,25	2,42
8	48,04	832	30	0,25	2,42
9	75	830	30	0,25	2,42

Figur 3 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Rec2 för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle.

1.1.1.2 Passive Circle – Rec3



Figur 4 Seismiska data för Rec3 för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

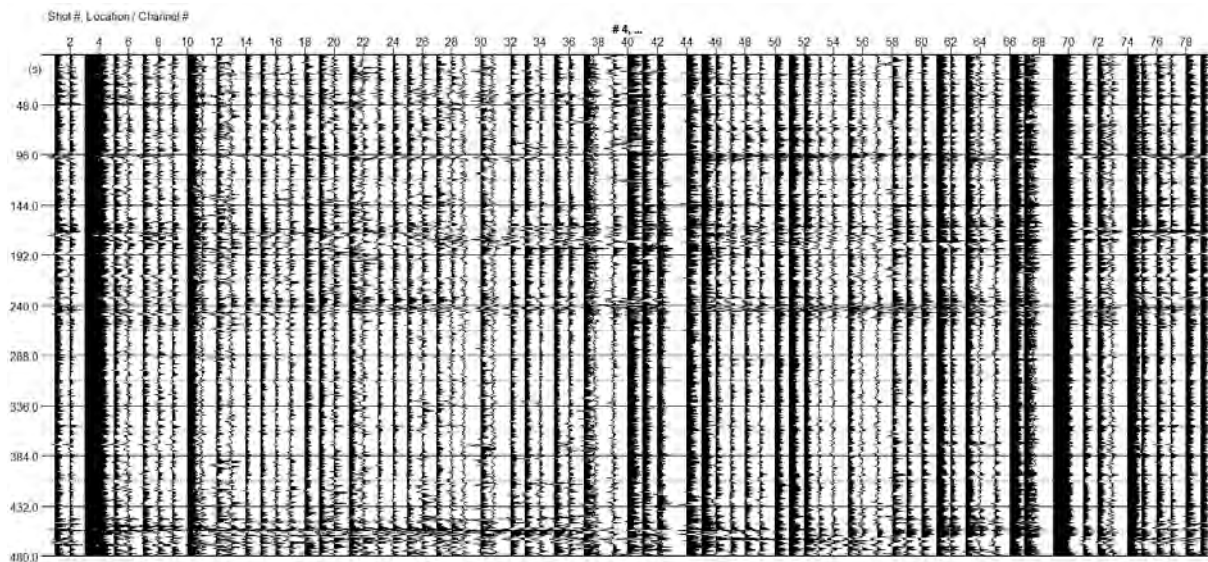


Figur 5 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec3 för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

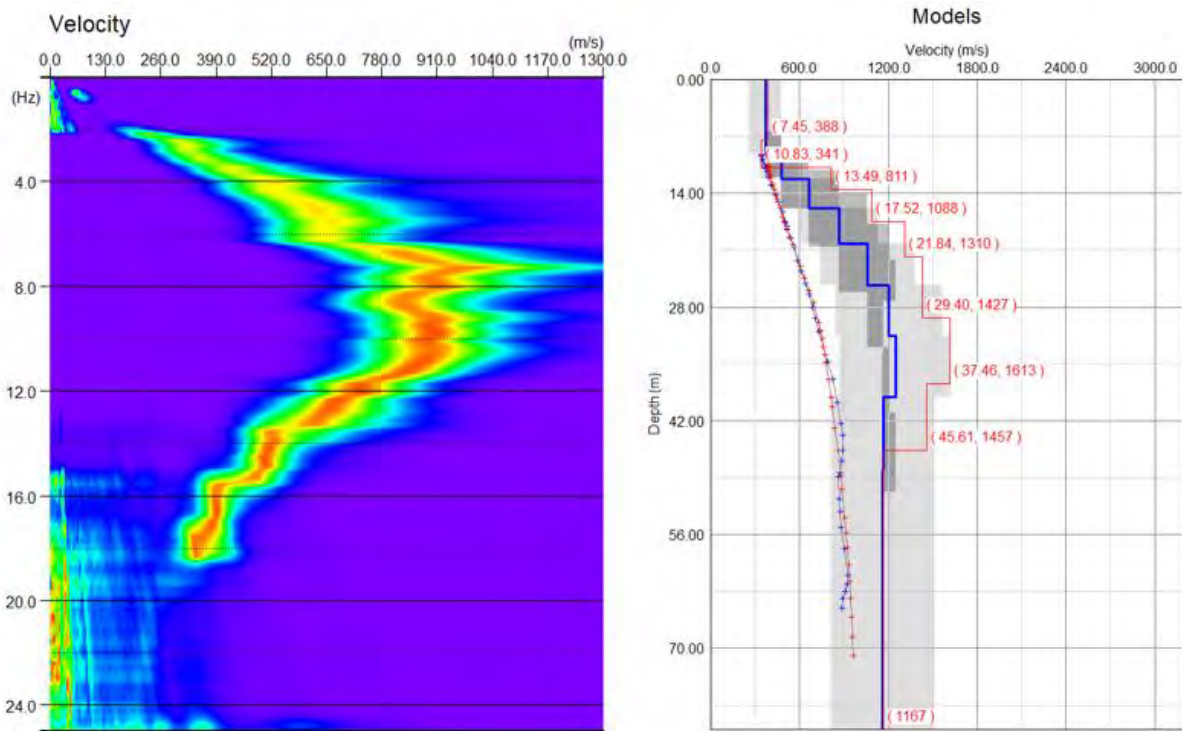
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	ν	ρ (t/m ³)
1	9,11	372	30	0,25	2,3
2	12,11	468	30	0,25	2,42
3	15,71	643	30	0,25	2,42
4	20,03	836	30	0,25	2,42
5	25,21	1047	30	0,25	2,42
6	31,43	1196	30	0,25	2,42
7	38,89	1148	30	0,25	2,42
8	47,85	946	30	0,25	2,42
9	75	842	30	0,25	2,42

Figur 6 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Rec3 för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle.

1.1.1.3 Passive Circle – Rec4



Figur 7 Seismiska data för Rec4 för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

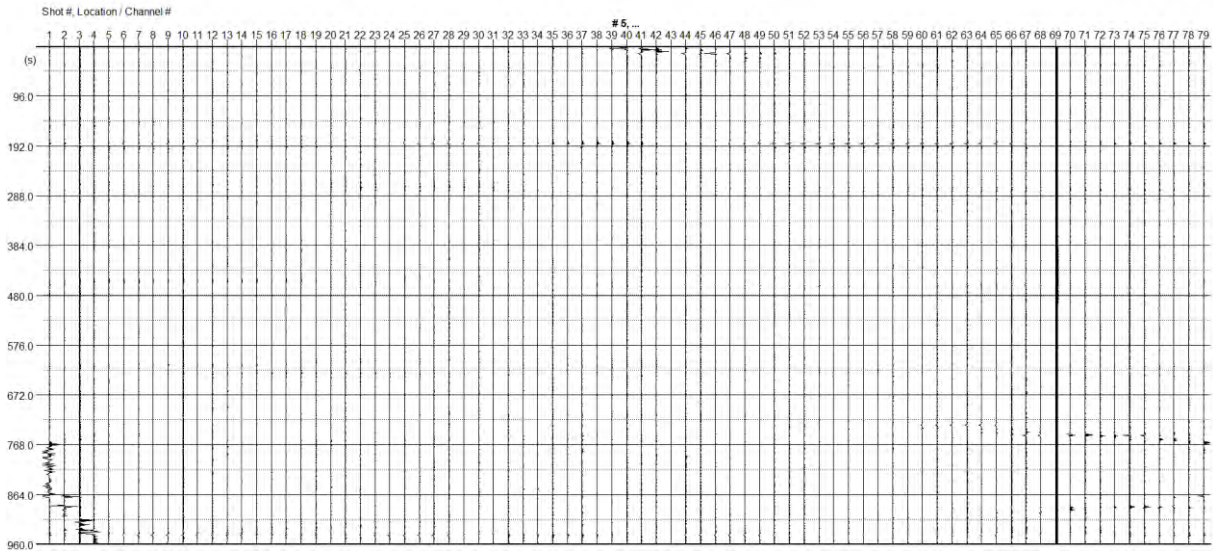


Figur 8 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec4 för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

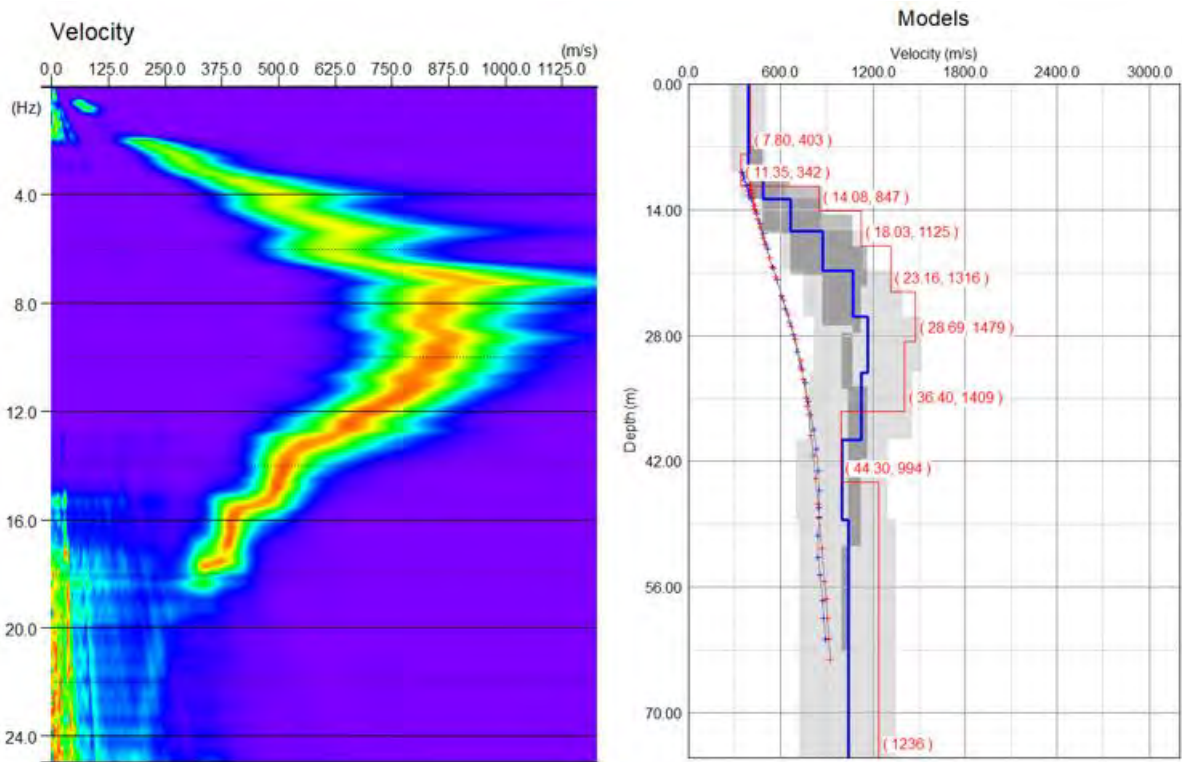
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	ν	ρ (t/m ³)
1	9,26	368	30	0,25	2,3
2	12,26	478	30	0,25	2,42
3	15,86	665	30	0,25	2,42
4	20,18	868	30	0,25	2,42
5	25,36	1061	30	0,25	2,42
6	31,58	1204	30	0,25	2,42
7	39,04	1249	30	0,25	2,42
8	48	1166	30	0,25	2,42
9	80	1162	30	0,25	2,42

Figur 9 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Rec4 för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle.

1.1.1.4 Passive Circle – Rec5



Figur 10 Seismiska data för Rec5 för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

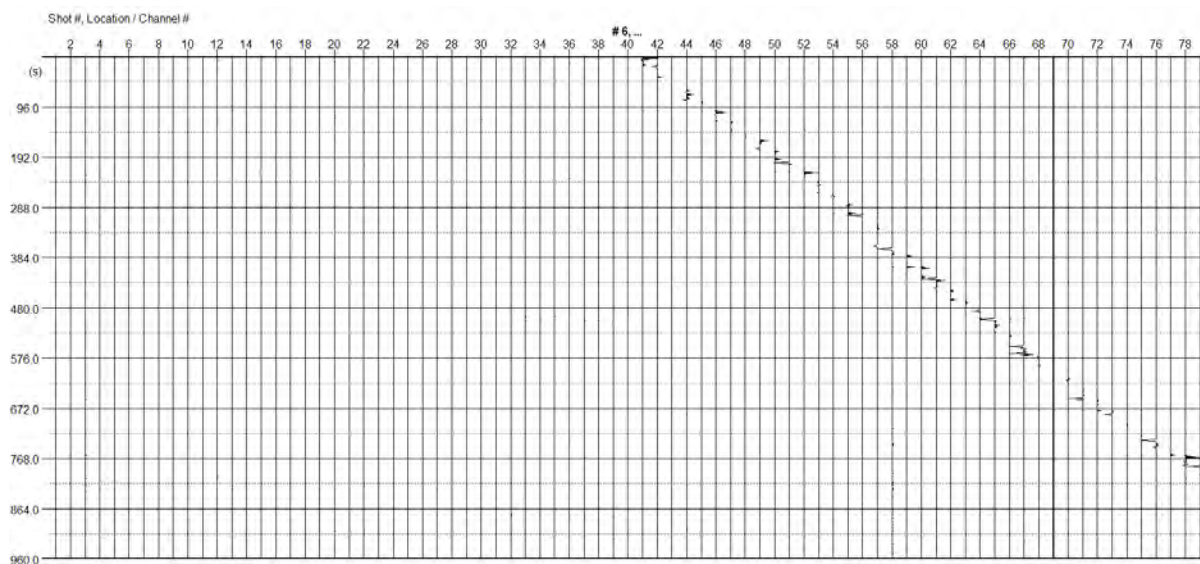


Figur 11 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec5 för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvstångshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

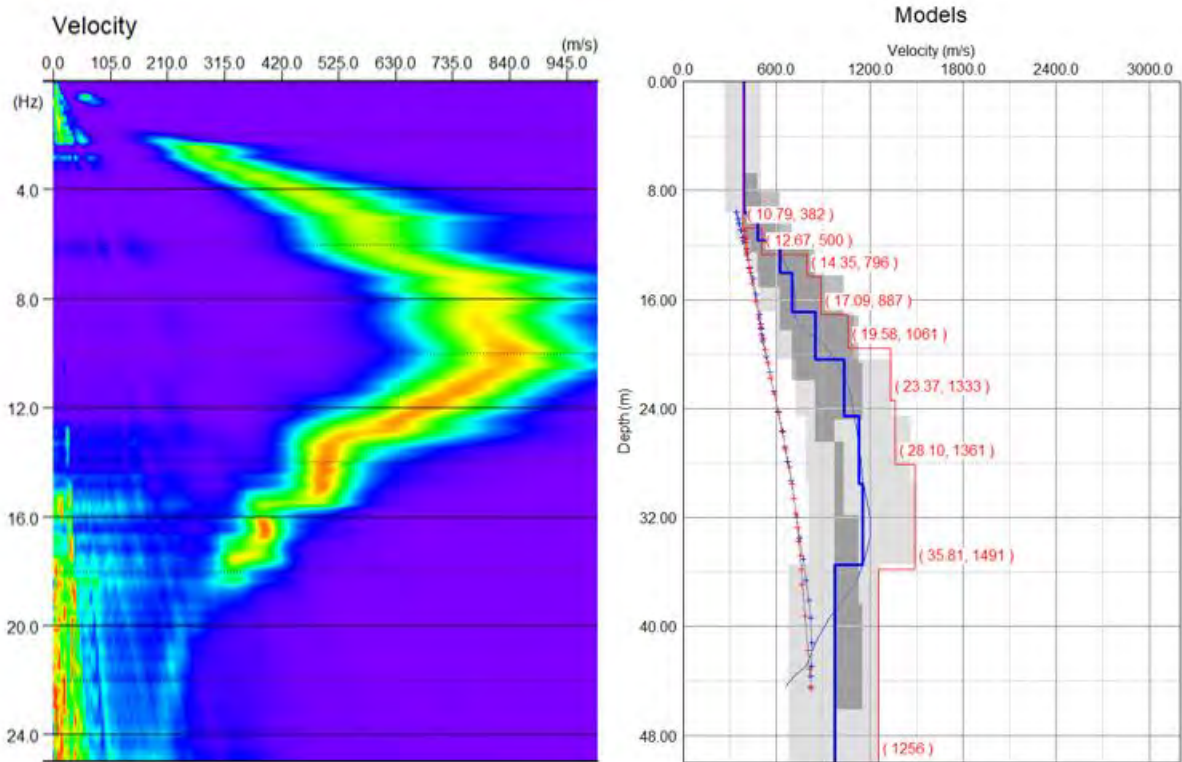
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	v	ρ (t/m ³)
1	9,81	389	30	0,25	2,3
2	12,81	484	30	0,25	2,42
3	16,41	662	30	0,25	2,42
4	20,73	873	30	0,25	2,42
5	25,91	1072	30	0,25	2,42
6	32,13	1167	30	0,25	2,42
7	39,59	1122	30	0,25	2,42
8	48,55	997	30	0,25	2,42
9	75	1038	30	0,25	2,42

Figur 12 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Rec5 för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle.

1.1.1.5 Passive Circle – Rec6



Figur 13 Seismiska data för Rec6 för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

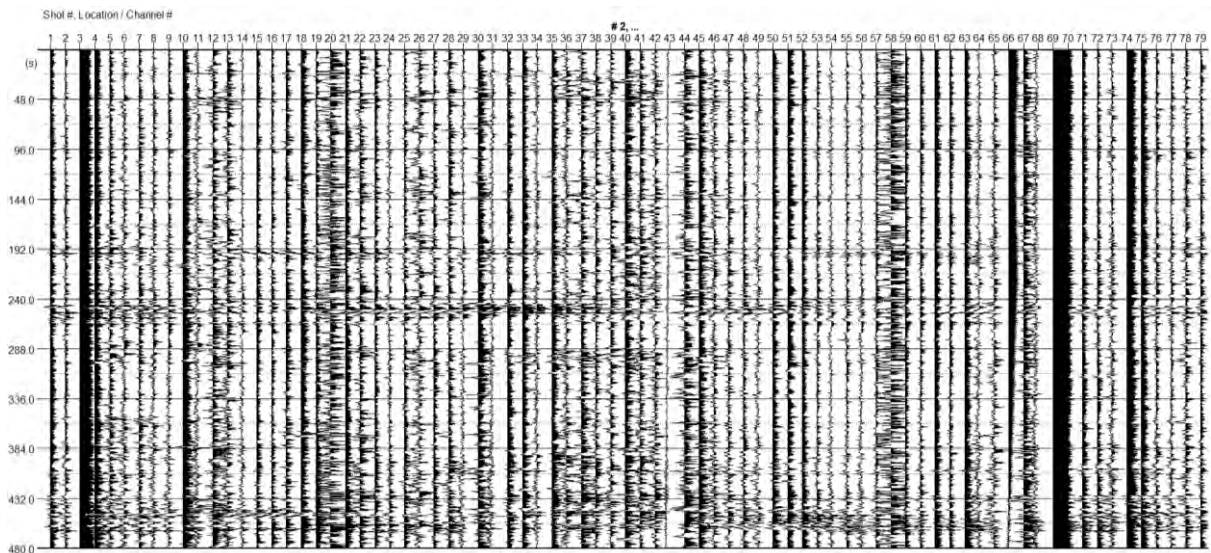


Figur 14 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec6 för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

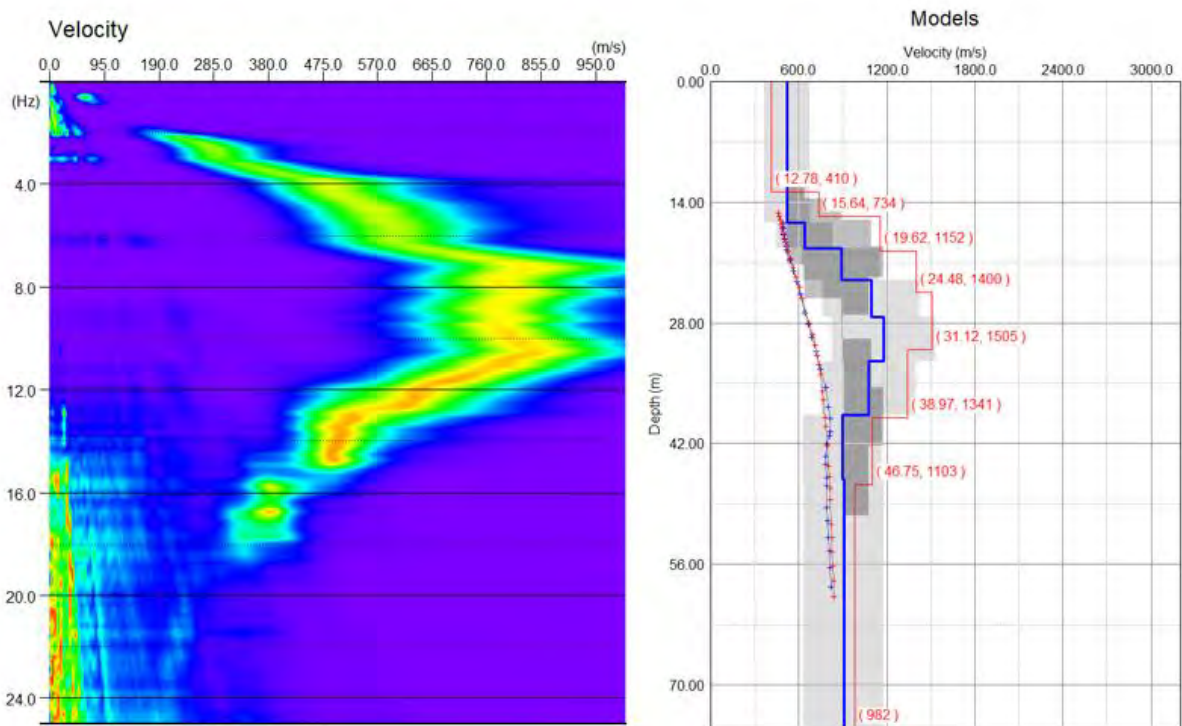
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	v	ρ (t/m ³)
1	9,64	388	30	0,25	2,3
2	11,64	479	30	0,25	2,42
3	14,04	624	30	0,25	2,42
4	16,92	700	30	0,25	2,42
5	20,38	847	30	0,25	2,42
6	24,53	1037	30	0,25	2,42
7	29,51	1129	30	0,25	2,42
8	35,48	1155	30	0,25	2,42
9	50	975	30	0,25	2,42

Figur 15 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Rec6 för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle.

1.1.1.6 Circle and Center – Rec2



Figur 16 Seismiska data för Rec2 för stor cirkel i Tornhill, Circle and Center. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

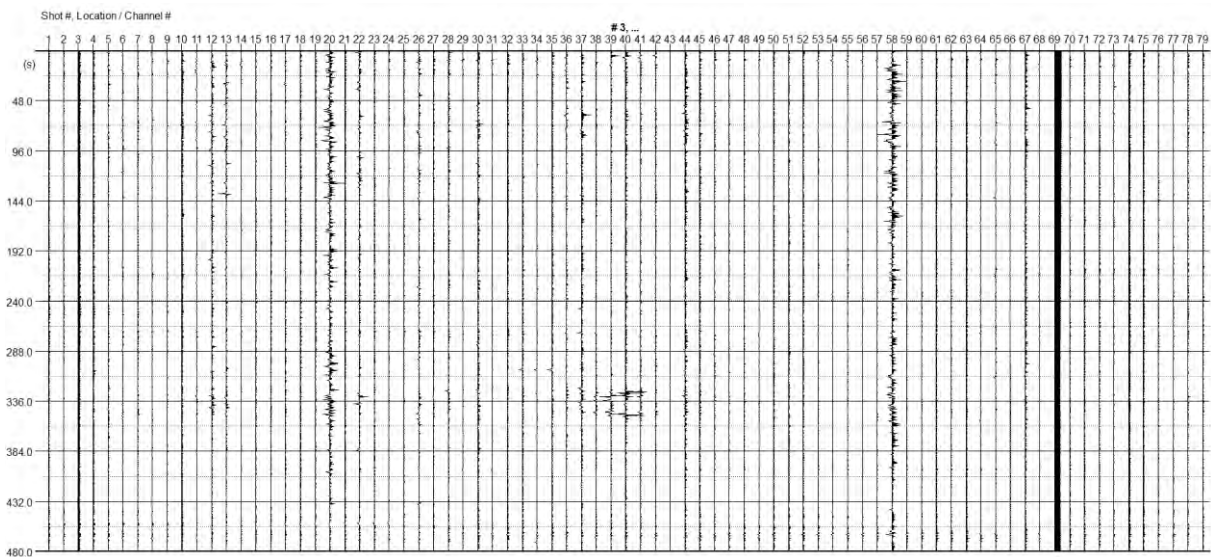


Figur 17 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec2 för stor cirkel i Tornhill, Circle and Center. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

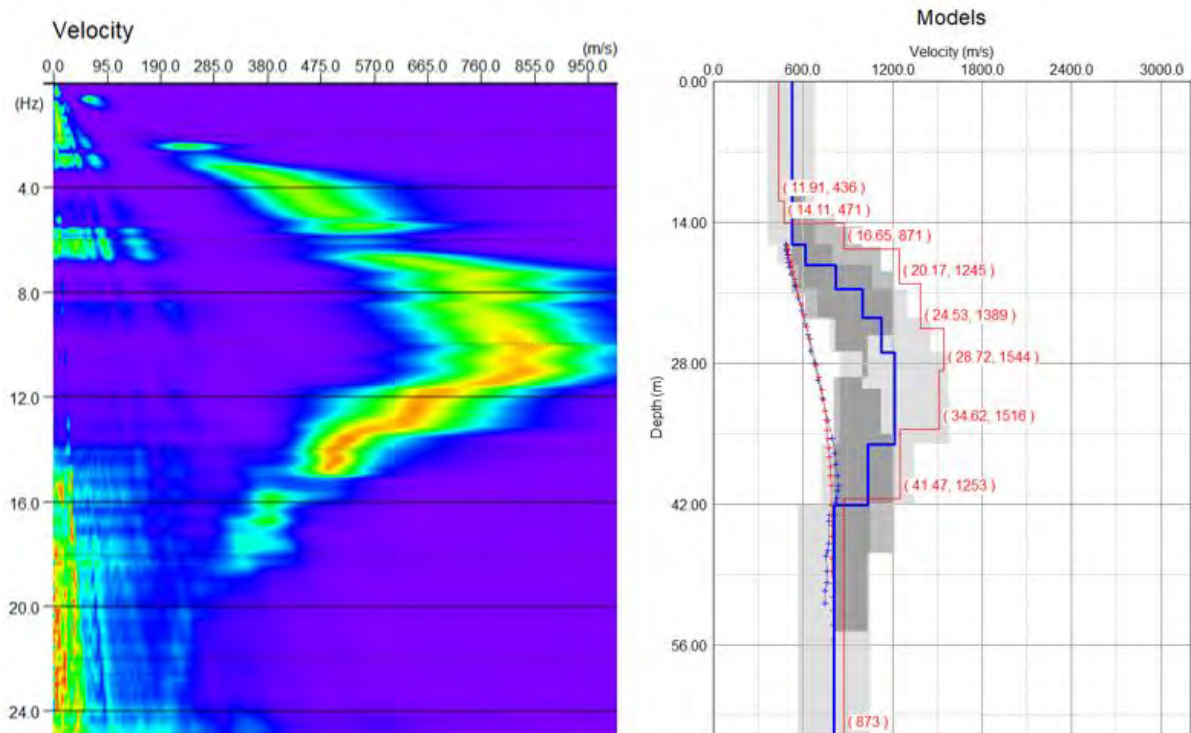
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	v	ρ (t/m ³)
1	16,38	518	30	0,25	2,42
2	19,38	641	30	0,25	2,42
3	22,98	890	30	0,25	2,42
4	27,3	1093	30	0,25	2,42
5	32,48	1179	30	0,25	2,42
6	38,7	1075	30	0,25	2,42
7	46,16	897	30	0,25	2,42
8	75	908	30	0,25	2,42

Figur 18 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Rec2 för stor cirkel i Tornhill, Circle and Center.

1.1.1.7 Circle and Center – Rec3



Figur 19 Seismiska data för Rec3 för stor cirkel i Tornhill, Circle and Center. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

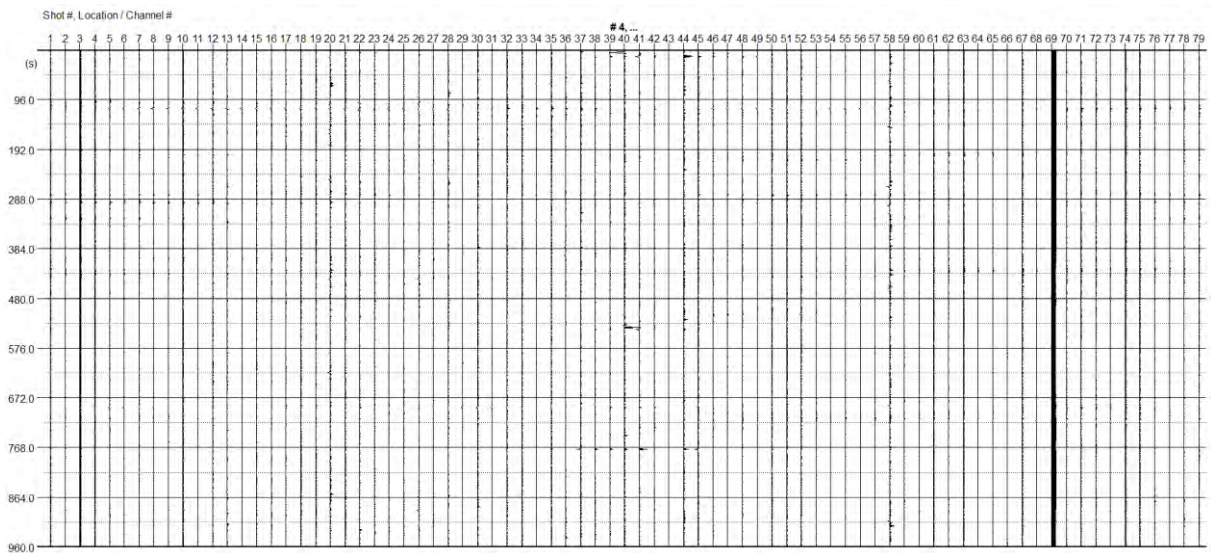


Figur 20 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec3 för stor cirkel i Tornhill, Circle and Center. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

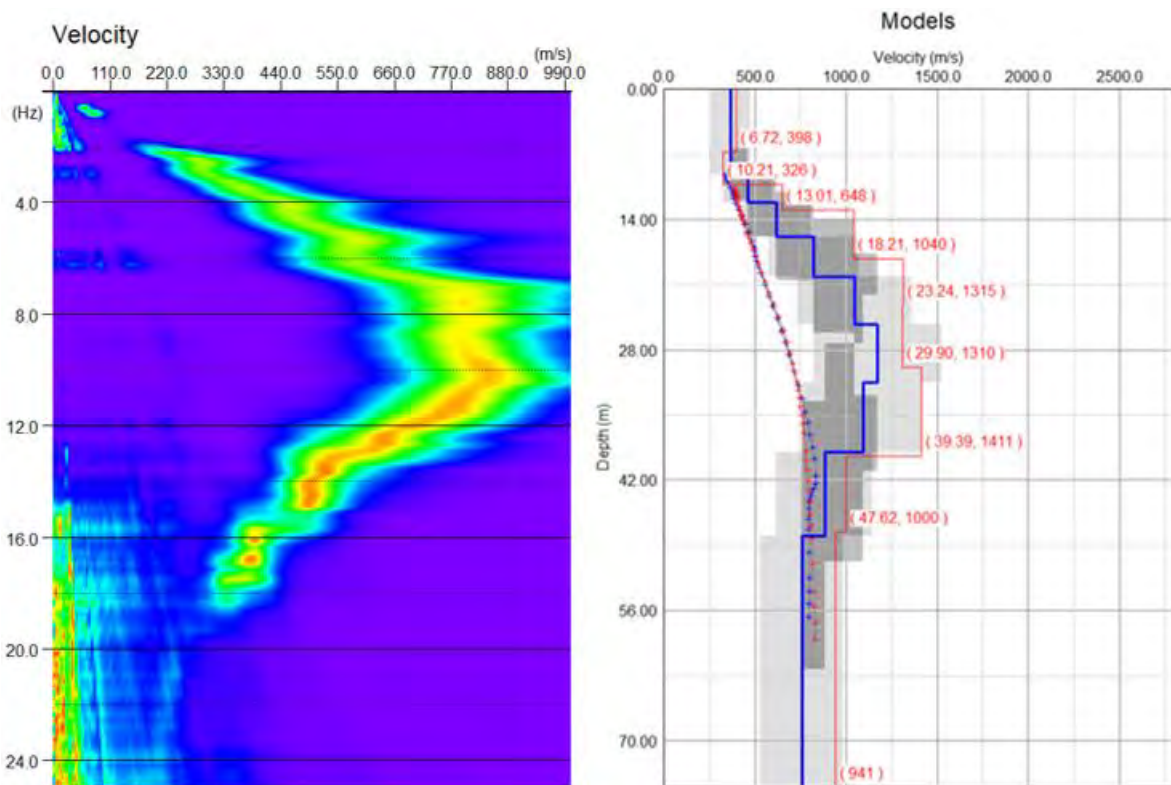
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	ν	ρ (t/m ³)
1	16,24	524	30	0,25	2,42
2	18,24	618	30	0,25	2,42
3	20,64	819	30	0,25	2,42
4	23,52	999	30	0,25	2,42
5	26,98	1123	30	0,25	2,42
6	31,13	1212	30	0,25	2,42
7	36,11	1217	30	0,25	2,42
8	42,08	1037	30	0,25	2,42
9	65	810	30	0,25	2,42

Figur 21 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Rec3 för stor cirkel i Tornhill, Circle and Center.

1.1.1.8 Circle and Center – Rec4



Figur 22 Seismiska data för Rec4 för stor cirkel i Tornhill, Circle and Center. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

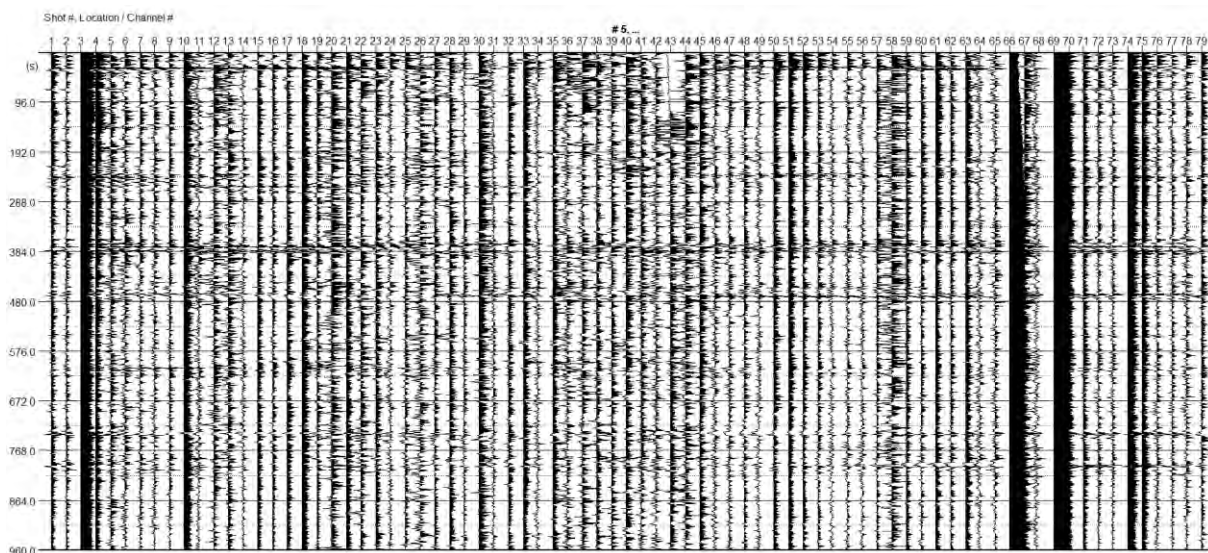


Figur 23 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec4 för stor cirkel i Tornhill, Circle and Center. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

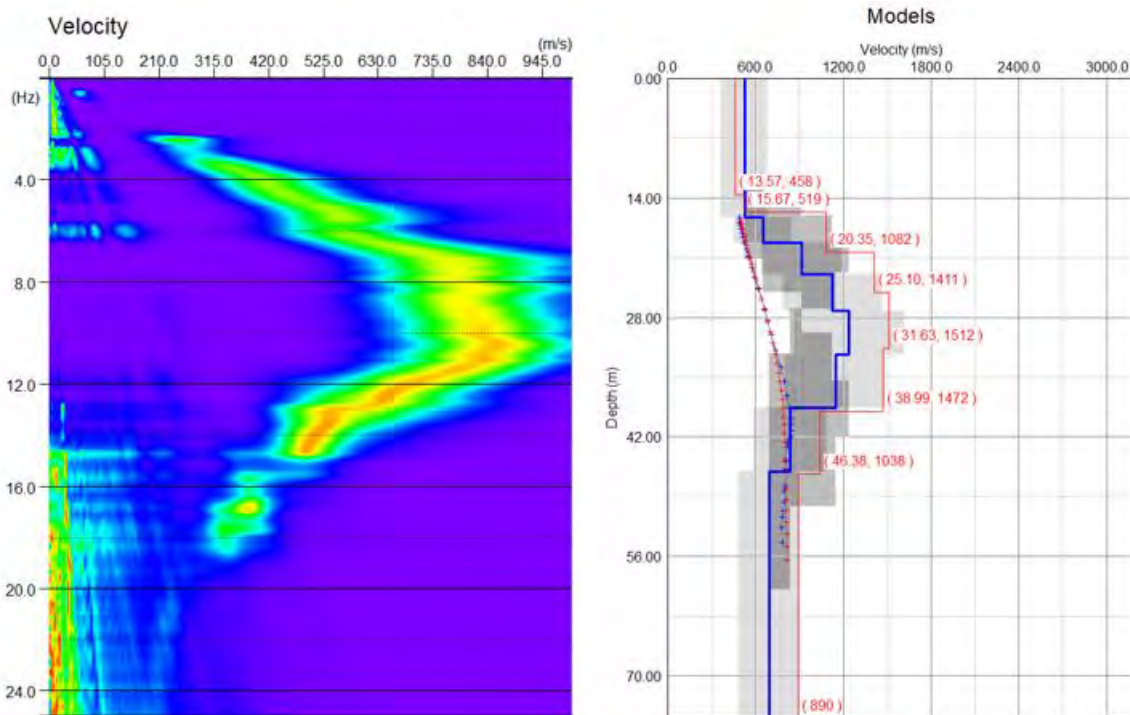
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	ν	ρ (t/m ³)
1	9,22	368	30	0,25	2,3
2	12,22	460	30	0,25	2,42
3	15,82	620	30	0,25	2,42
4	20,14	821	30	0,25	2,42
5	25,32	1046	30	0,25	2,42
6	31,54	1171	30	0,25	2,42
7	39	1093	30	0,25	2,42
8	47,96	883	30	0,25	2,42
9	75	757	30	0,25	2,42

Figur 24 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Rec4 för stor cirkel i Tornhill, Circle and Center.

1.1.1.9 Circle and Center – Rec5



Figur 25 Seismiska data för Rec5 för stor cirkel i Tornhill, Circle and Center. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.



Figur 26 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec5 för stor cirkel i Tornhill, Circle and Center. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	ν	ρ (t/m ³)
1	16,28	524	30	0,25	2,42
2	19,28	653	30	0,25	2,42
3	22,88	916	30	0,25	2,42
4	27,2	1126	30	0,25	2,42
5	32,38	1240	30	0,25	2,42
6	38,6	1147	30	0,25	2,42
7	46,06	838	30	0,25	2,42
8	75	691	30	0,25	2,42

Figur 27 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Rec5 för stor cirkel i Tornhill, Circle and Center.

1.1.2 Tornhill – Liten cirkel

Den lilla cirkeln bestod av 48 gefoner i en cirkel med radie på 5 meter. För den mindre cirkeln i Tornhill var seismiska data av så låg kvalitet att det bedömdes lönlöst att utifrån frekvens-fashastighetsspektrumen skapa modeller för skjuvvågshastigheten mot djupet för alla mätningarna, detta efter att ha skapat en sådan för den första mätningen (Rec1). Därför visas bara seismiska data och frekvens-fashastighetsspektrum för Rec2, Rec3 och Rec4. Av samma anledning lämnas vissa fält tomma i Tabell 2 nedan.

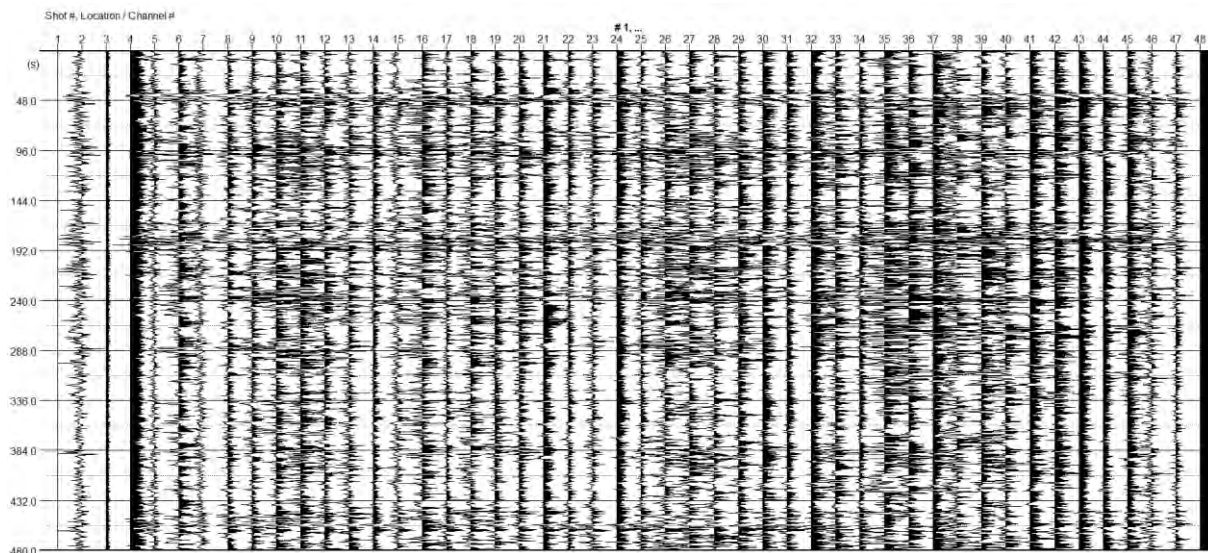
Däremot utfördes försök med ökad så kallad *array tolerance* och även med ökat intervall för frekvensen. Standardinställningen för *array tolerance* var 3% och det maximala värdet 20%. För en av dessa skapades en inversmodell för skjuvvågshastigheten mot djupet. Ett annat försök

att skapa en inversmodell utfördes även med en kortare sekvens (120 000 ms) som var utklippt från seismiska data med 480 000 ms mättid.

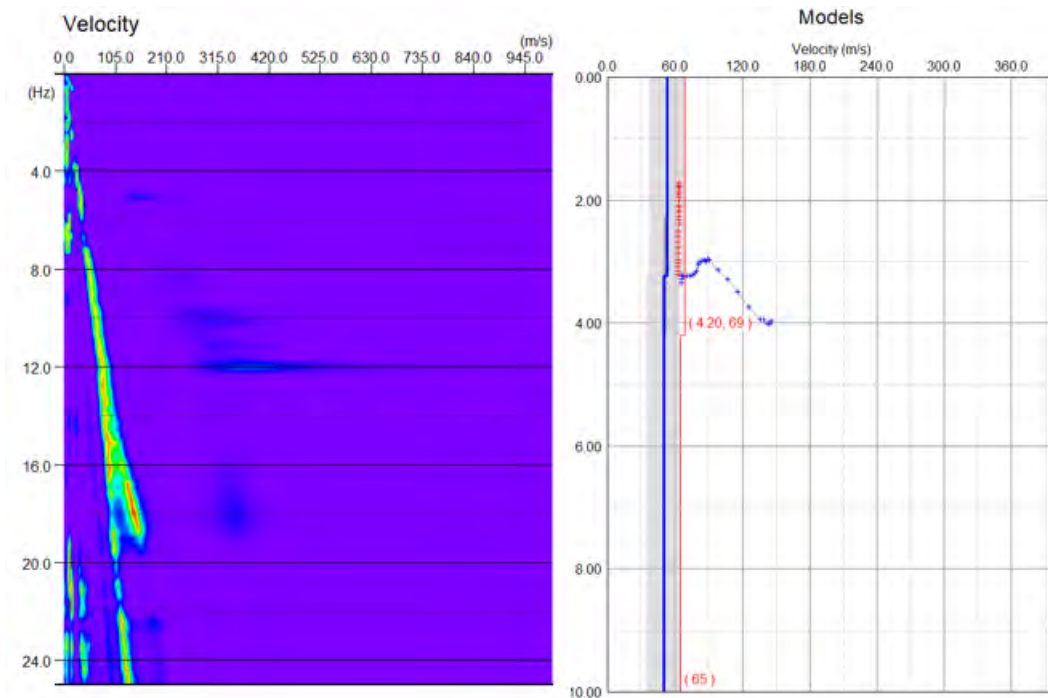
Tabell 2 Sammanfattning av mätningarnas resultat. Samplingsintervall och mättid för mätningarna beskrivs. Startdjup är det första djup som anges i siffror i den inversa modellen. I inversionsprocessen testades flera kombinationer av upplösning för hastighet och djup, och den som gav lägst misfit valdes.

MÄTNINGENS NAMN	SAMPLINGSINTERVALL [ms]	MÄTTID [ms]	STARTDJUP [m]	UPPLÖSNING HASTIGHET [m/s]	UPPLÖSNING DJUP [m]	MISFIT [%]
INDIVIDUELLA MÄTNINGAR						
Rec1	4	480 000	4,20	2,0	0,1	44,61
Rec2	4	480 000				
Rec3	8	960 000				
Rec4	8	960 000				

1.1.2.1 Rec1



Figur 28 Seismiska data för Rec1 för liten cirkel i Tornhill. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

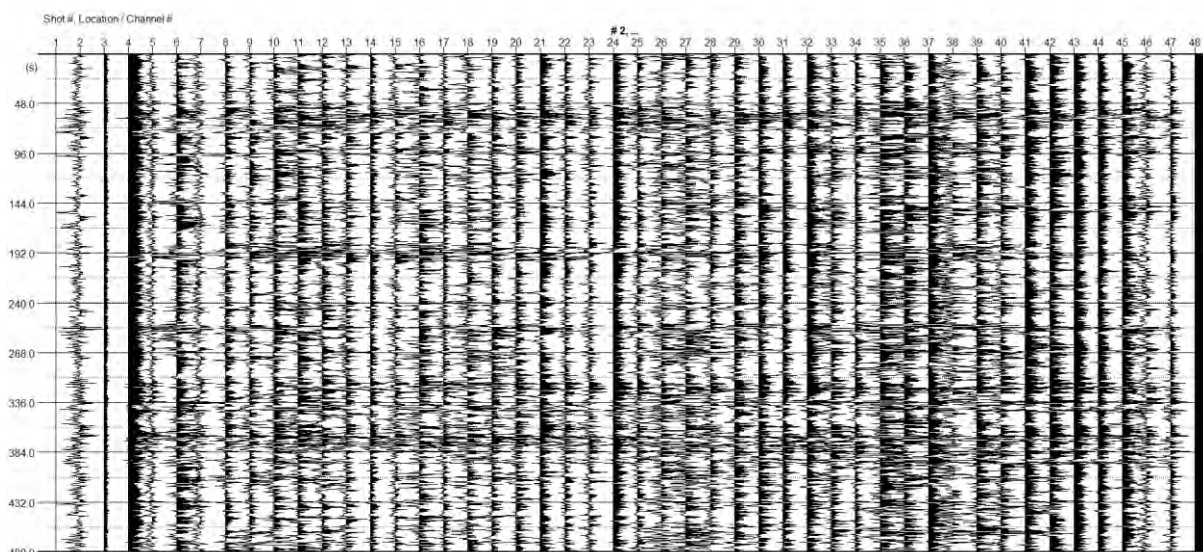


Figur 29 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec1 för liten cirkel i Tornhill. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

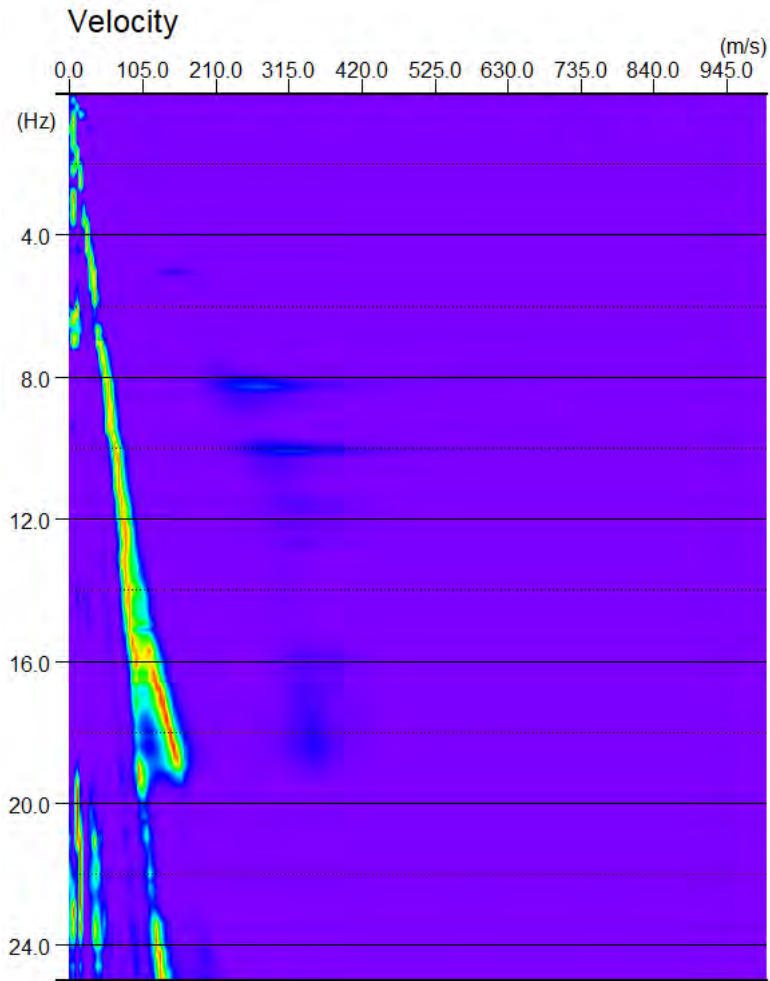
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	ν	ρ (t/m ³)
1	3,23	53	30	0,25	2
2	10	50	30	0,25	2,3

Figur 30 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Rec1 för liten cirkel i Tornhill.

1.1.2.2 Rec2

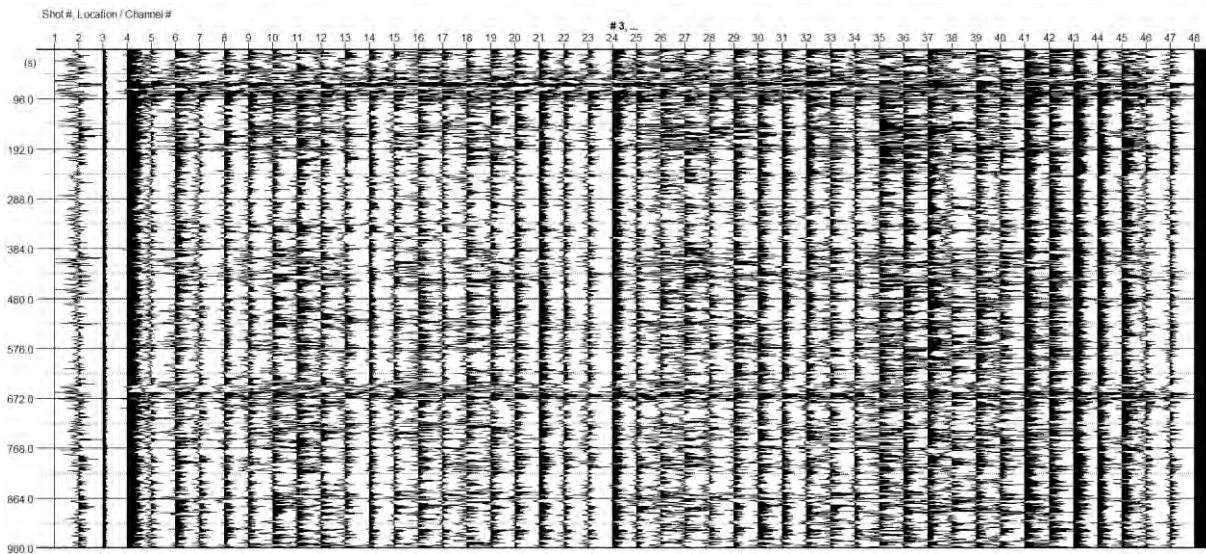


Figur 31 Seismiska data för Rec2 för liten cirkel i Tornhill. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

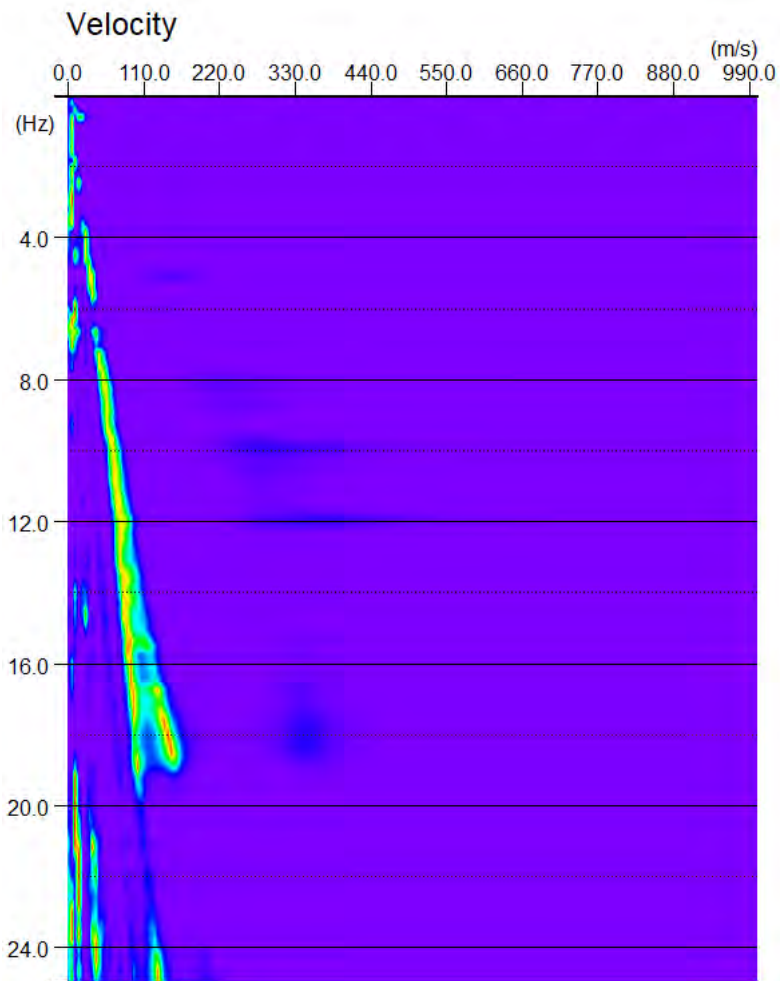


Figur 32 Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec2 för liten cirkel i Tornhill. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln.

1.1.2.3 Rec3

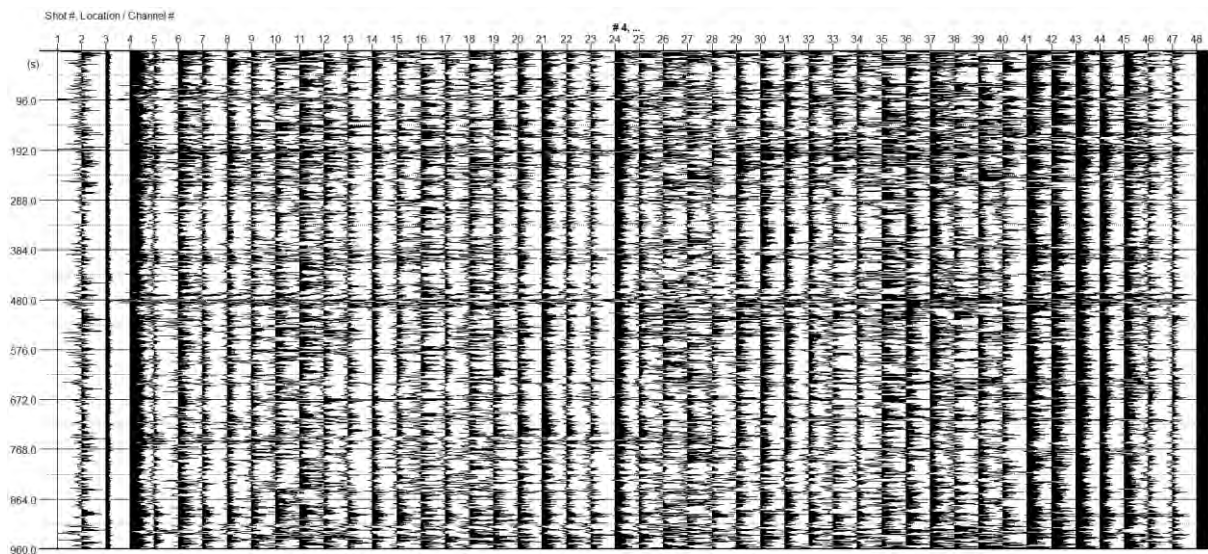


Figur 33 Seismiska data för Rec3 för liten cirkel i Tornhill. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

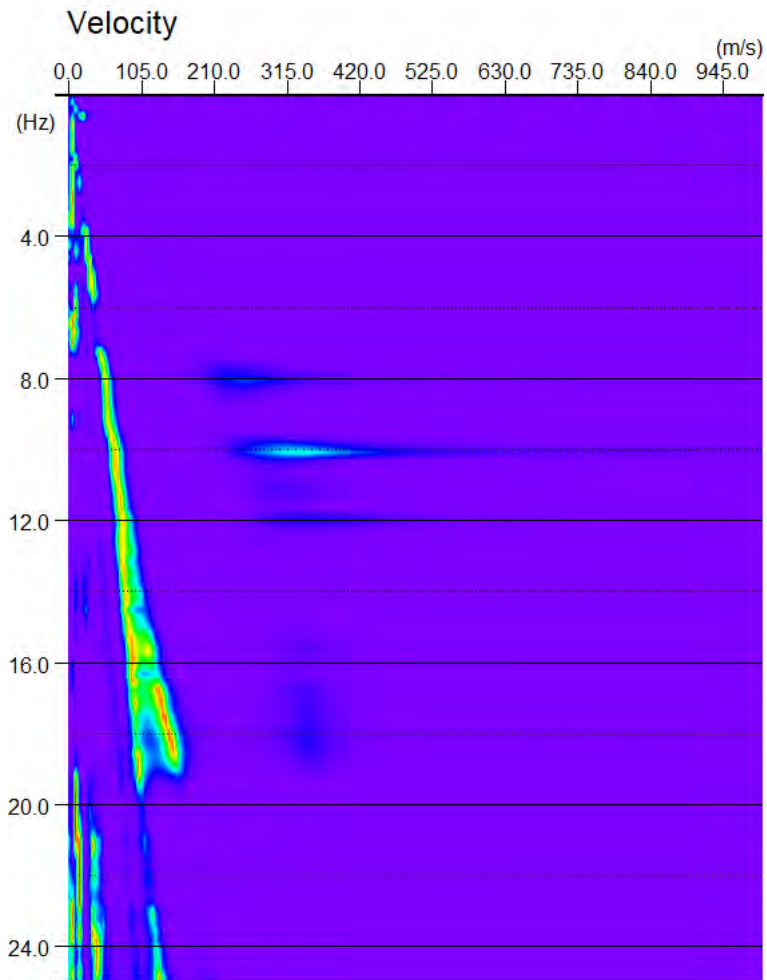


Figur 34 Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec3 för liten cirkel i Tornhill. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln.

1.1.2.4 Rec4

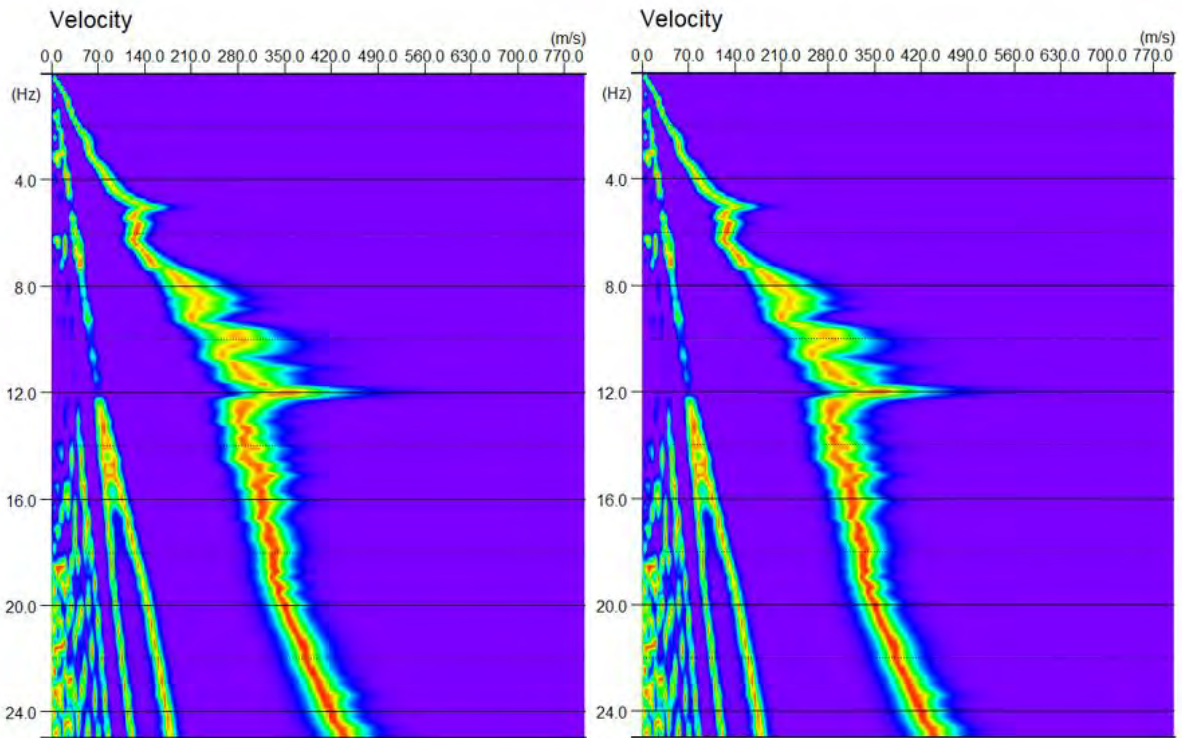


Figur 35 Seismiska data för Rec4 för liten cirkel i Tornhill. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

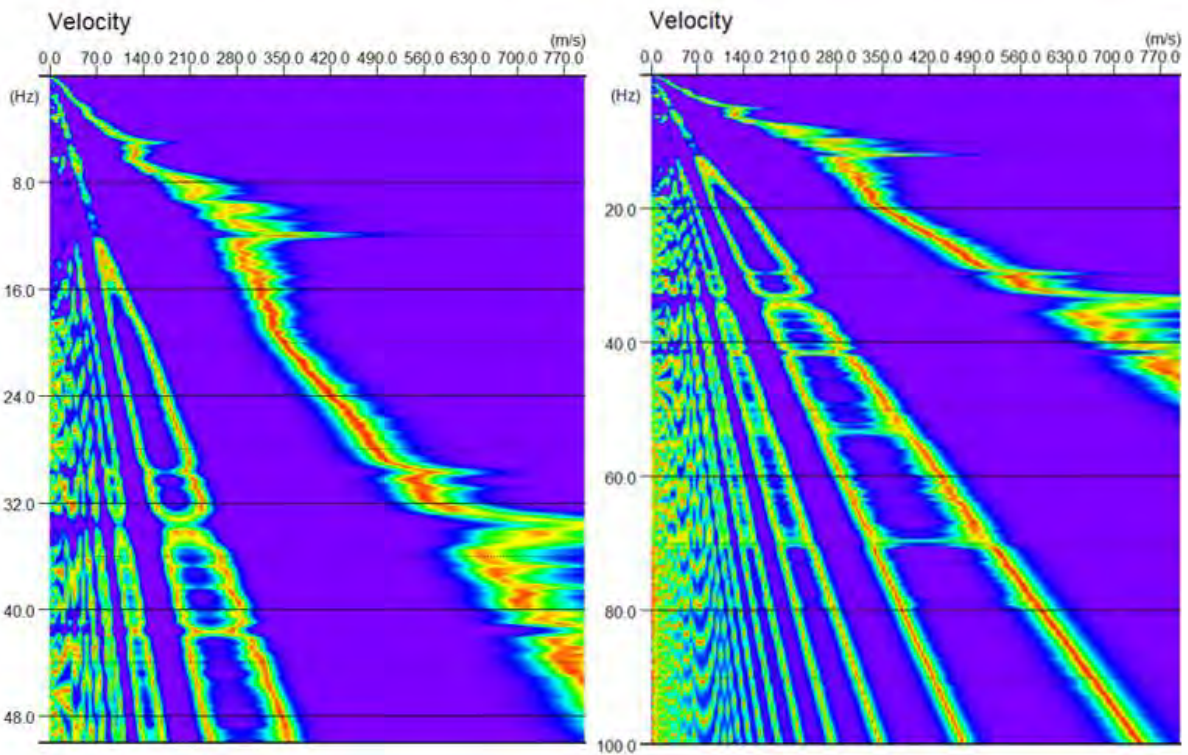


Figur 36 Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec4 för liten cirkel i Tornhill. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln.

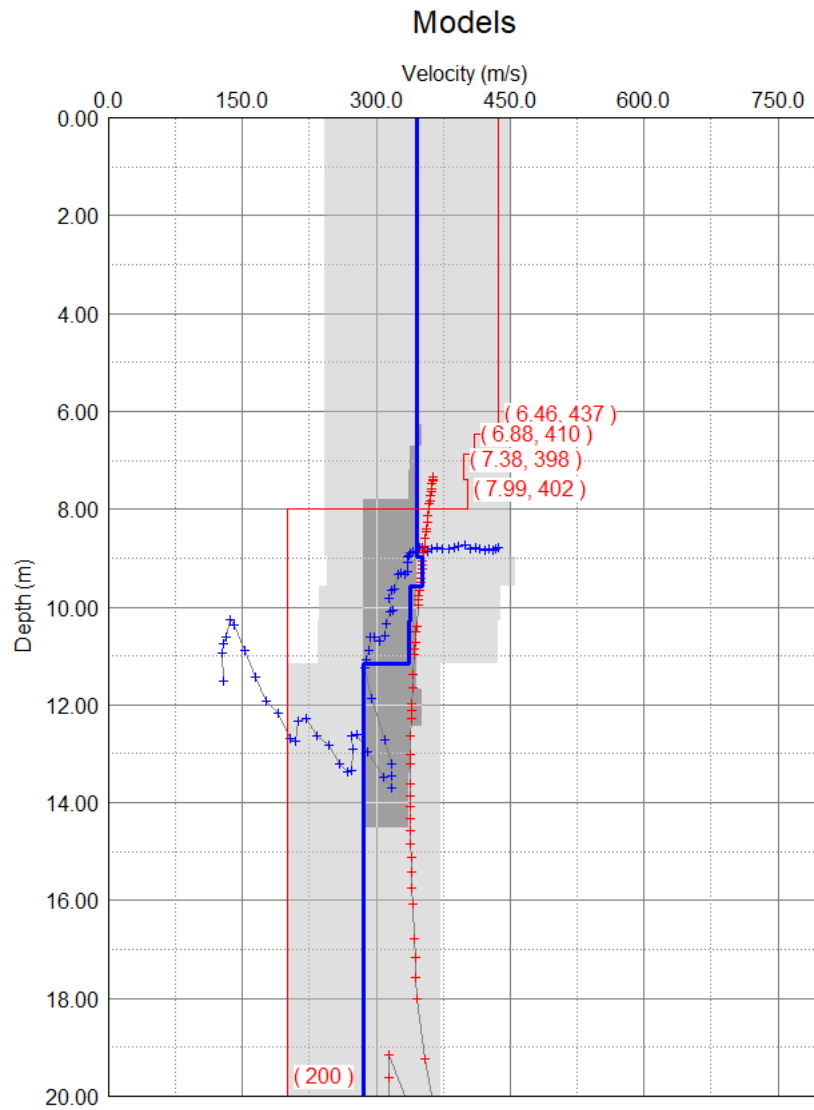
1.1.2.5 Rec1: Array tolerance, frekvens



Figur 37 Frekvens-fashastighetsspektrum för $Re1$ för liten cirkel i Tornhill. Hastighet på x -axeln och frekvens på y -axeln. Array tolerance är 4% till vänster och 20% till höger.

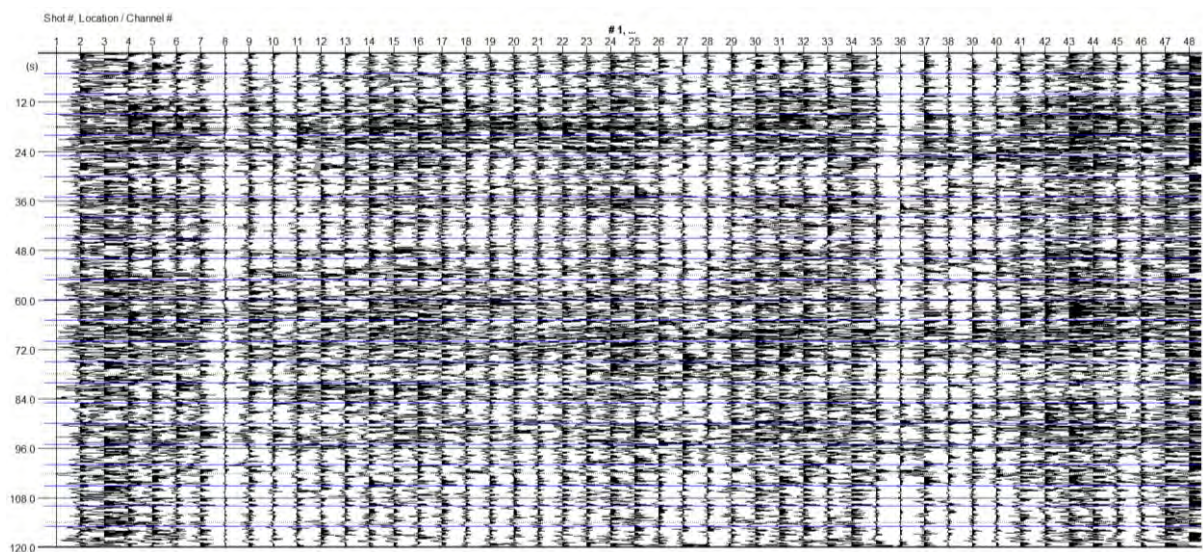


Figur 38 Frekvens-fashastighetsspektrum för $Re1$ för liten cirkel i Tornhill. Hastighet på x -axeln och frekvens på y -axeln. Den maximala frekvensen är 50 Hz till vänster och 100 Hz till höger.

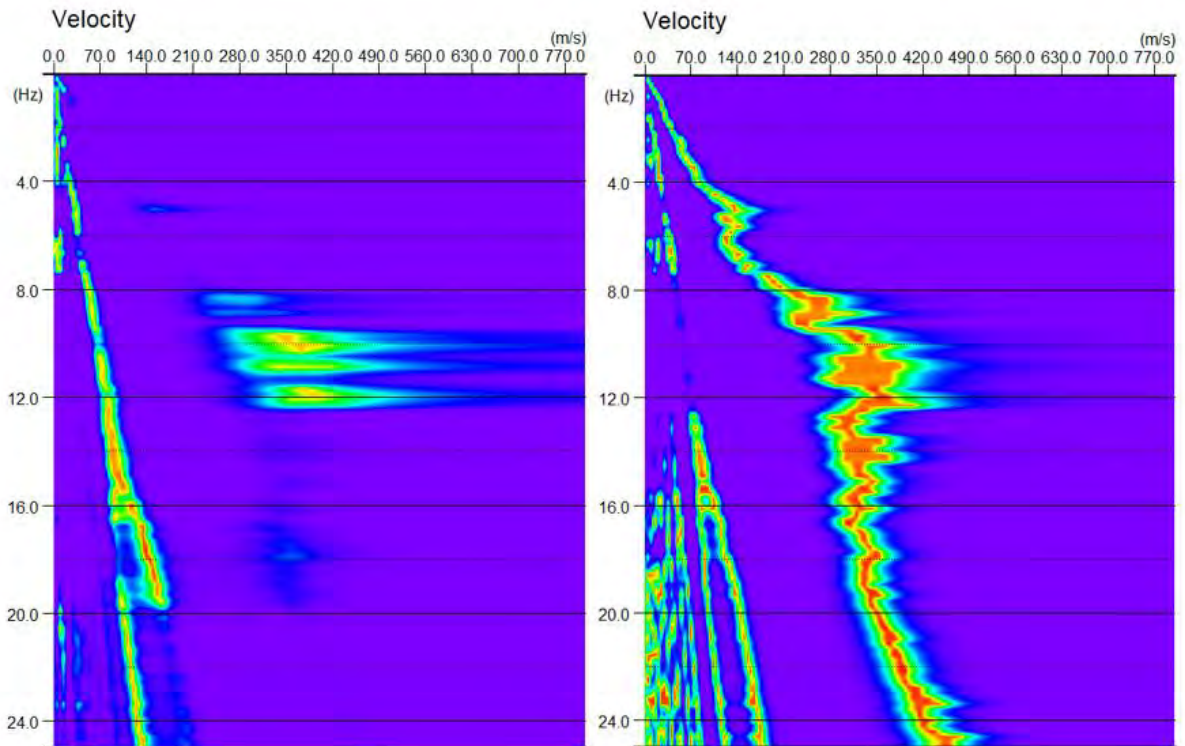


Figur 39 Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet för Rec1 för liten cirkel i Tornhill med en array tolerance på 4% och en maximal frekvens på 25 Hz.

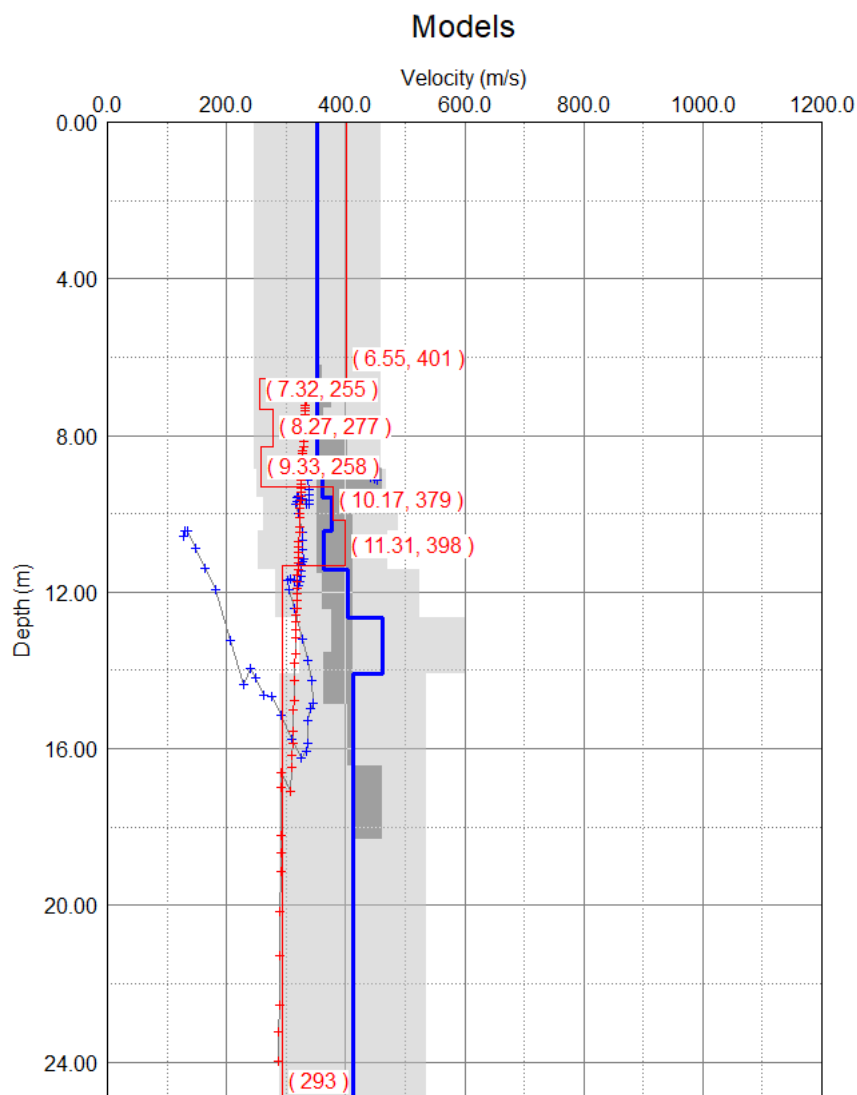
1.1.2.6 Rec1: Utklippt seismisk data



Figur 40 Seismiska data för Rec1 för liten cirkel i Tornhill, med 120 000 ms utklippt data. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.



Figur 41 Frekvens-fashastighetspektrum för Rec1 för liten cirkel i Tornhill med 120 000 ms utklippt data. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Array tolerance på 3% till vänster och 4% till höger.



Figur 42 Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet för Re1 för liten cirkel i Tornhill med 120 000 ms utklippt data, med en array tolerance på 4%.

1.1.3 Tornhill – Triangel

Triangeluppställningen i Tornhill bestod av 16 geofoner och trianglarna var inskrivna i varandra. Även för triangeln var seismiska data av låg kvalitet. Det bedömdes därför inte som fruktsamt att skapa modeller av skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet utifrån frekvens-fashastighetsspektrumen. Därför visas endast seismiska data och frekvens-fashastighetsspektrum för mätningarna med triangel i Tornhill. Således är även alla fält i Tabell 3 tomma när det gäller startdjup, upplösningshastighet och -djup samt misfit.

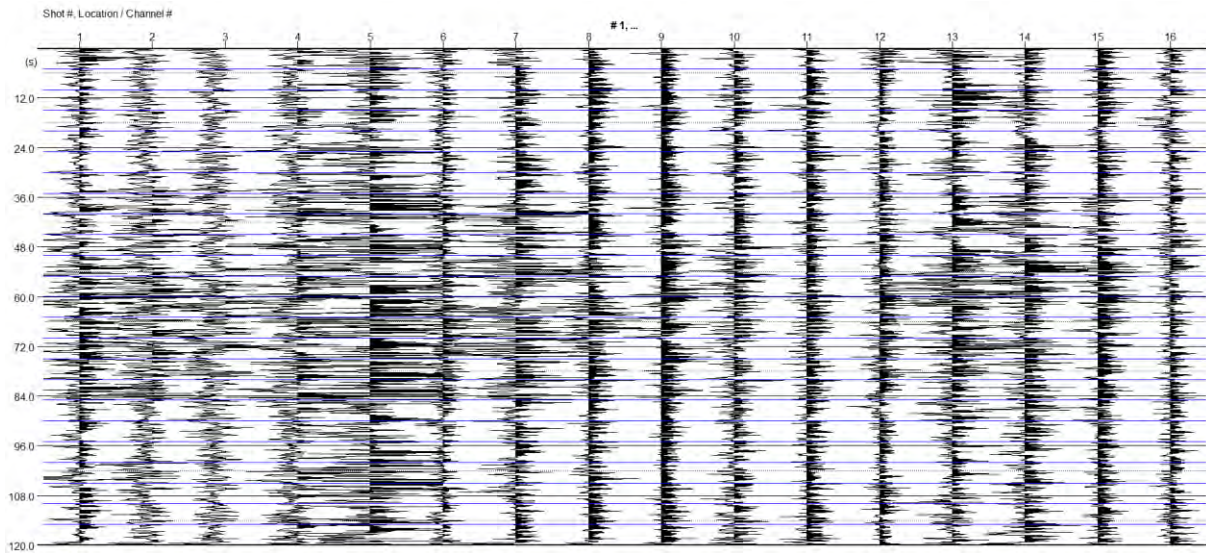
Precis som för den mindre cirkeln i Tornhill har olika *array tolerance* testats för en mätning med triangeluppställning i Tornhill. Frekvens-fashastighetsspektrum för detta visas nedan.

Tabell 3 Sammanfattning av mätningarnas resultat. Samplingsintervall och mättid för mätningarna beskrivs. Startdjup är det första djup som anges i siffror i den inversa modellen. I inversionsprocessen testades flera kombinationer av upplösning för hastighet och djup, och den som gav lägst misfit valdes.

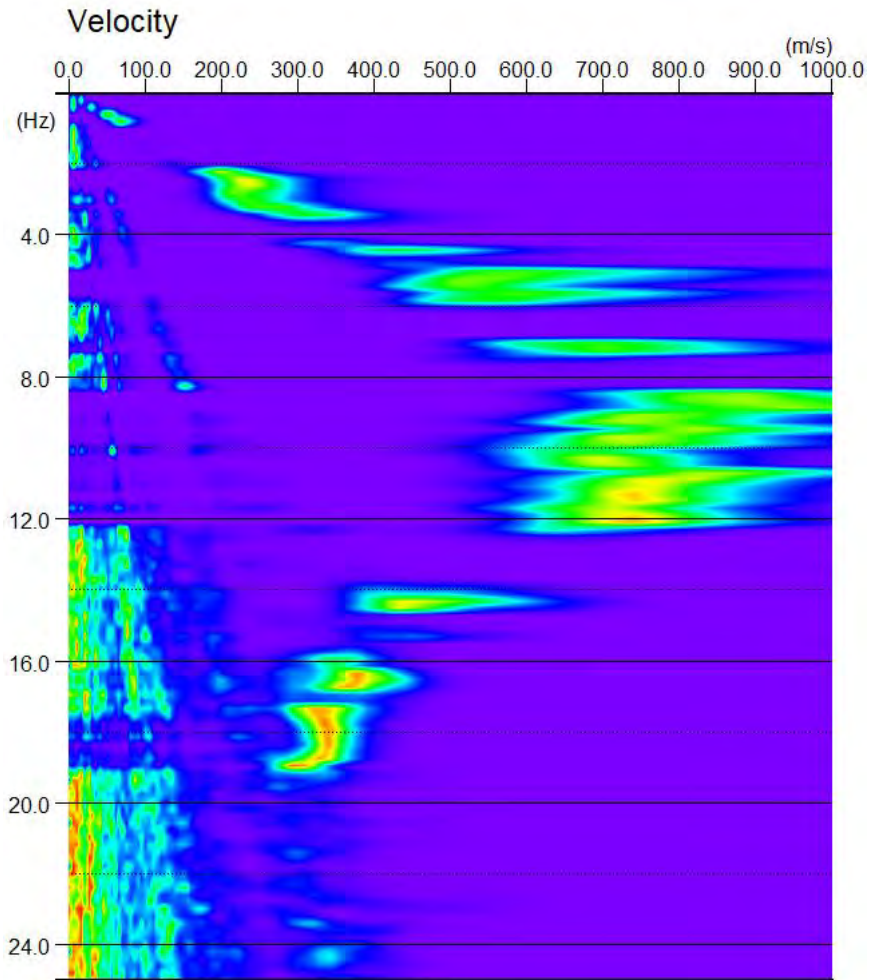
MÄTNINGENS NAMN	SAMPLINGSINTERVALL [ms]	MÄTTID [ms]	STARTDJUP [m]	UPPLÖSNING HASTIGHET [m/s]	UPPLÖSNING DJUP [m]	MISFIT [%]
INDIVIDUELLA MÄTNINGAR						

Rec1	1	120 000
Rec2	1	120 000
Rec3	2	240 000
Rec4	2	240 000
Rec5	4	480 000
Rec6	4	480 000
Rec7	8	960 000
Rec8	8	960 000

1.1.3.1 Rec1

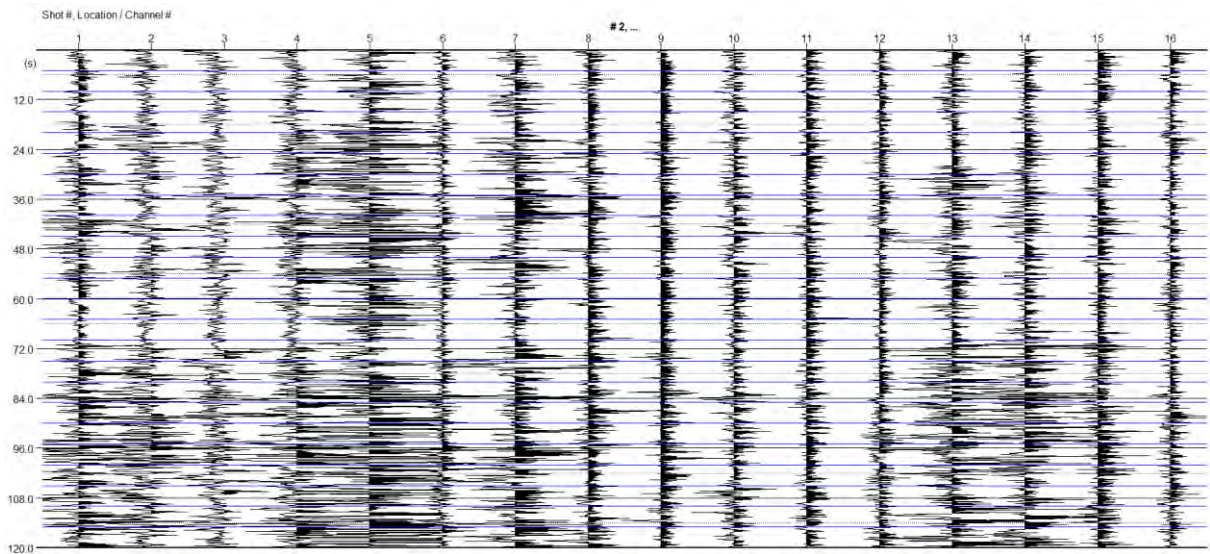


Figur 43 Seismiska data för Rec1 för triangel i Tornhill. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

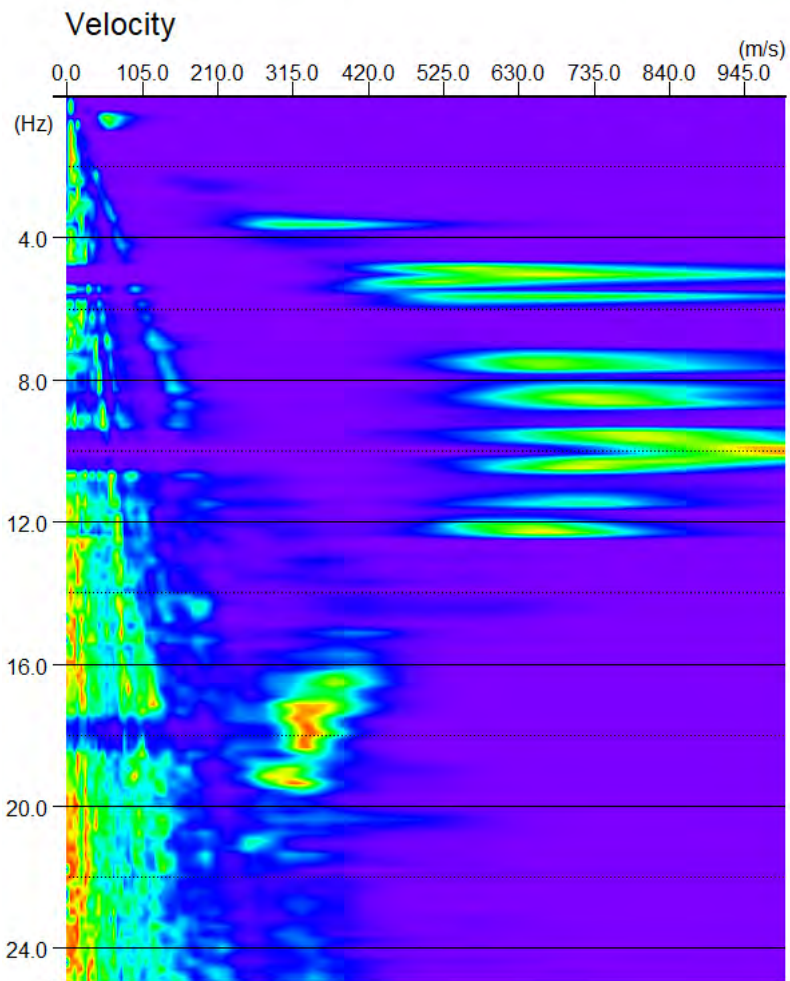


Figur 44 Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec1 för triangel i Tornhill. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln.

1.1.3.2 Rec2

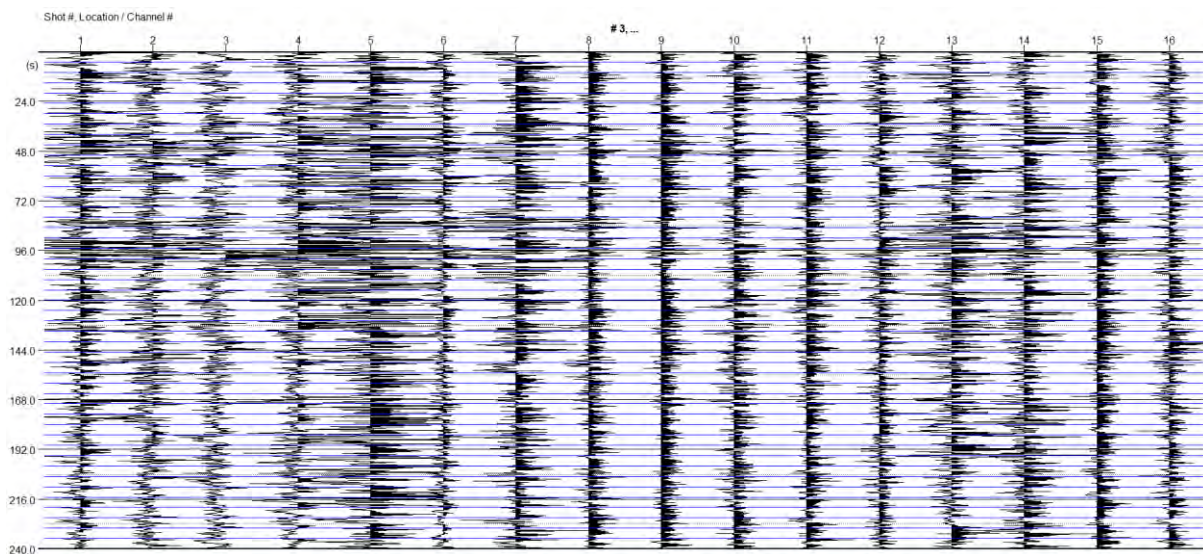


Figur 45 Seismiska data för Rec2 för triangel i Tornhill. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

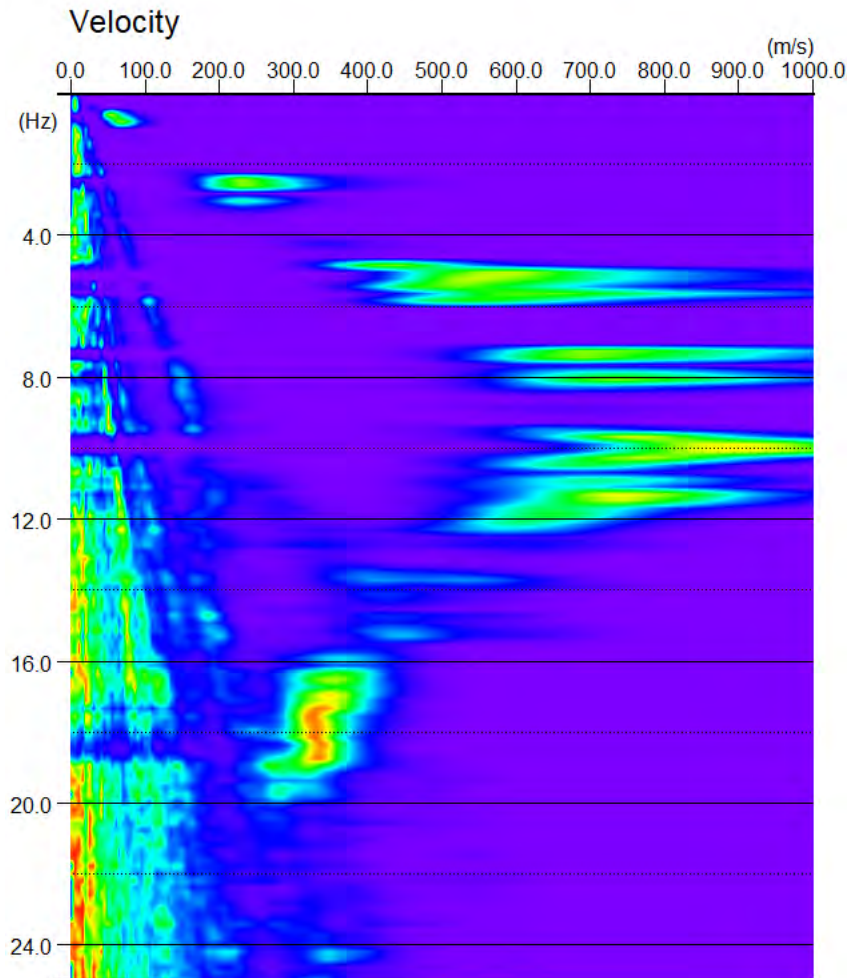


Figur 46 Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec2 för triangel i Tornhill. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln.

1.1.3.3 Rec3

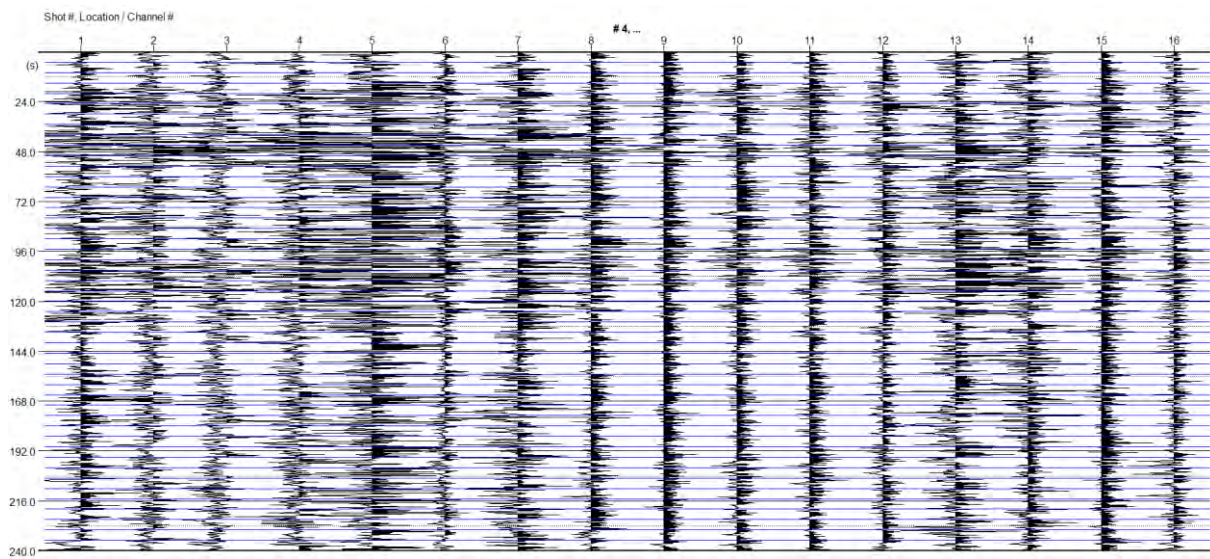


Figur 47 Seismiska data för Rec3 för triangel i Tornhill. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

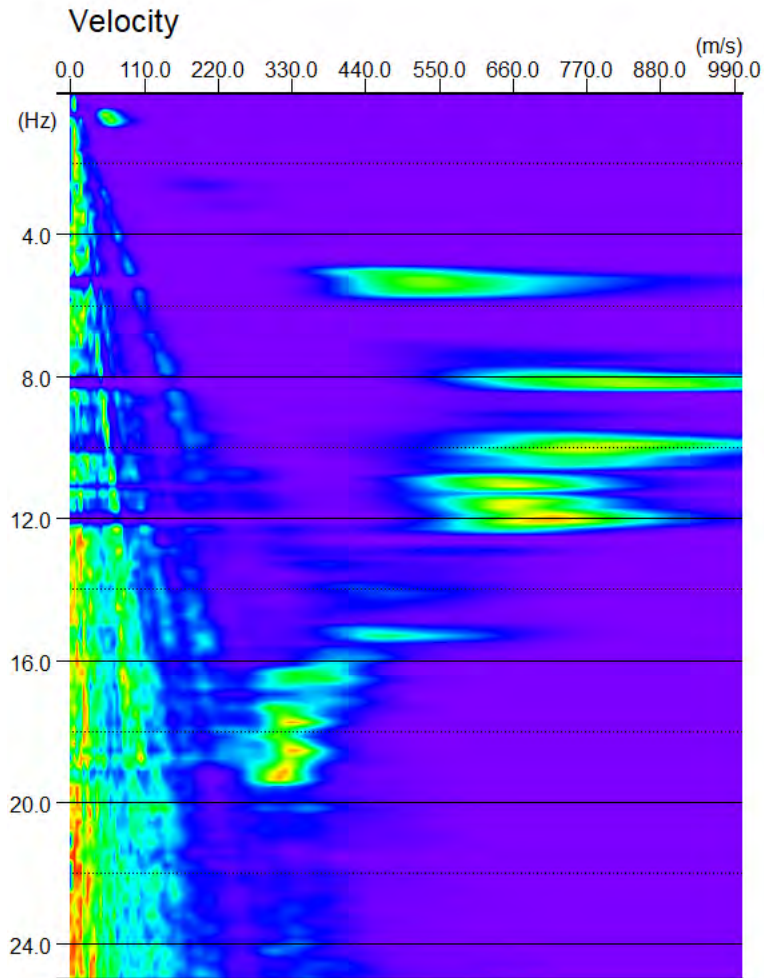


Figur 48 Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec3 för triangel i Tornhill. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln.

1.1.3.4 Rec4

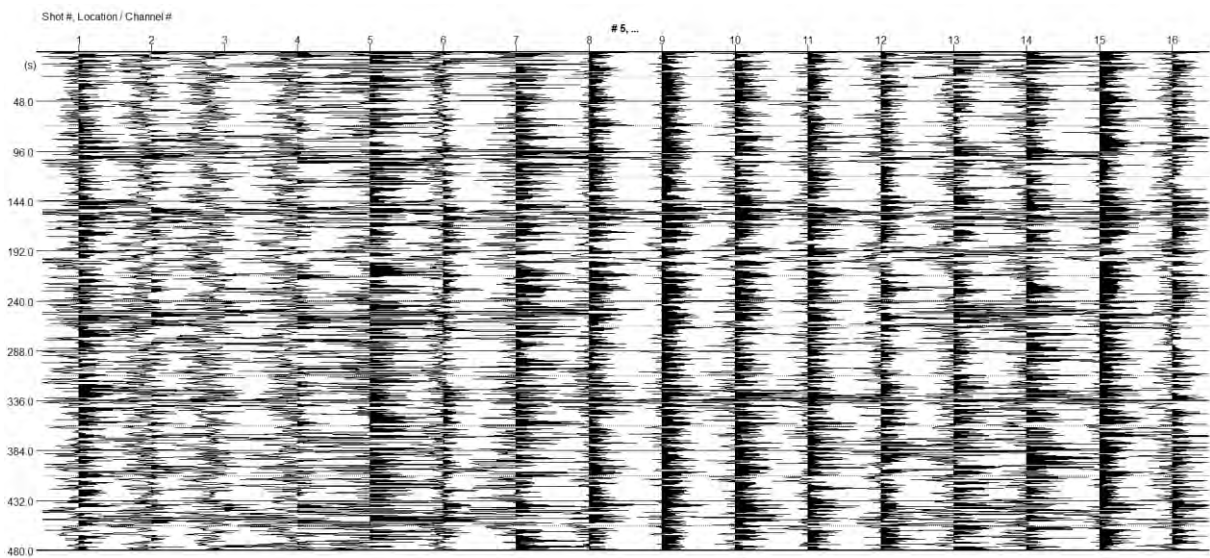


Figur 49 Seismiska data för Rec4 för triangel i Tornhill. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

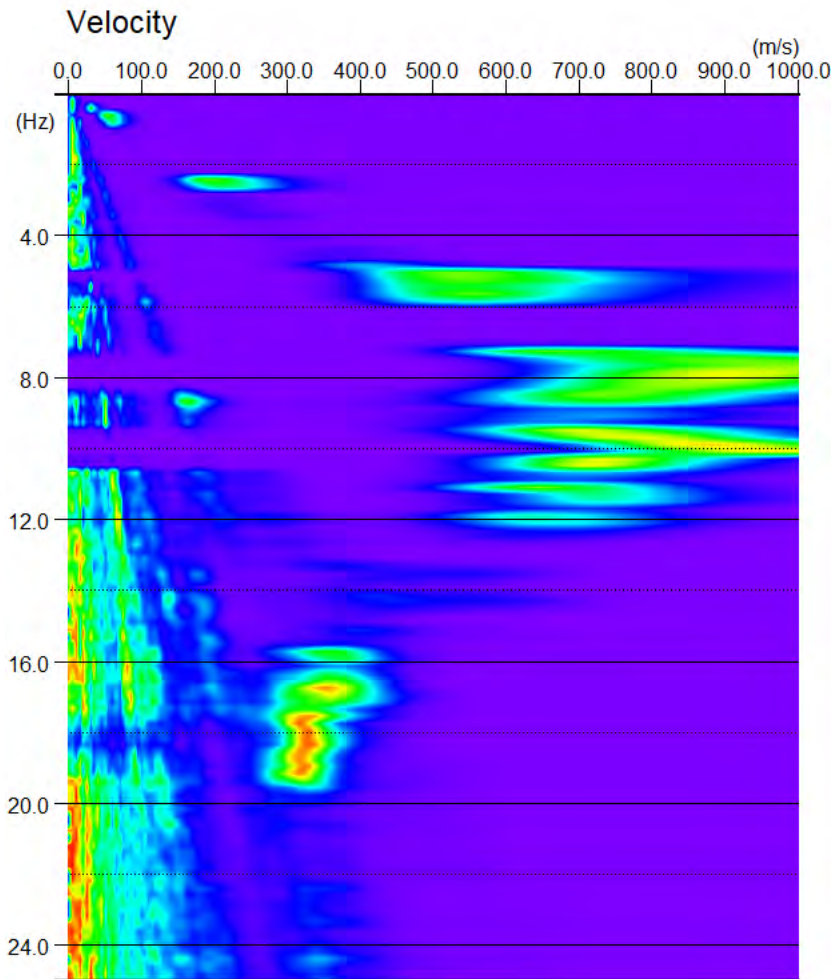


Figur 50 Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec4 för triangel i Tornhill. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln.

1.1.3.5 Rec5

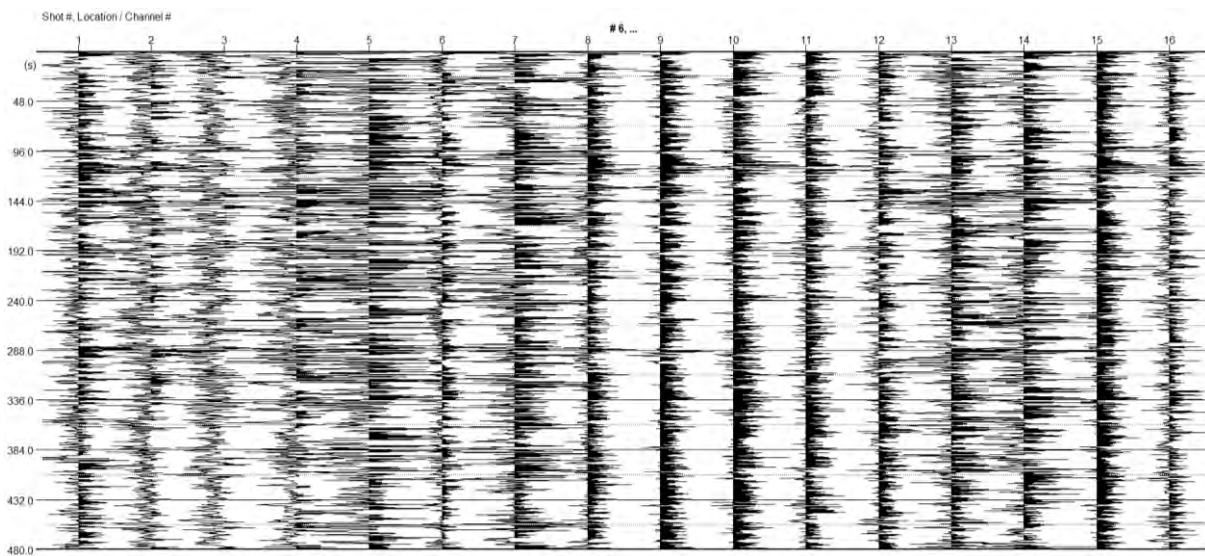


Figur 51 Seismiska data för Rec5 för triangel i Tornhill. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

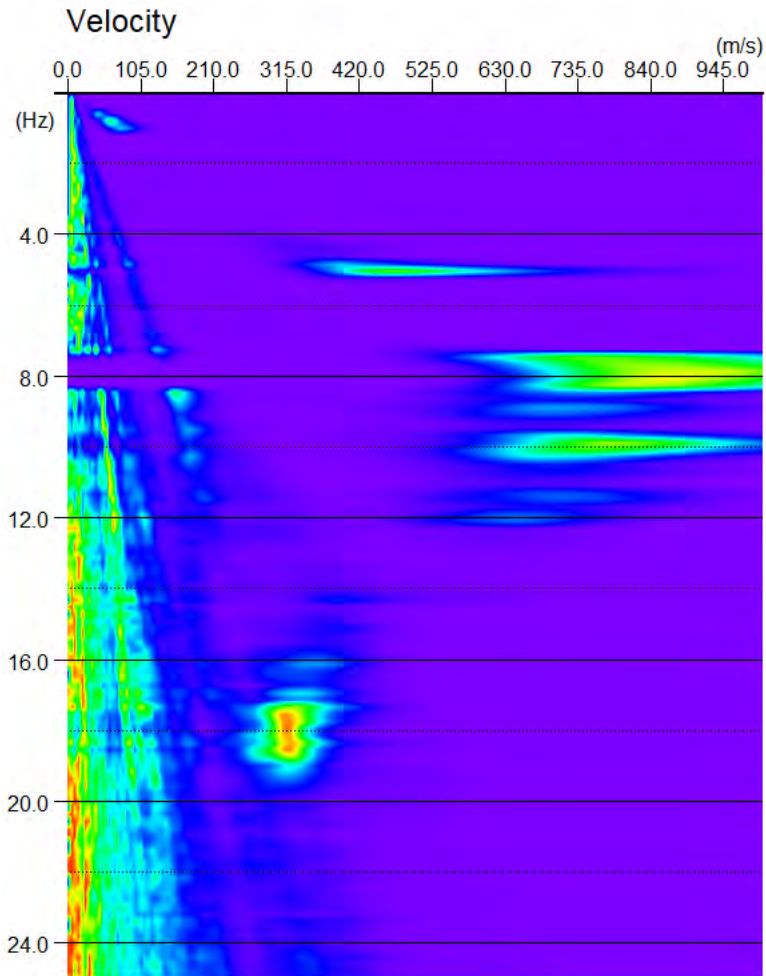


Figur 52 Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec5 för triangel i Tornhill. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln.

1.1.3.6 Rec6

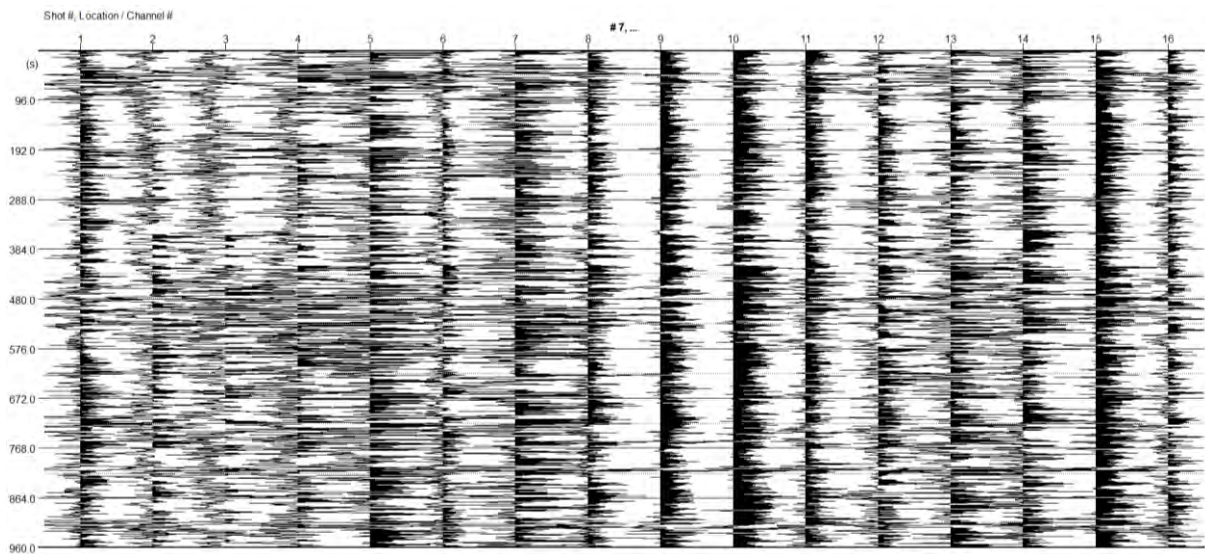


Figur 53 Seismiska data för Rec6 för triangel i Tornhill. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

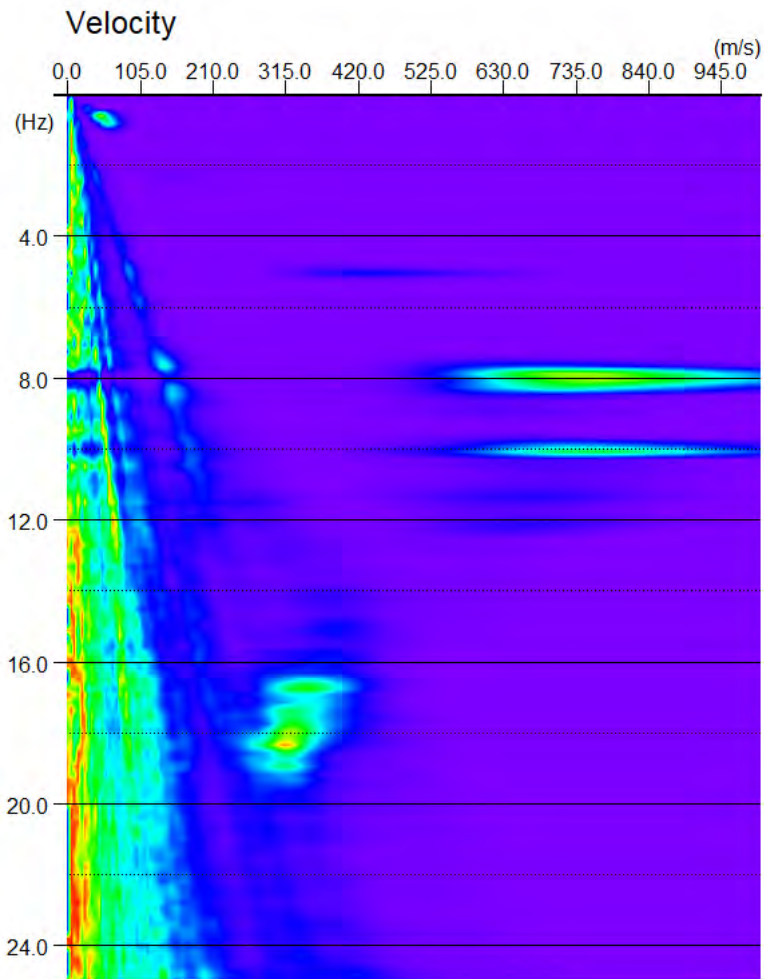


Figur 54 Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec6 för triangel i Tornhill. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln.

1.1.3.7 Rec7

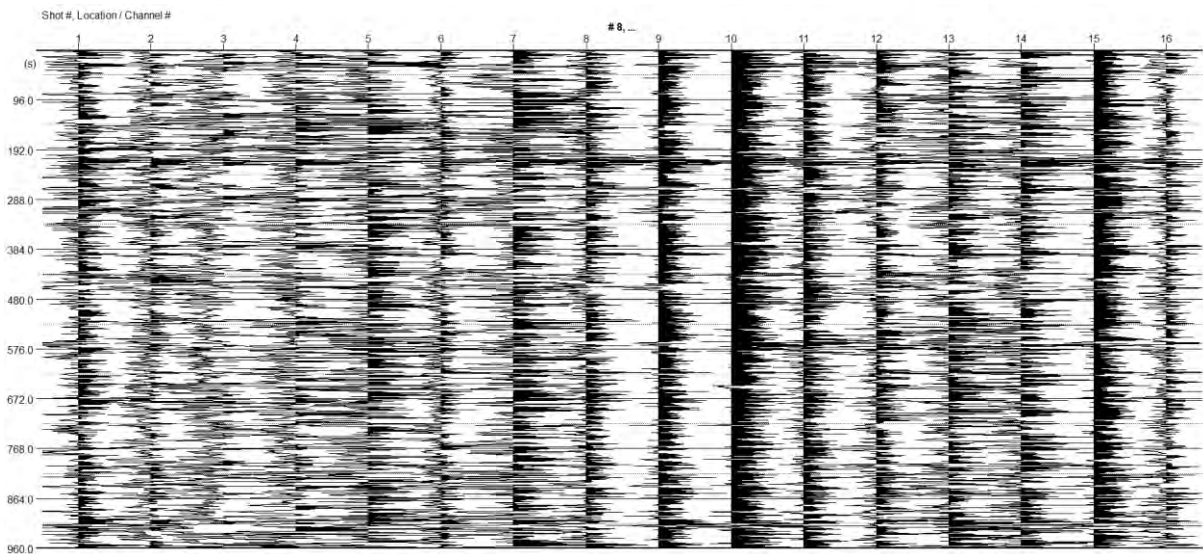


Figur 55 Seismiska data för Rec7 för triangel i Tornhill. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

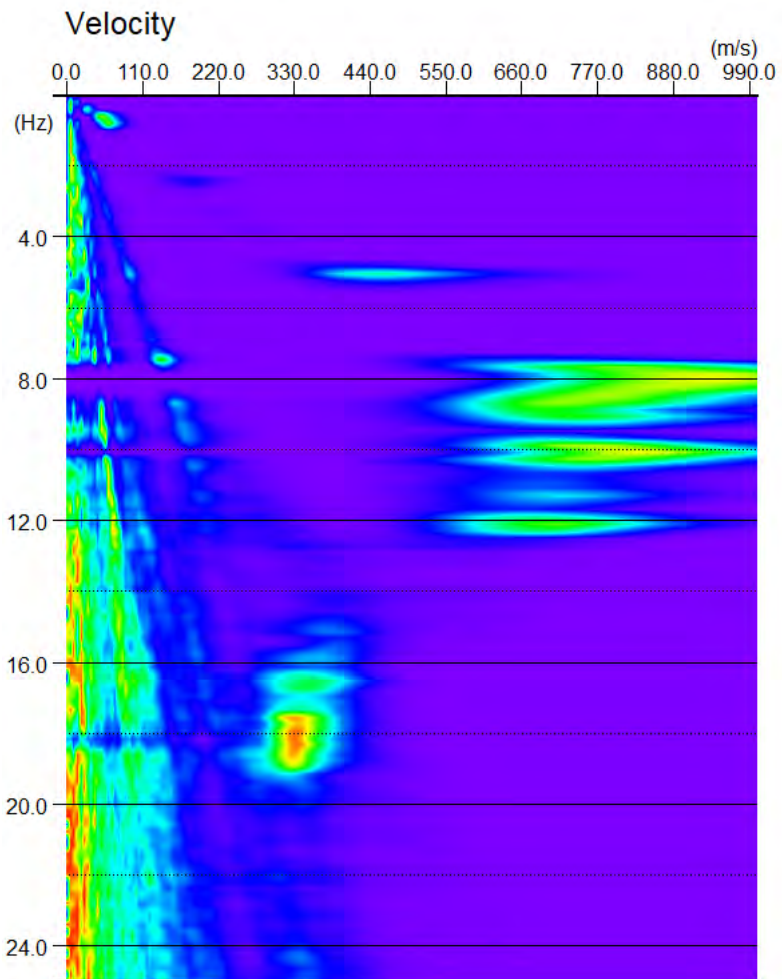


Figur 56 Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec7 för triangel i Tornhill. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln.

1.1.3.8 Rec8

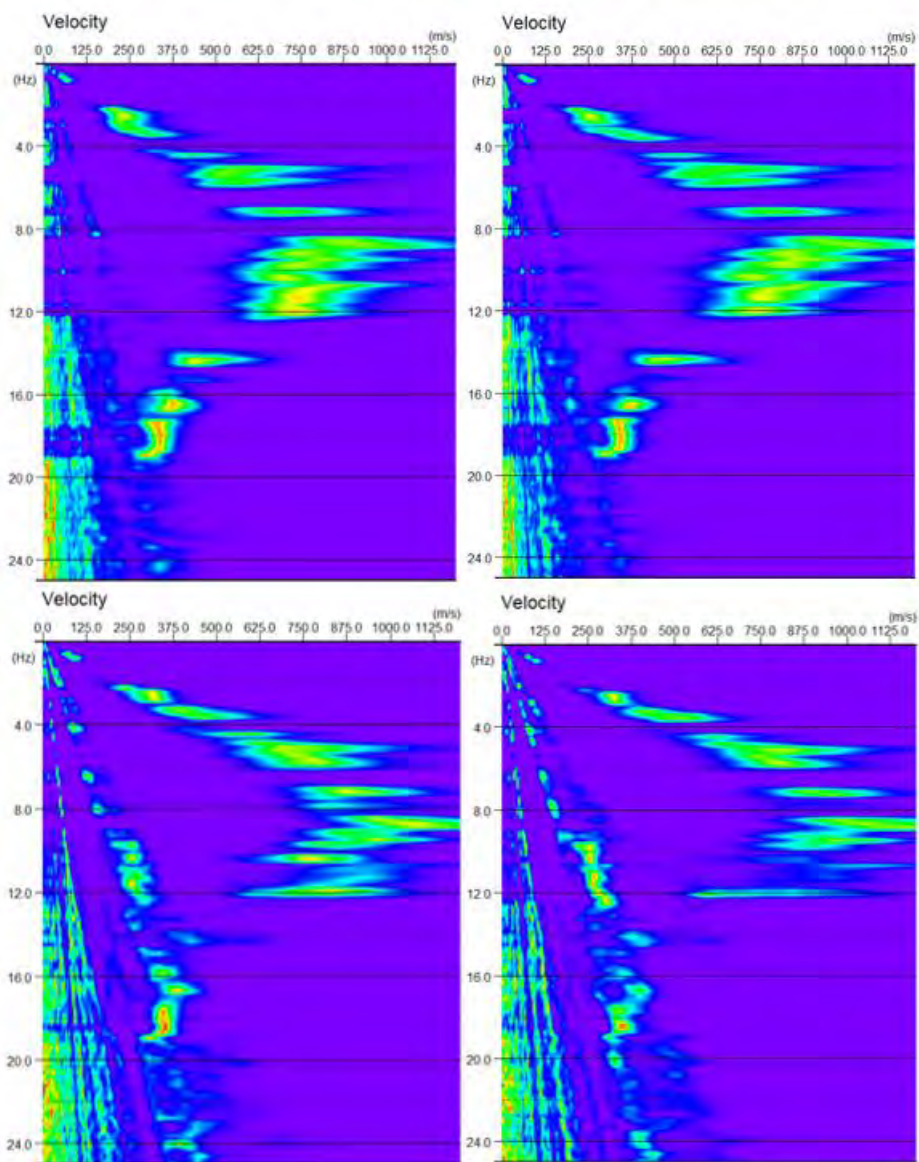


Figur 57 Seismiska data för Rec8 för triangel i Tornhill. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.



Figur 58 Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec8 för triangel i Tornhill. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln.

1.1.3.9 Rec1: Array tolerance



Figur 59 Frekvens-fashastighetspektrum för Rec1 för triangel i Tornhill. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Array tolerance är 3% i övre vänstra hörnet, 4% i övre högra hörnet, 10% i nedre vänstra hörnet och 20% i nedre högra hörnet.

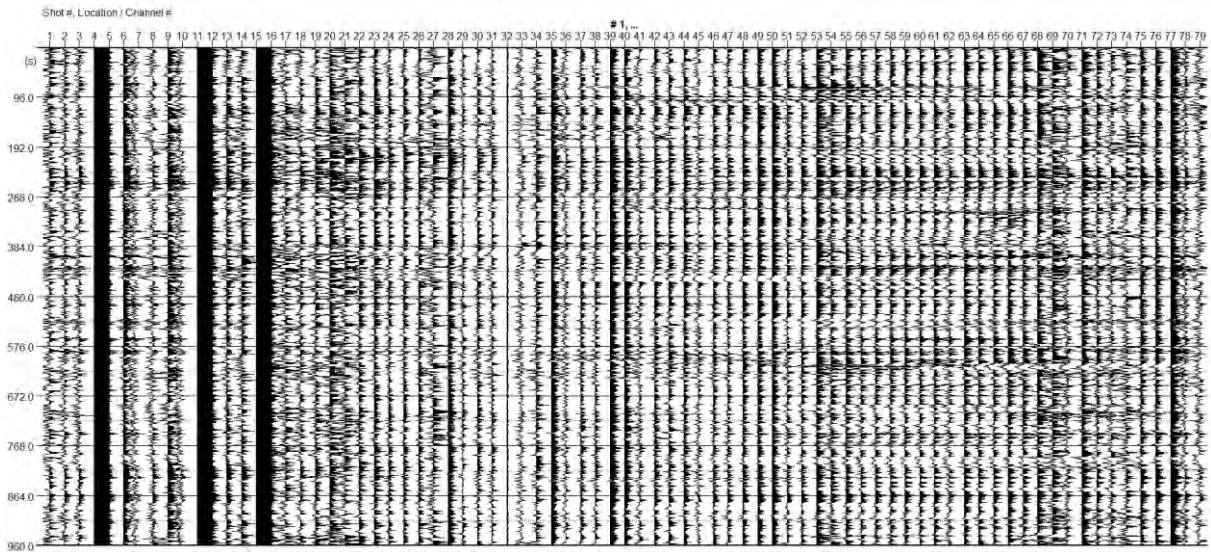
1.1.4 Grevie – Stor cirkel

Den stora cirkeln i Grevie hade en radie på 15 meter och bestod av 78 geofoner och 1 mittgeofon. Nedan ses en sammanfattning av mätningarnas resultat i Tabell 4.

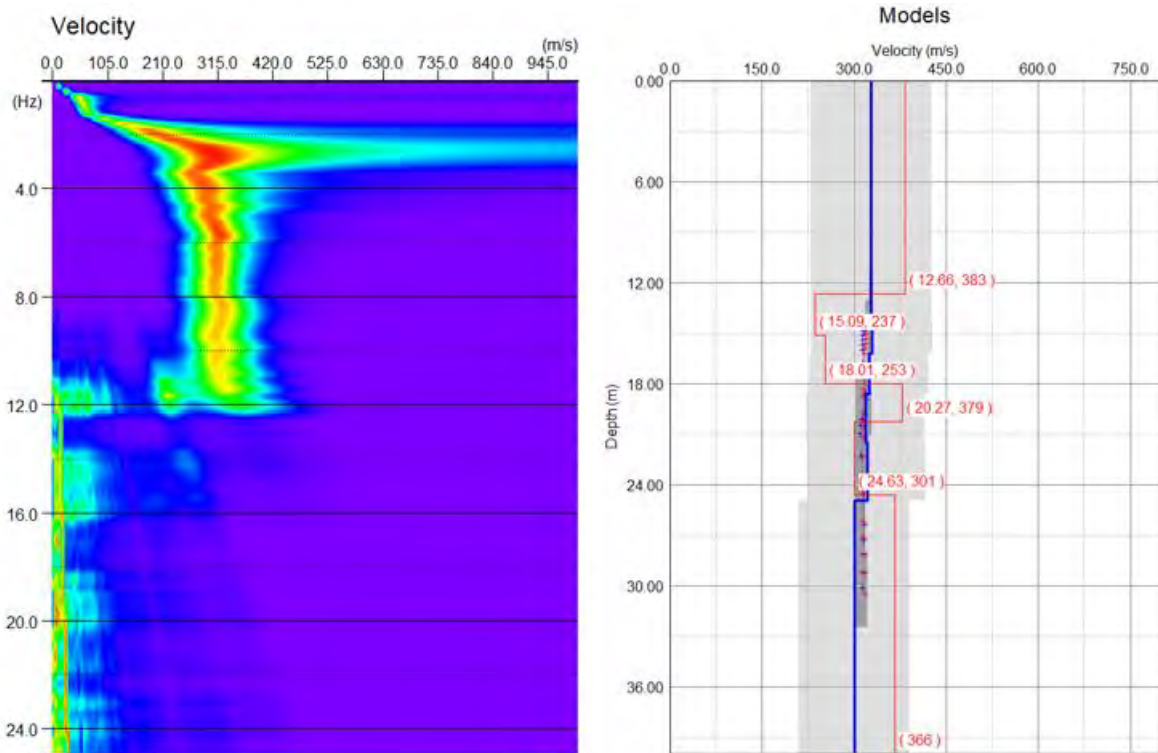
Tabell 4 Sammanfattning av mätningarnas resultat. Samplingsintervall och mättid för mätningarna beskrivs. Startdjup är det första djup som anges i siffror i den inversa modellen. I inversionsprocessen testades flera kombinationer av upplösning för hastighet och djup, och den som gav lägst misfit valdes.

MÄTNINGENS NAMN	SAMPLINGSINTERVALL [ms]	MÄTTID [ms]	STARTDJUP [m]	UPPLÖSNING HASTIGHET [m/s]	UPPLÖSNING DJUP [m]	MISFIT [%]
INDIVIDUELLA MÄTNINGAR						
Rec1	8	960 000	12,66	2,0	0,2	0,94
Rec2	8	960 000	10,82	4,0	0,2	1,62
Rec3	4	480 000	10,88	6,0	0,3	0,97
Rec4	4	480 000	11,11	4,0	0,1	1,30

1.1.4.1 Recl



Figur 60 Seismiska data för Recl för stor cirkel i Greve. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

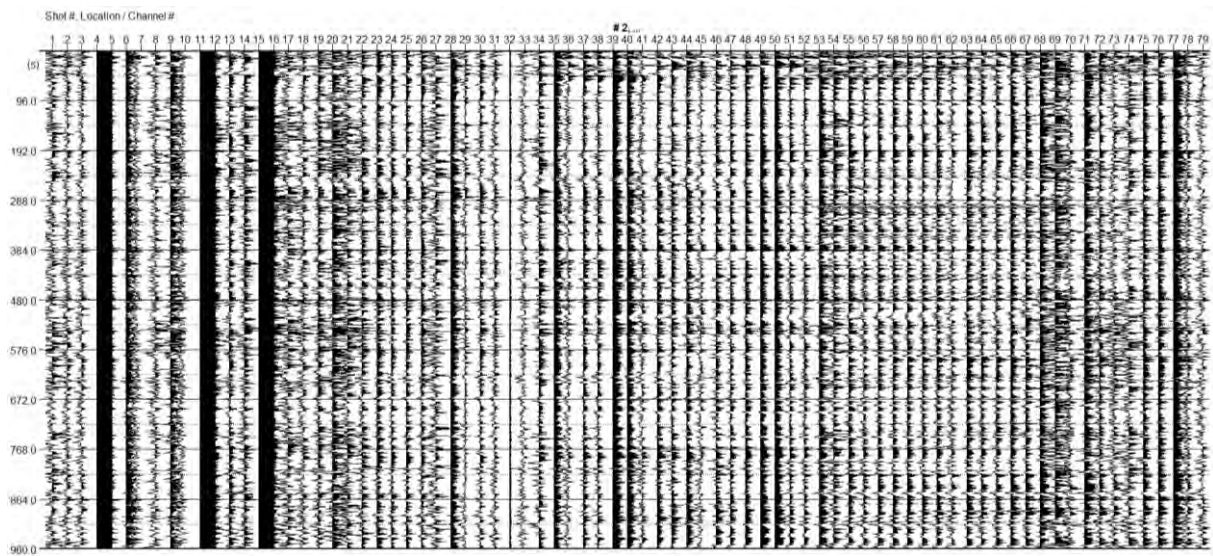


Figur 61 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Recl för stor cirkel i Greve. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

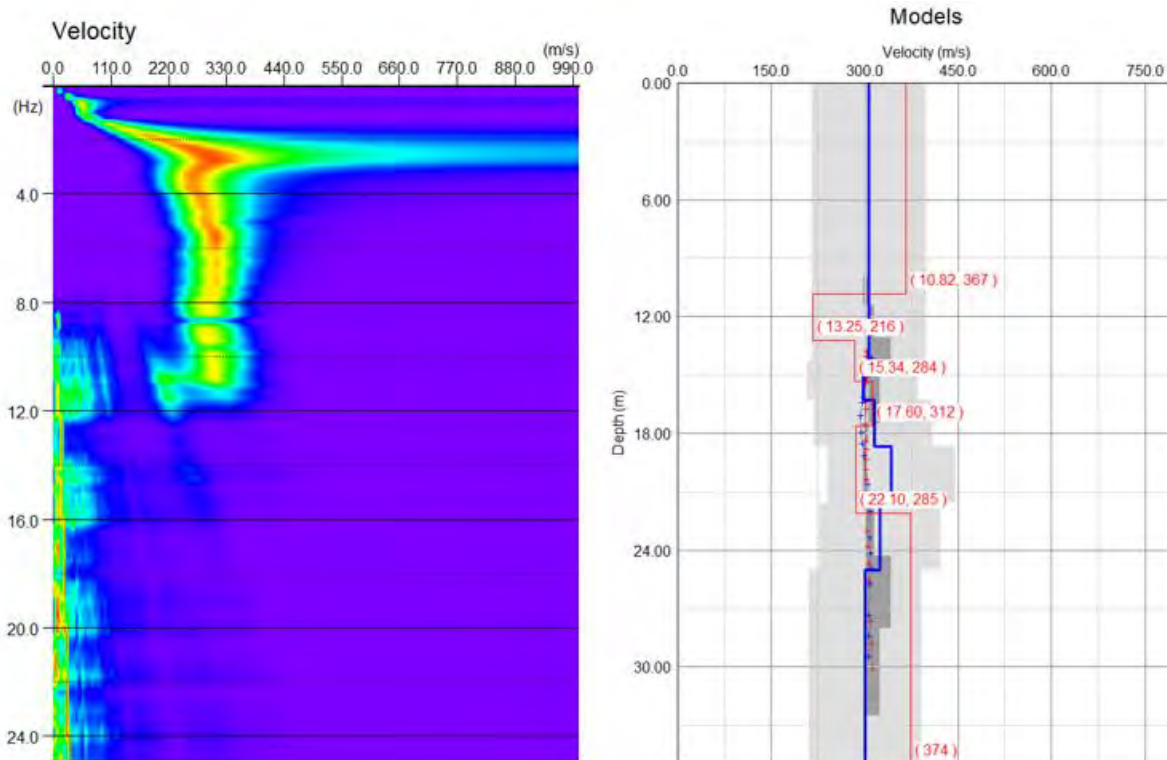
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	v	ρ (t/m ³)
1	14,22	328	30	0,35	2
2	16,22	329	30	0,35	2
3	18,62	324	30	0,35	2
4	21,5	319	30	0,35	2
5	24,96	321	30	0,35	2
6	40	300	30	0,35	2

Figur 62 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec1 för stor cirkel i Grevie.

1.1.4.2 Rec2



Figur 63 Seismiska data för Rec2 för stor cirkel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

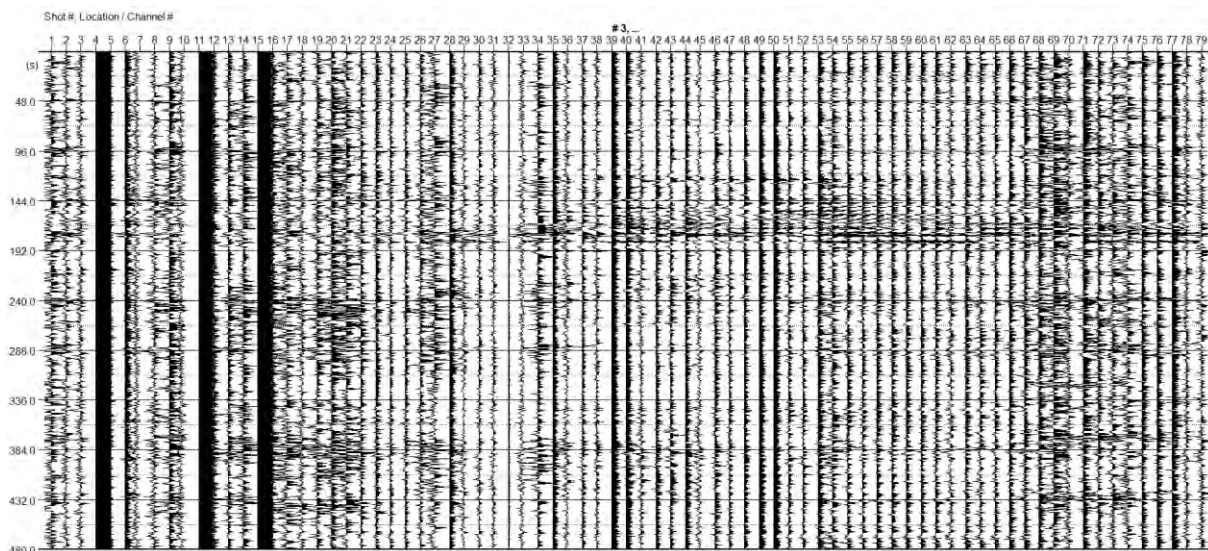


Figur 64 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec2 för stor cirkel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

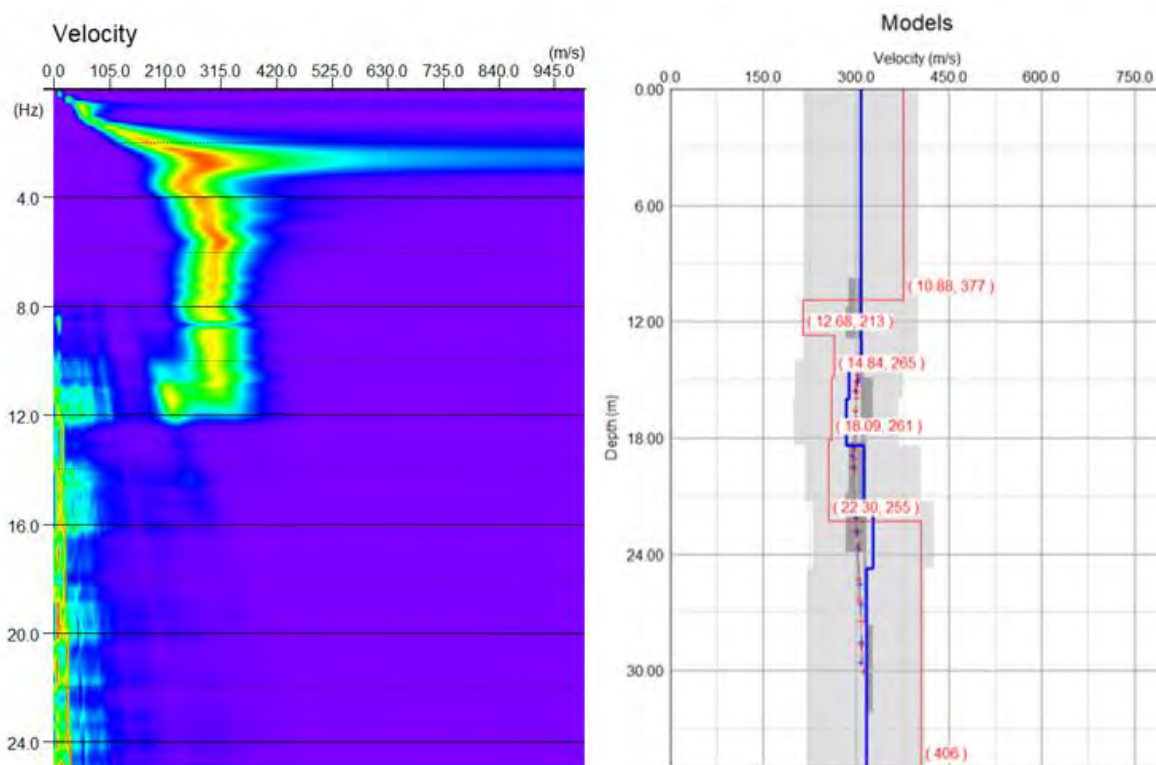
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	ν	ρ (t/m ³)
1	14,29	307	30	0,35	2
2	16,29	297	30	0,35	2
3	18,69	315	30	0,35	2
4	21,57	343	30	0,35	2
5	25,03	324	30	0,35	2
6	35	301	30	0,35	2

Figur 65 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec2 för stor cirkel i Grevie.

1.1.4.3 Rec3



Figur 66 Seismiska data för Rec3 för stor cirkel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

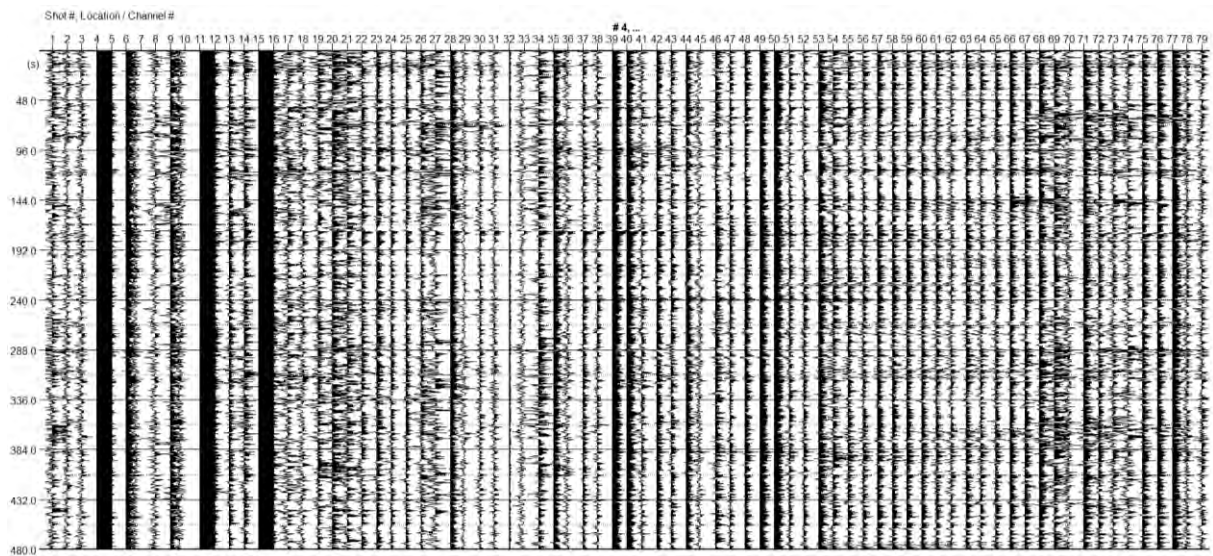


Figur 67 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec3 för stor cirkel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

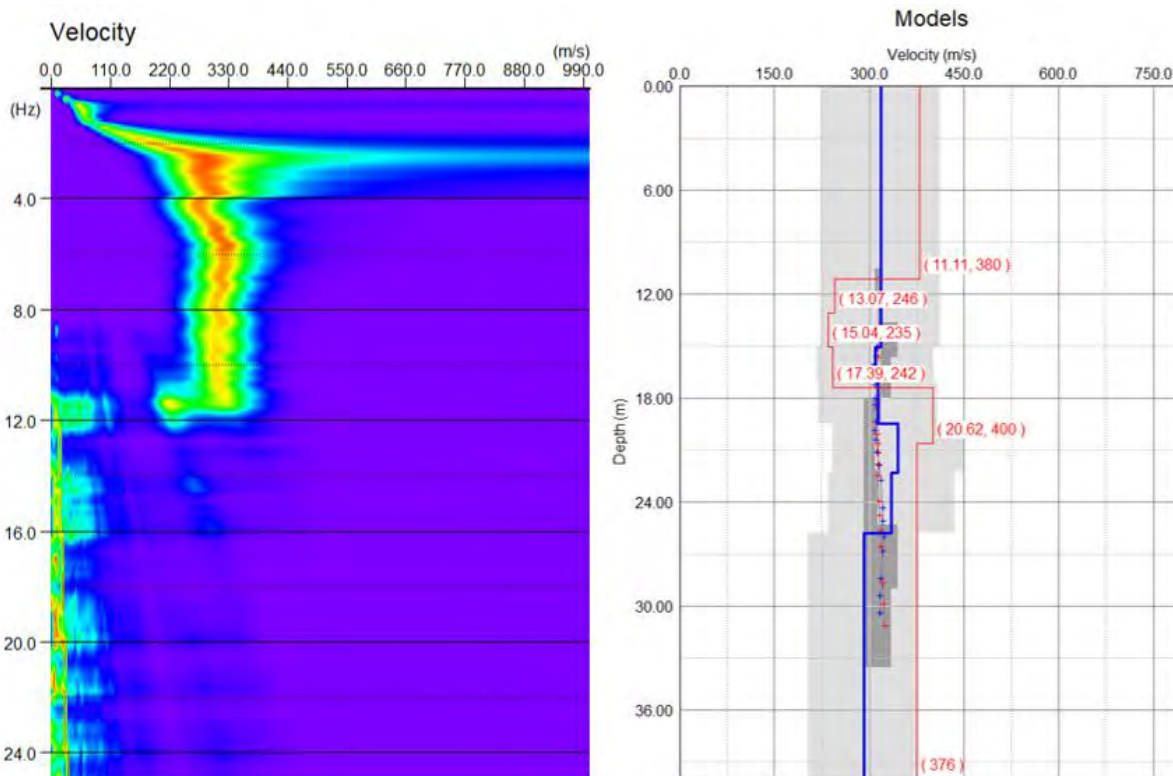
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	v	ρ (t/m ³)
1	14	308	30	0,35	2
2	16	289	30	0,35	2
3	18,4	284	30	0,35	2
4	21,28	312	30	0,35	2
5	24,74	328	30	0,35	2
6	35	317	30	0,35	2

Figur 68 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec3 för stor cirkel i Grevie.

1.1.4.4 Rec4



Figur 69 Seismiska data för Rec4 för stor cirkel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.



Figur 70 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec4 för stor cirkel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	v	ρ (t/m ³)
1	15,06	318	30	0,35	2
2	17,06	309	30	0,35	2
3	19,46	314	30	0,35	2
4	22,34	346	30	0,35	2
5	25,8	335	30	0,35	2
6	40	291	30	0,35	2

Figur 71 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec4 för stor cirkel i Grevie.

1.1.5 Grevie – Liten cirkel

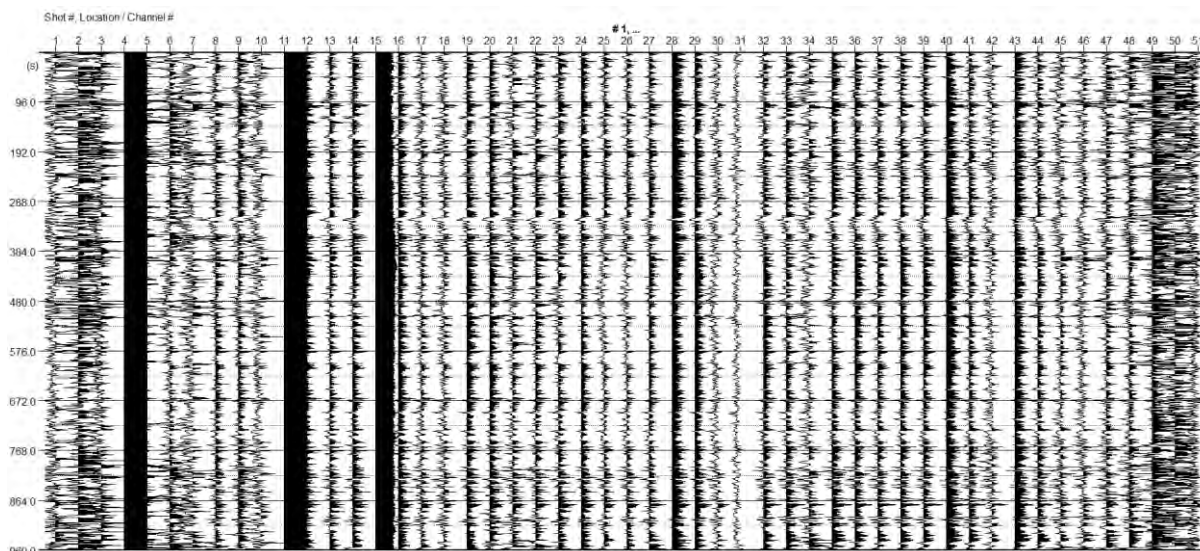
För cirkeluppställning med liten cirkel i Grevie användes 50 geofoner i en cirkel med radie på 5 meter, samt en geofon placerad i mitten av cirkeln. I Tabell 5 finns en sammanfattning av mätningarna.

Tabell 5 Sammanfattning av mätningarnas resultat. Samplingsintervall och mättid för mätningarna beskrivs. Startdjup är det första djup som anges i siffror i den inversa modellen. I inversionsprocessen testades flera kombinationer av upplösning för hastighet och djup, och den som gav lägst misfit valdes.

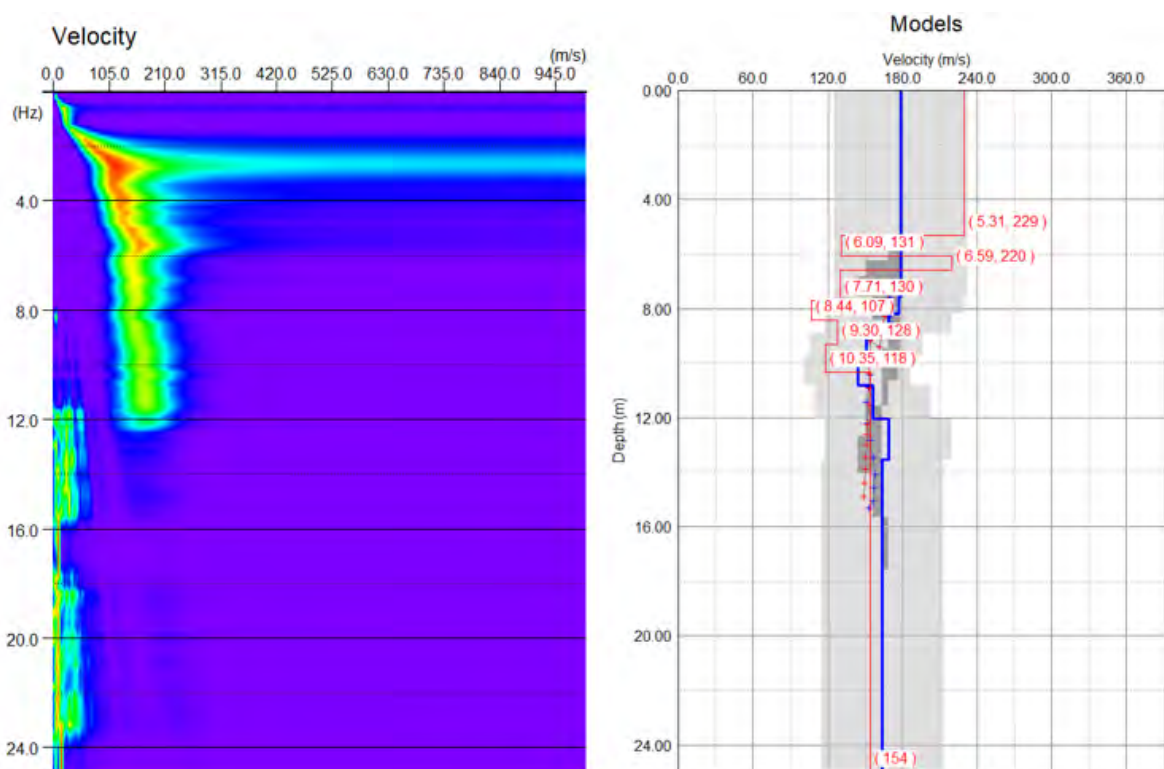
MÄTNINGENS NAMN	SAMPLINGSINTERVALL [ms]	MÄTTID [ms]	STARTDJUP [m]	UPPLÖSNING HASTIGHET [m/s]	UPPLÖSNING DJUP [m]	MISFIT [%]
INDIVIDUELLA MÄTNINGAR						

Rec1	8	960 000	5,31	6,0	0,3	2,01
Rec2	8	960 000	4,96	2,0	0,1	2,88
Rec3	4	480 000	7,16	6,0	0,3	4,21
Rec4	4	480 000	5,32	6,0	0,3	2,41

1.1.5.1 Rec1



Figur 72 Seismiska data för Rec1 för liten cirkel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

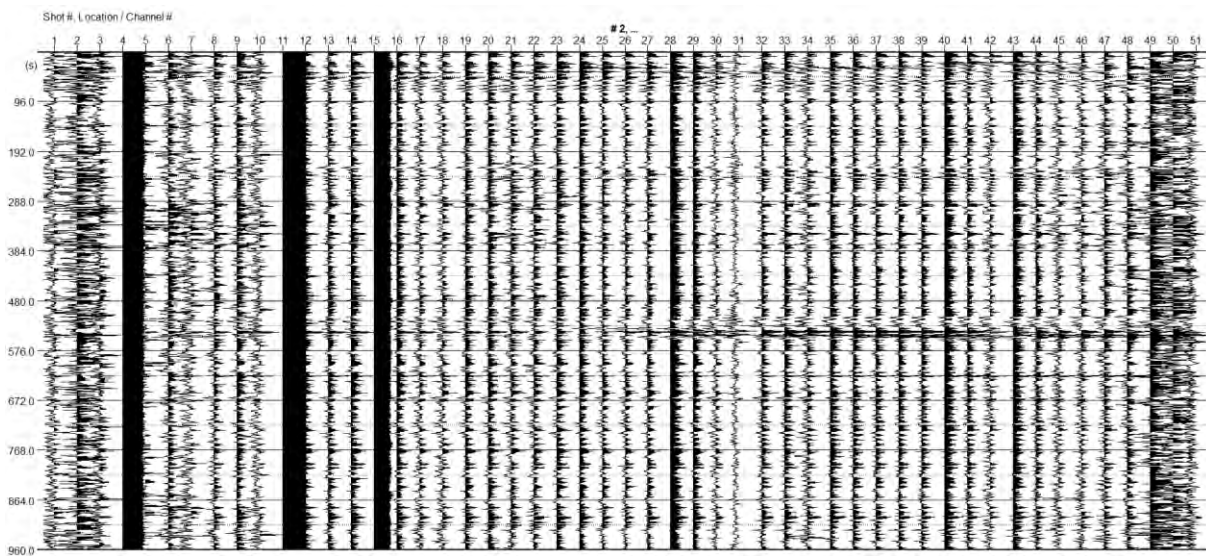


Figur 73 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec1 för liten cirkel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

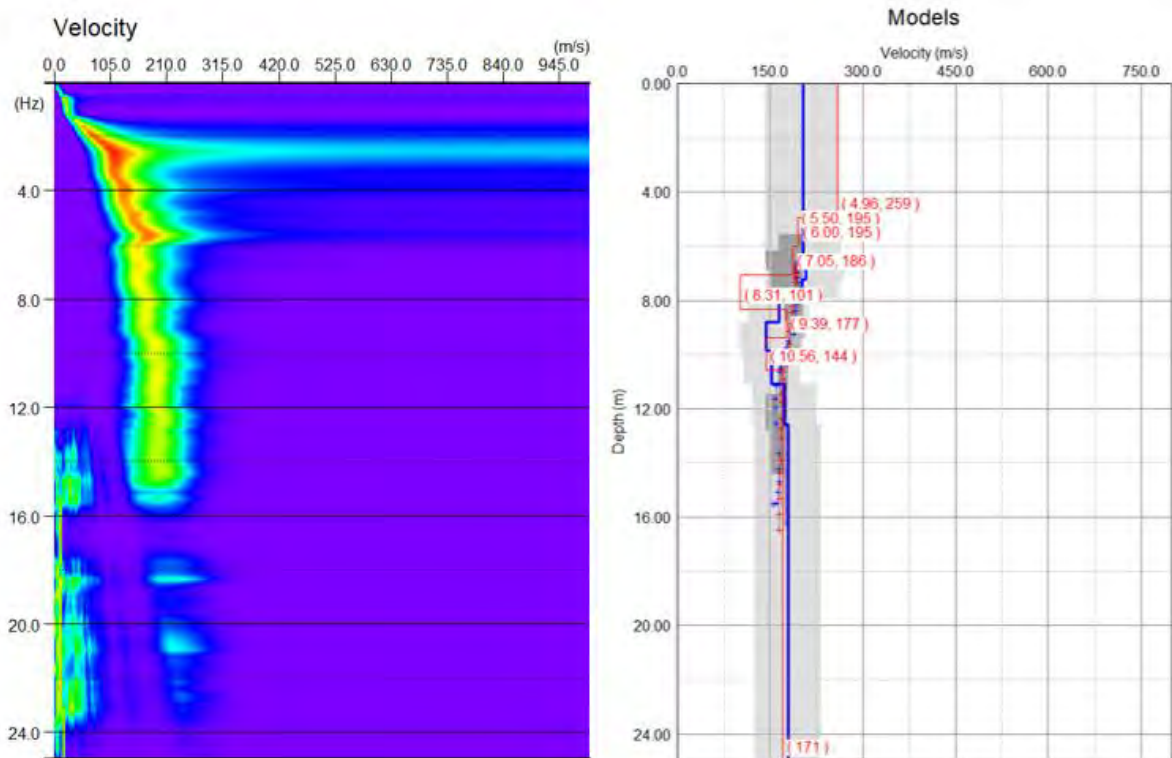
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	v	ρ (t/m ³)
1	7,58	179	30	0,35	2
2	8,18	177	30	0,35	2
3	8,9	169	30	0,35	2
4	9,76	151	30	0,35	2
5	10,8	144	30	0,35	2
6	12,04	156	30	0,35	2
7	13,53	169	30	0,35	2
8	25	164	30	0,35	2

Figur 74 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec1 för liten cirkel i Grevie.

1.1.5.2 Rec2



Figur 75 Seismiska data för Rec2 för liten cirkel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

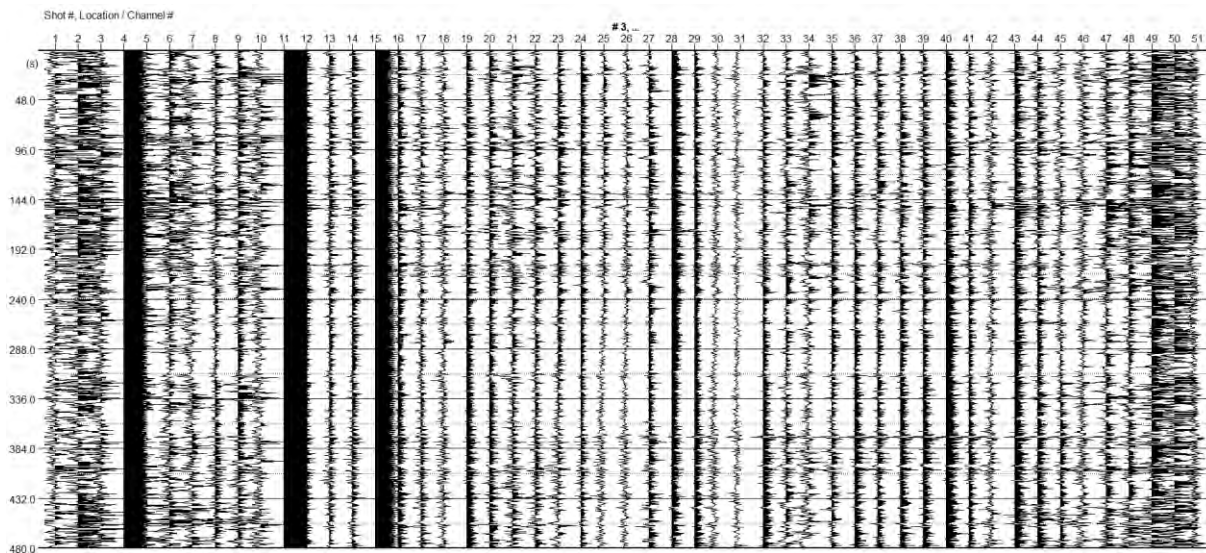


Figur 76 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec2 för liten cirkel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

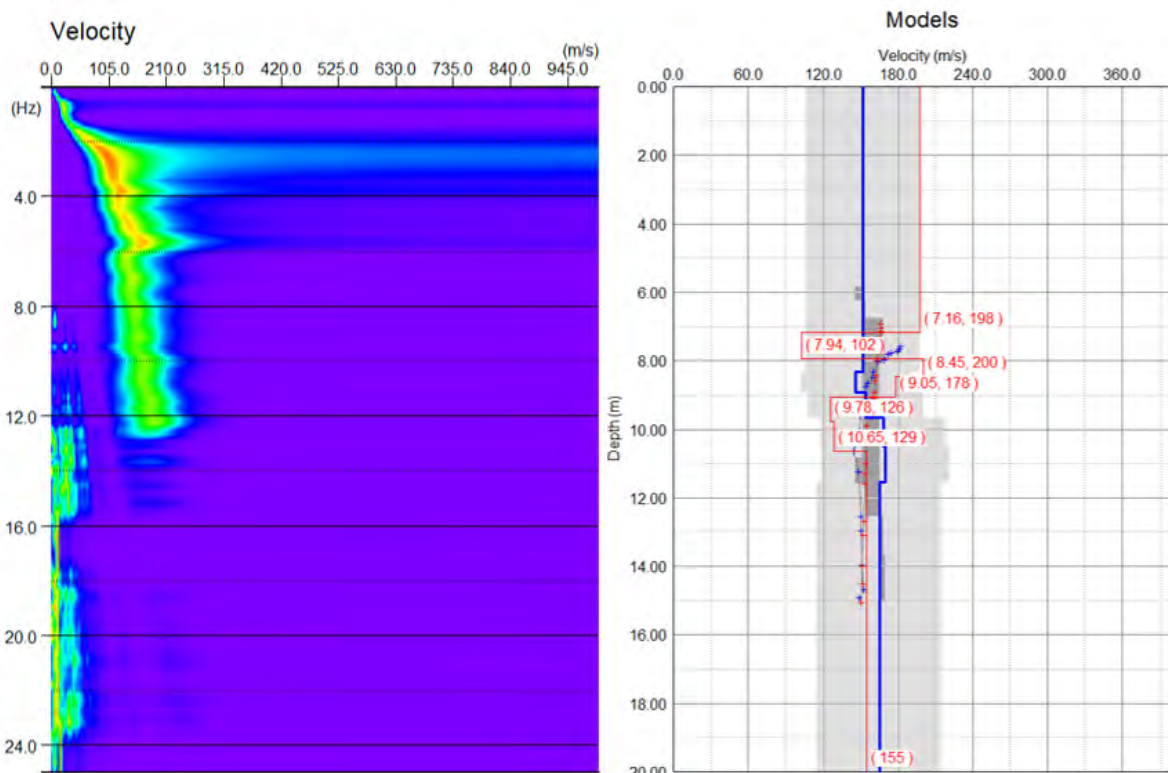
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	v	ρ (t/m ³)
1	6,63	204	30	0,35	2
2	7,23	208	30	0,35	2
3	7,95	202	30	0,35	2
4	8,81	165	30	0,35	2
5	9,85	143	30	0,35	2
6	11,09	153	30	0,35	2
7	12,58	173	30	0,35	2
8	25	180	30	0,35	2

Figur 77 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec2 för liten cirkel i Grevie.

1.1.5.3 Rec3



Figur 78 Seismiska data för Rec3 för liten cirkel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

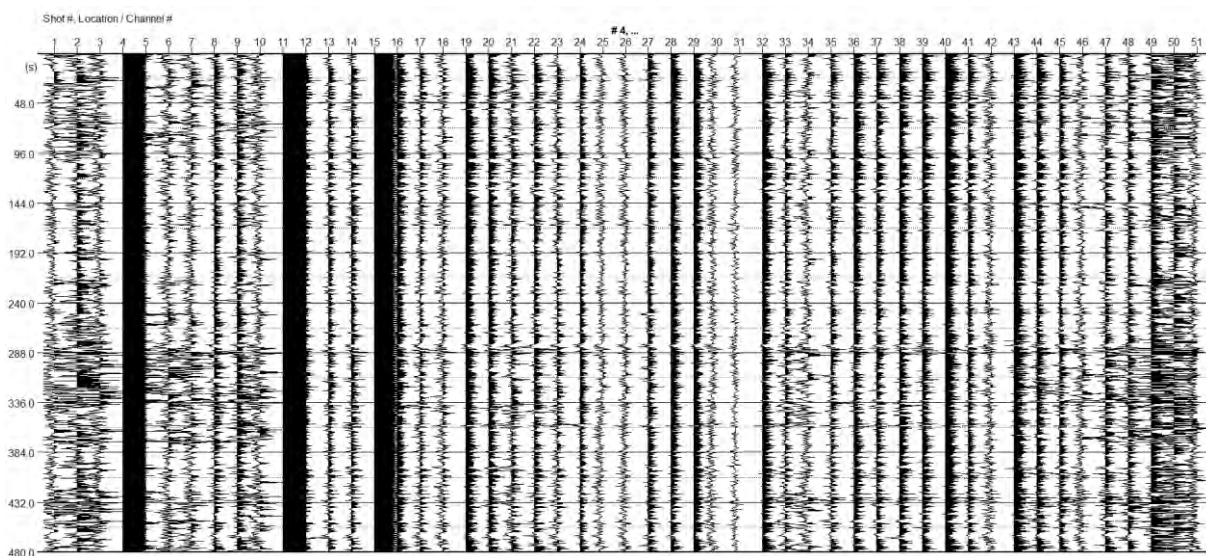


Figur 79 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec3 för liten cirkel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

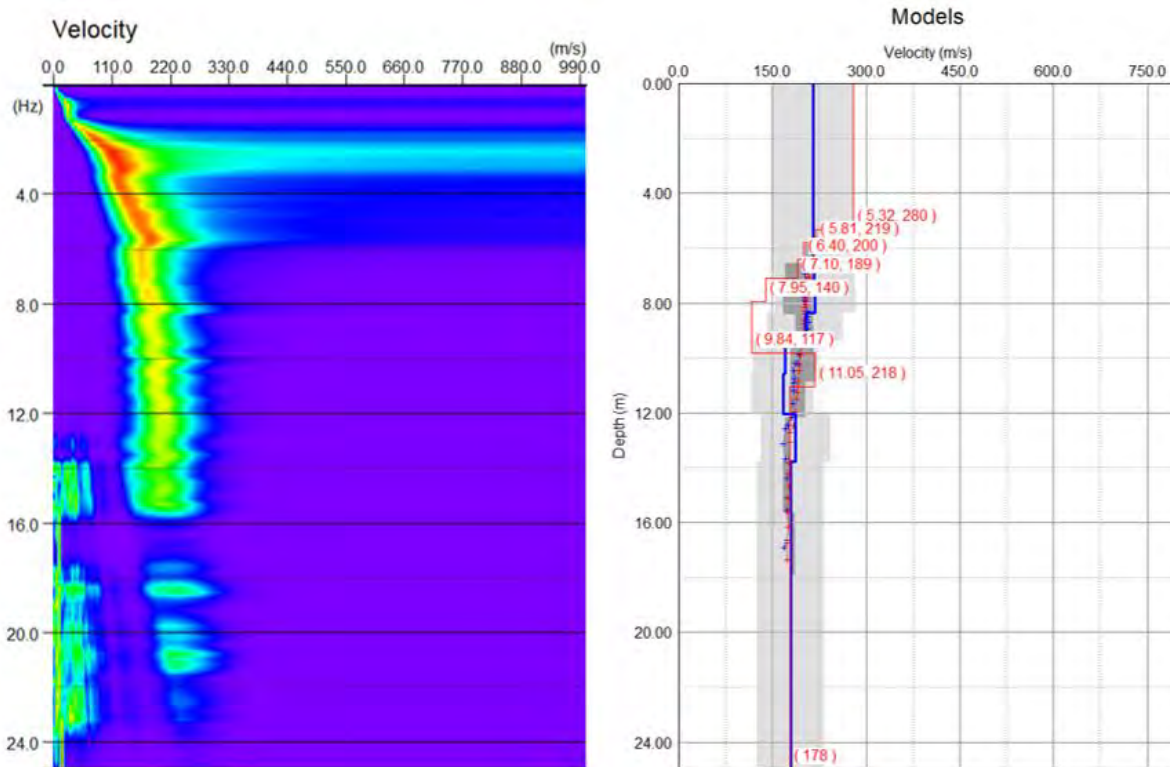
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	ν	ρ (t/m ³)
1	8,33	152	30	0,35	2
2	8,93	146	30	0,35	2
3	9,65	154	30	0,35	2
4	10,51	168	30	0,35	2
5	11,55	170	30	0,35	2
6	12,79	165	30	0,35	2
7	20	165	30	0,35	2

Figur 80 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec3 för liten cirkel i Grevie.

1.1.5.4 Rec4



Figur 81 Seismiska data för Rec4 för liten cirkel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.



Figur 82 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec4 för liten cirkel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvstångshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	v	ρ (t/m ³)
1	6,82	215	30	0,35	2
2	7,52	217	30	0,35	2
3	8,36	219	30	0,35	2
4	9,37	203	30	0,35	2
5	10,58	171	30	0,35	2
6	12,03	167	30	0,35	2
7	13,77	187	30	0,35	2
8	25	180	30	0,35	2

Figur 83 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec4 för liten cirkel i Grevie.

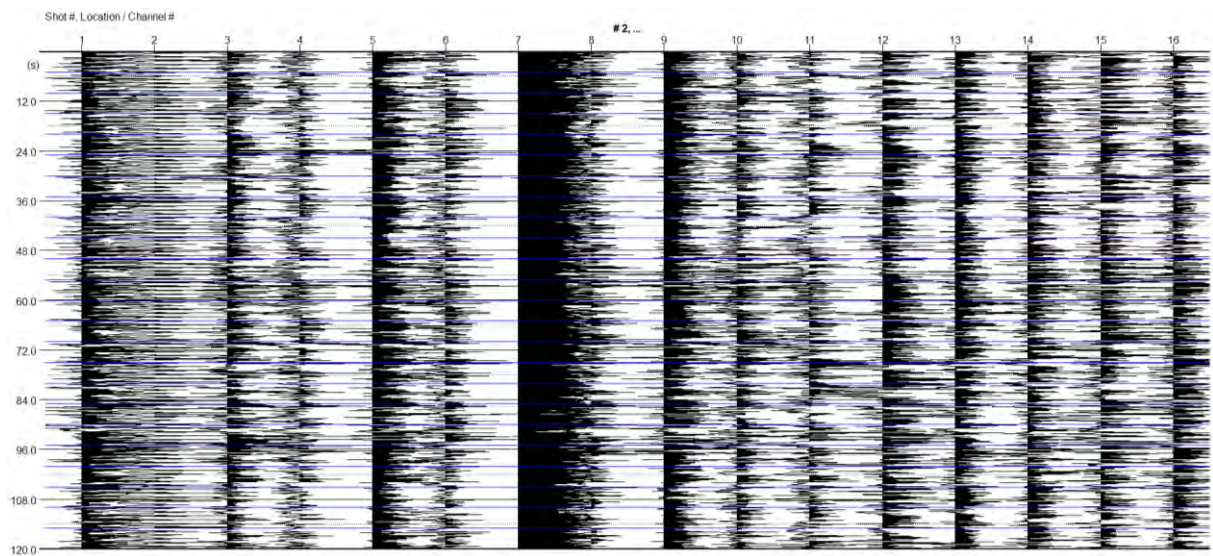
1.1.6 Grevie – Triangel

För triangeluppställningen i Grevie, med 16 geofoner och trianglar inskrivna i varandra, användes inte den första mätningen i datahanteringen då den var ett snabbt test för att se om uppställningen fungerade. Seismiska data från Rec3 gav upphov till ett frekvens-fashastighetsspektrum av för låg kvalitet för att kunna analyseras vidare. Därför saknas det en del värden för den mätningen i Tabell 6.

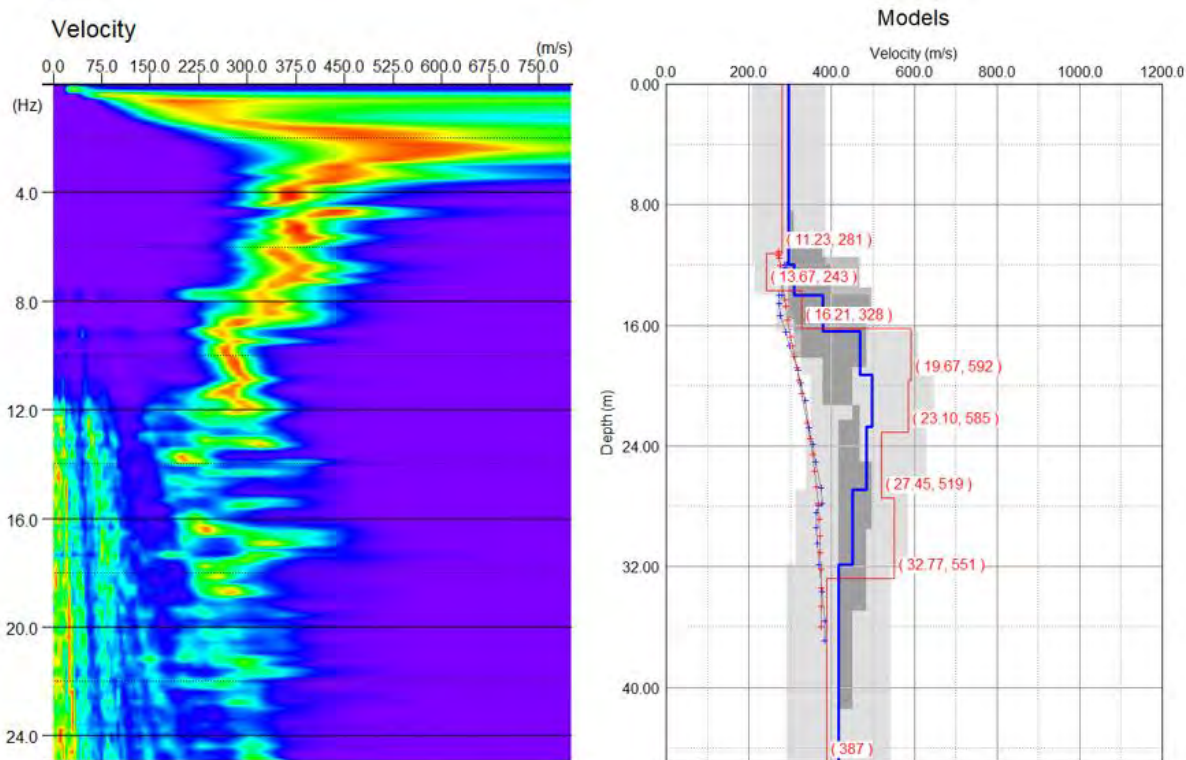
Tabell 6 Sammanfattning av mätningarnas resultat. Samplingsintervall och mättid för mätningarna beskrivs. Startdjup är det första djup som anges i siffror i den inversa modellen. I inversionsprocessen testades flera kombinationer av upplösning för hastighet och djup, och den som gav lägst misfit valdes.

MÄTNINGENS NAMN	SAMPLINGSINTERVALL [ms]	MÄTTID [ms]	STARTDJUP [m]	UPPLÖSNING HASTIGHET [m/s]	UPPLÖSNING DJUP [m]	MISFIT [%]
INDIVIDUELLA MÄTNINGAR						
Rec2	1	120 000	11,23	4,0	0,1	3,79
Rec3	1	120 000				
Rec4	2	240 000	12,90	4,0	0,1	5,89
Rec5	2	240 000	12,62	4,0	0,2	5,97
Rec6	4	480 000	11,45	2,0	0,1	1,05
Rec7	4	480 000	10,96	2,0	0,2	3,71
Rec8	8	960 000	14,98	6,0	0,3	5,22
Rec9	8	960 000	12,47	4,0	0,2	3,42

1.1.6.1 Rec2



Figur 84 Seismiska data för Rec2 för triangel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

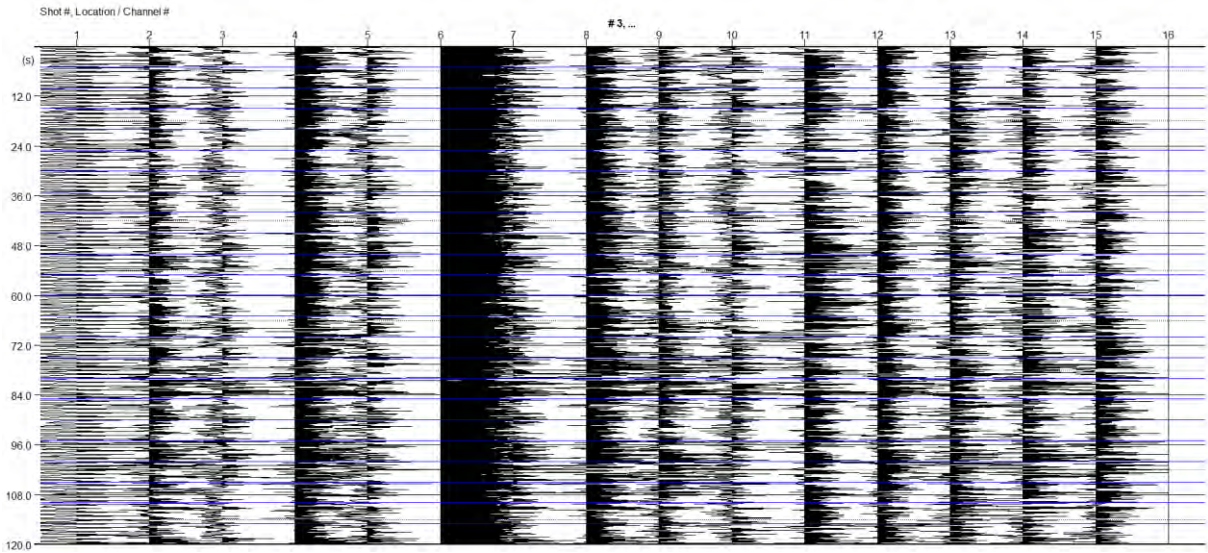


Figur 85 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec2 för triangel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

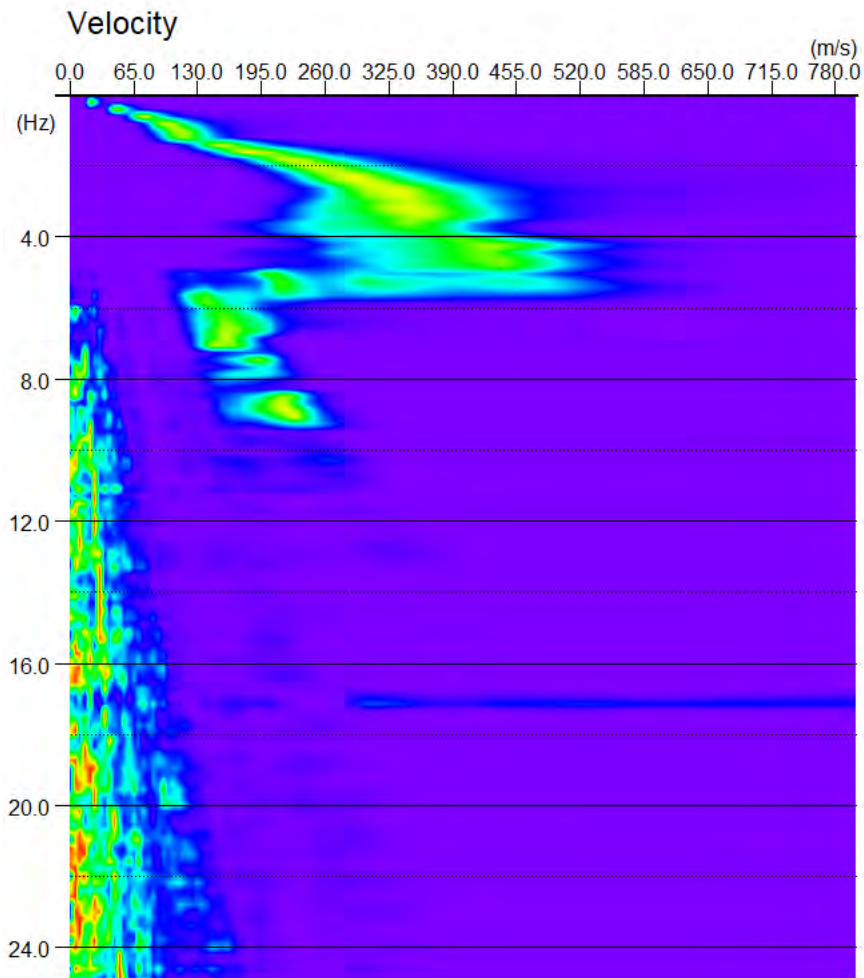
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	v	ρ (t/m ³)
1	11,99	297	30	0,35	2
2	13,99	309	30	0,35	2
3	16,39	380	30	0,35	2
4	19,27	469	30	0,35	2
5	22,73	499	30	0,35	2
6	26,88	484	30	0,35	2
7	31,86	450	30	0,35	2
8	45	417	30	0,35	2

Figur 86 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec2 för triangel i Grevie.

1.1.6.2 Rec3

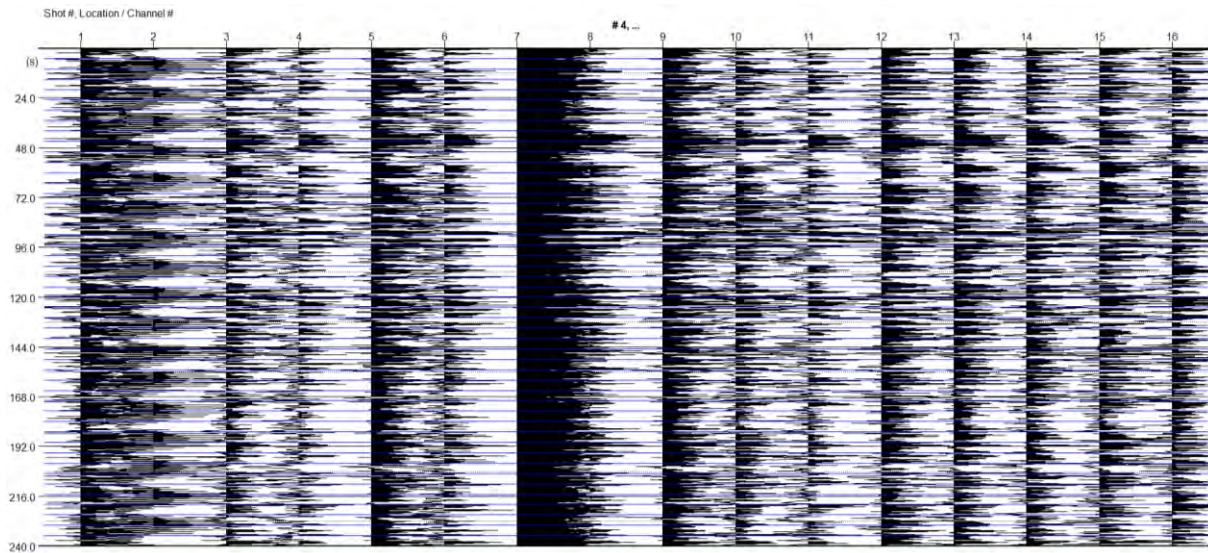


Figur 87 Seismiska data för Rec3 för triangel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

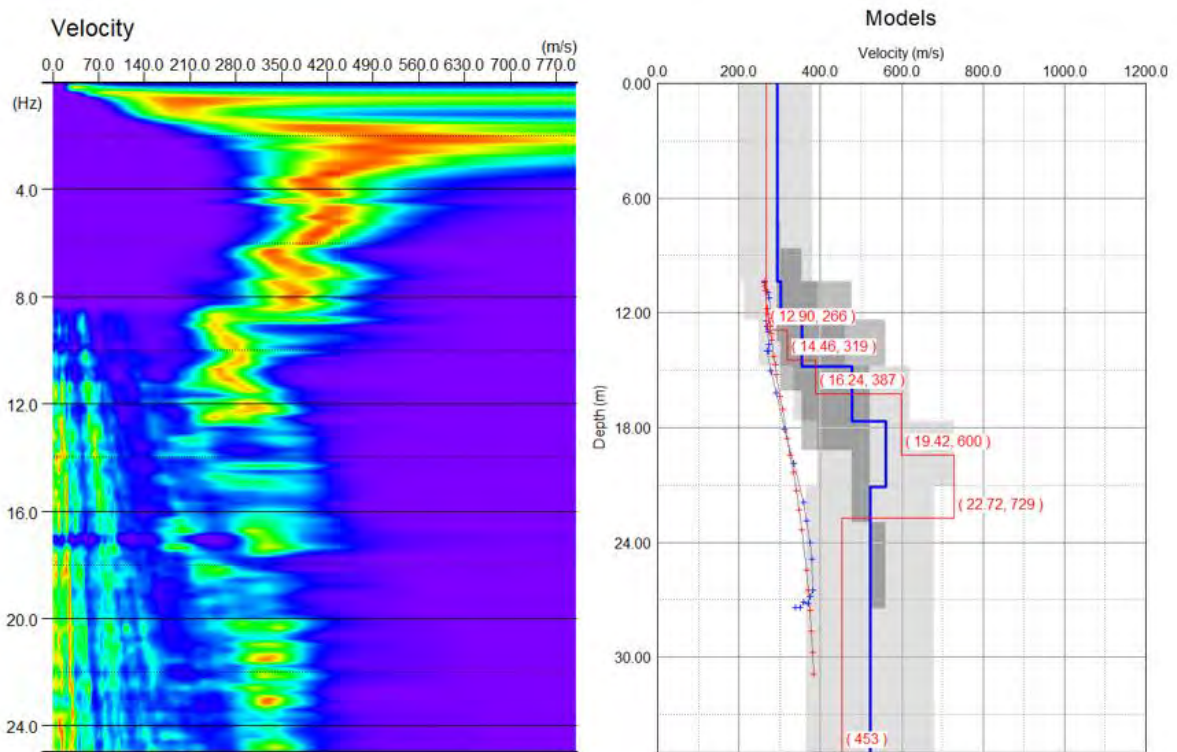


Figur 88 Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec3 för triangel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln.

1.1.6.3 Rec4



Figur 89 Seismiska data för Rec4 för triangel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

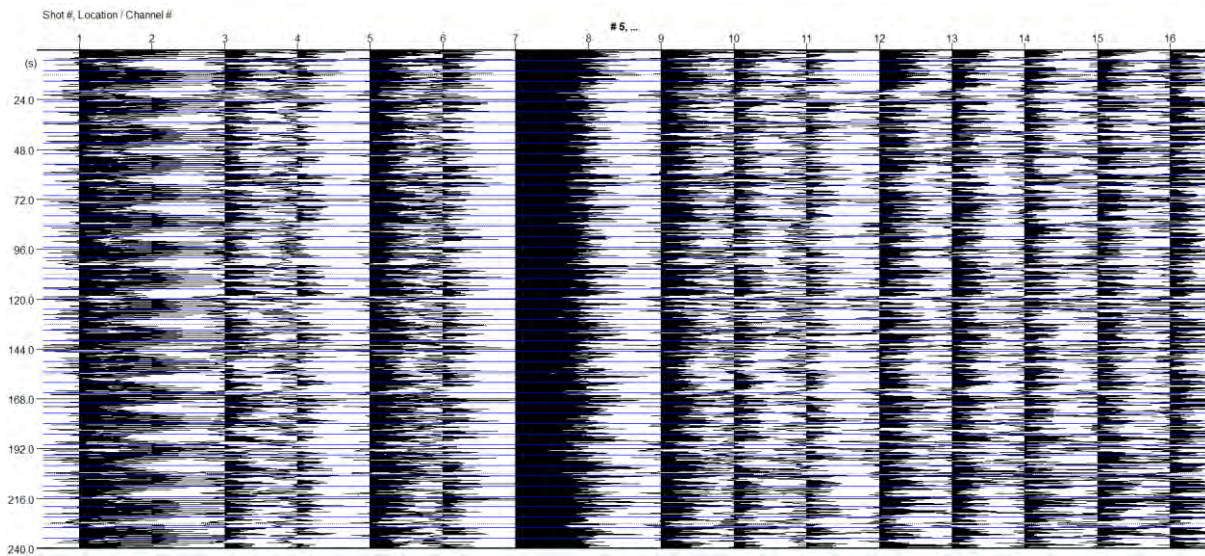


Figur 90 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec4 för triangel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

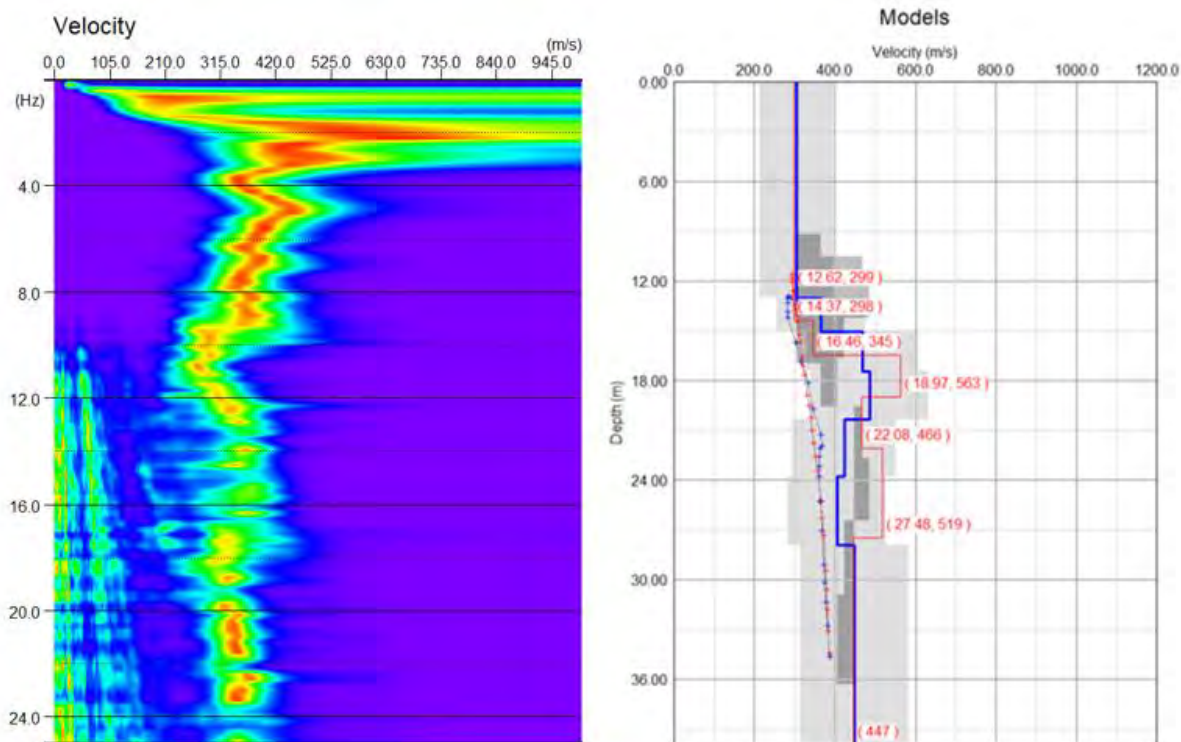
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	v	ρ (t/m ³)
1	10,38	293	30	0,35	2
2	12,38	303	30	0,35	2
3	14,78	355	30	0,35	2
4	17,66	477	30	0,35	2
5	21,12	561	30	0,35	2
6	35	523	30	0,35	2

Figur 91 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllits i manuellt. Tillhör Rec4 för triangel i Grevie.

1.1.6.4 Rec5



Figur 92 Seismiska data för Rec5 för triangel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

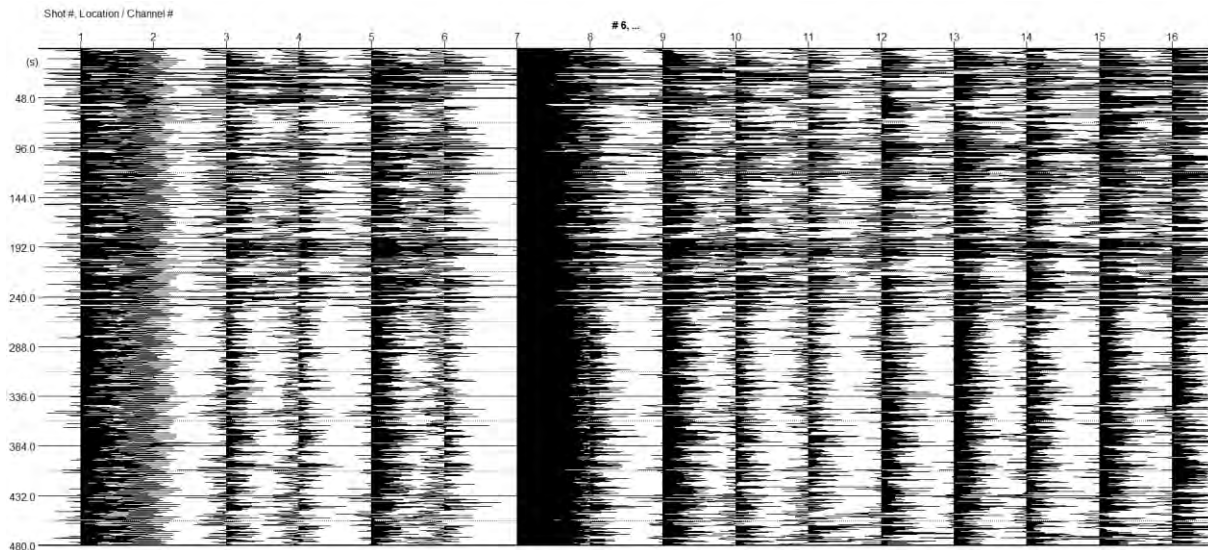


Figur 93 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec5 för triangel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuv vågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

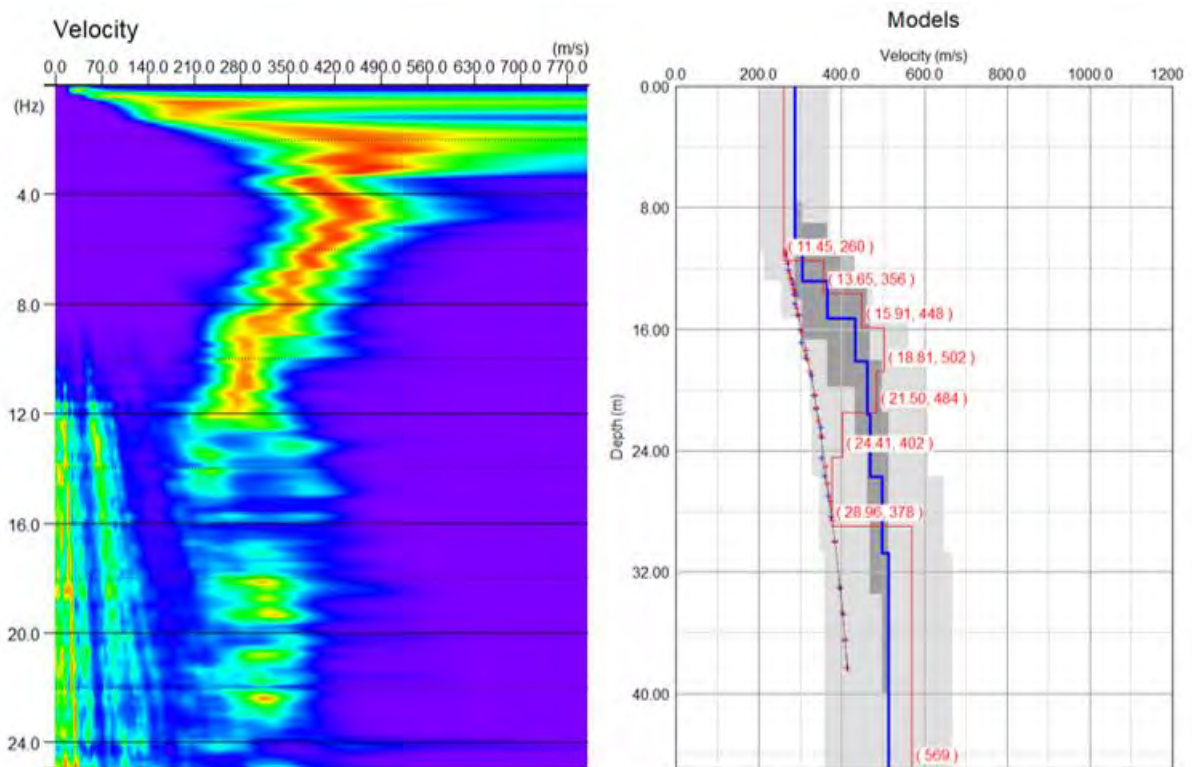
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	v	ρ (t/m ³)
1	13,06	306	30	0,35	2
2	15,06	366	30	0,35	2
3	17,46	468	30	0,35	2
4	20,34	486	30	0,35	2
5	23,8	424	30	0,35	2
6	27,95	405	30	0,35	2
7	40	448	30	0,35	2

Figur 94 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec5 för triangel i Grevie.

1.1.6.5 Rec6



Figur 95 Seismiska data för Rec6 för triangel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

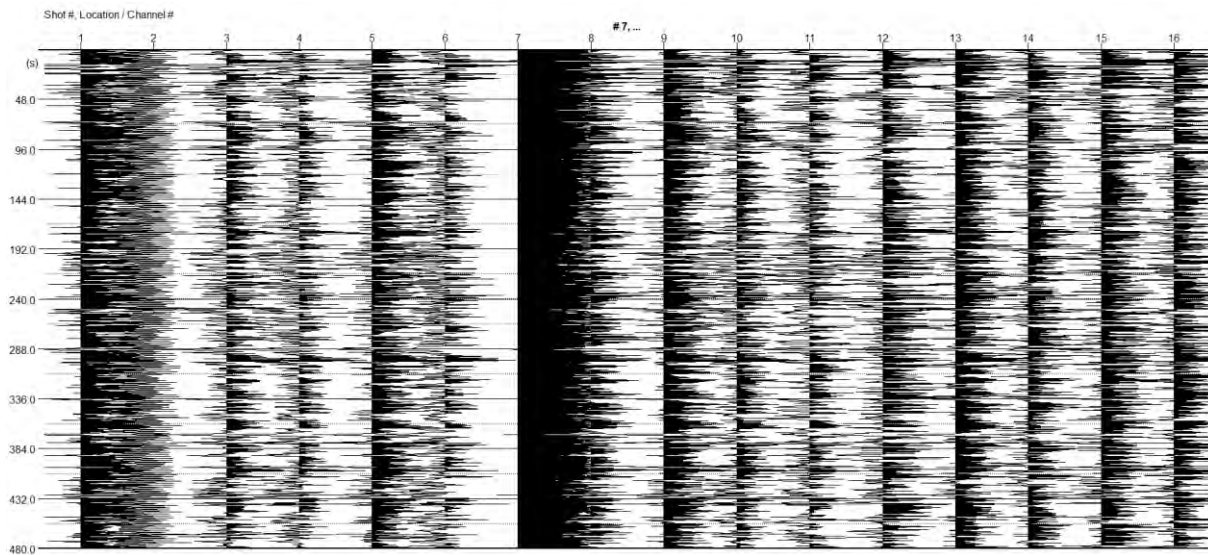


Figur 96 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec6 för triangel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

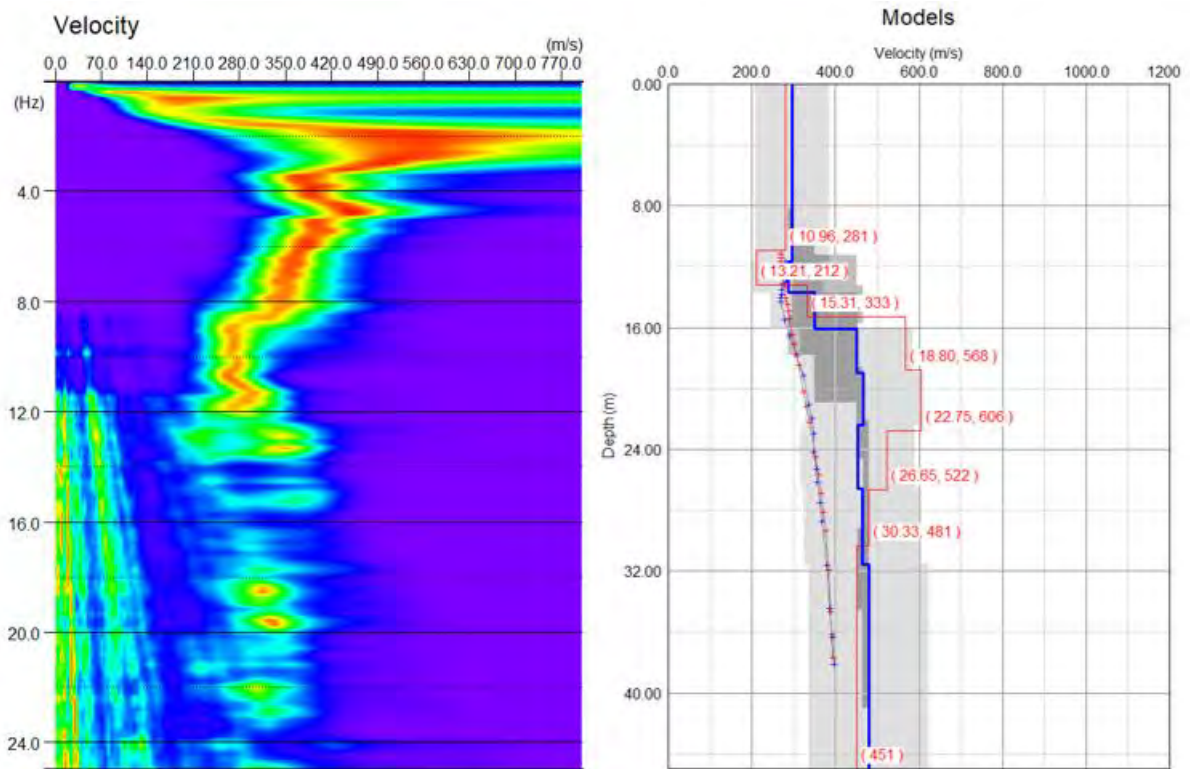
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	v	ρ (t/m ³)
1	10,86	286	30	0,35	2
2	12,86	306	30	0,35	2
3	15,26	366	30	0,35	2
4	18,14	433	30	0,35	2
5	21,6	461	30	0,35	2
6	25,75	469	30	0,35	2
7	30,73	498	30	0,35	2
8	45	514	30	0,35	2

Figur 97 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec6 för triangel i Grevie.

1.1.6.6 Rec7



Figur 98 Seismiska data för Rec7 för triangel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

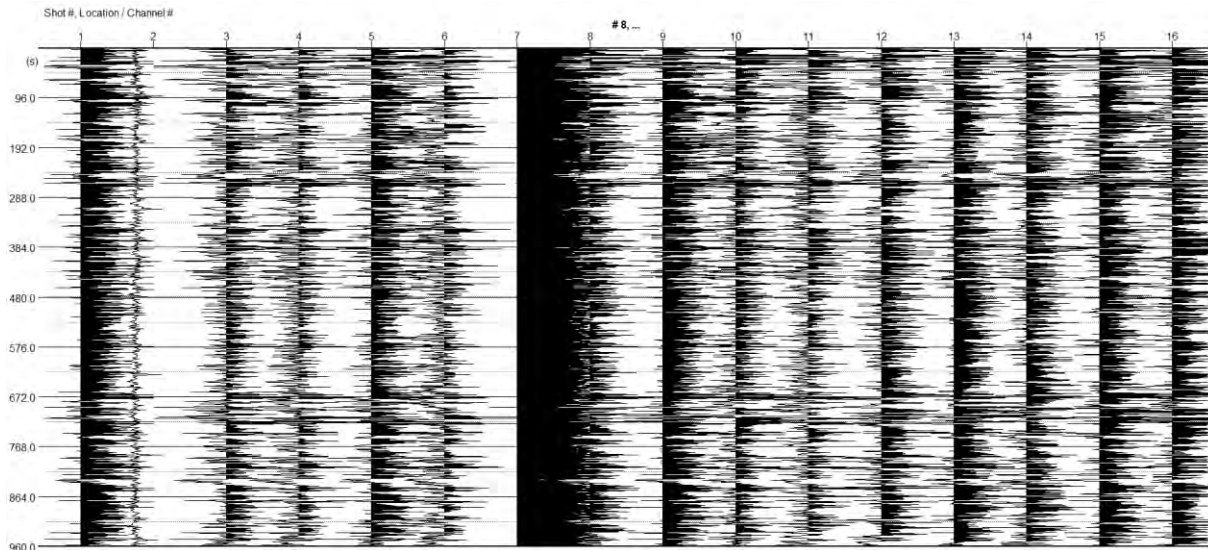


Figur 99 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec7 för triangel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

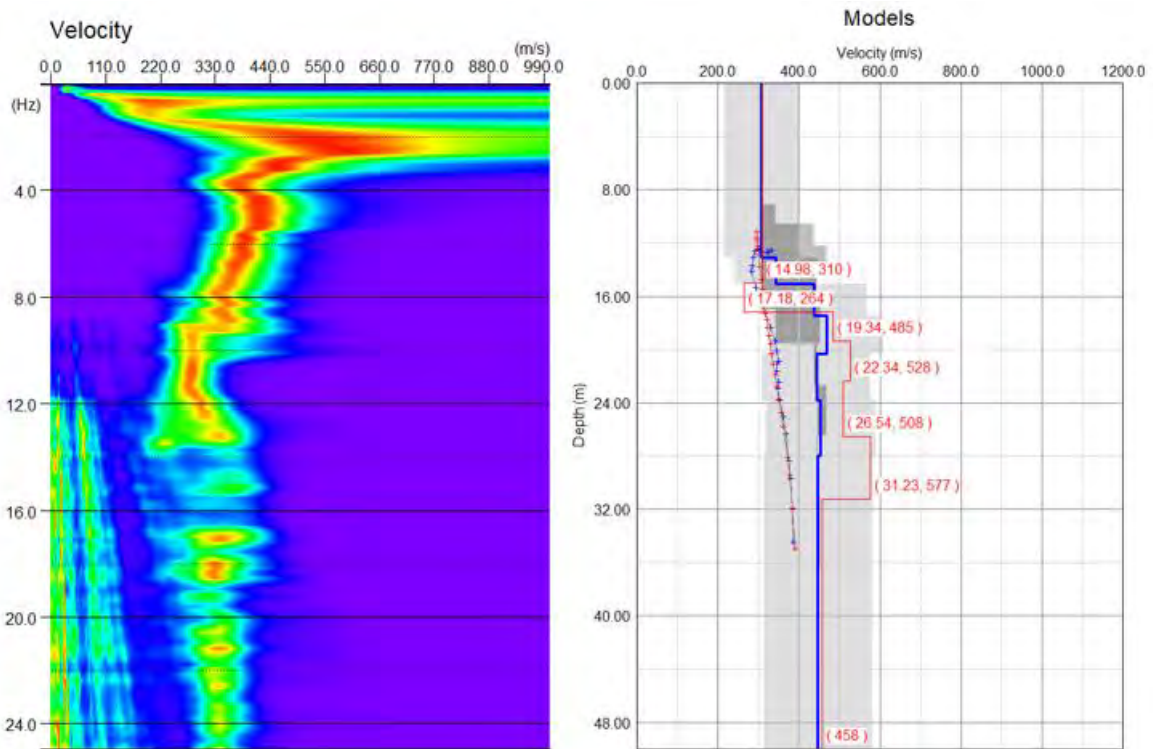
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	v	ρ (t/m ³)
1	11,68	297	30	0,35	2
2	13,68	287	30	0,35	2
3	16,08	350	30	0,35	2
4	18,96	451	30	0,35	2
5	22,42	467	30	0,35	2
6	26,57	453	30	0,35	2
7	31,55	465	30	0,35	2
8	45	480	30	0,35	2

Figur 100 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec7 för triangel i Grevie.

1.1.6.7 Rec8



Figur 101 Seismiska data för Rec8 för triangel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

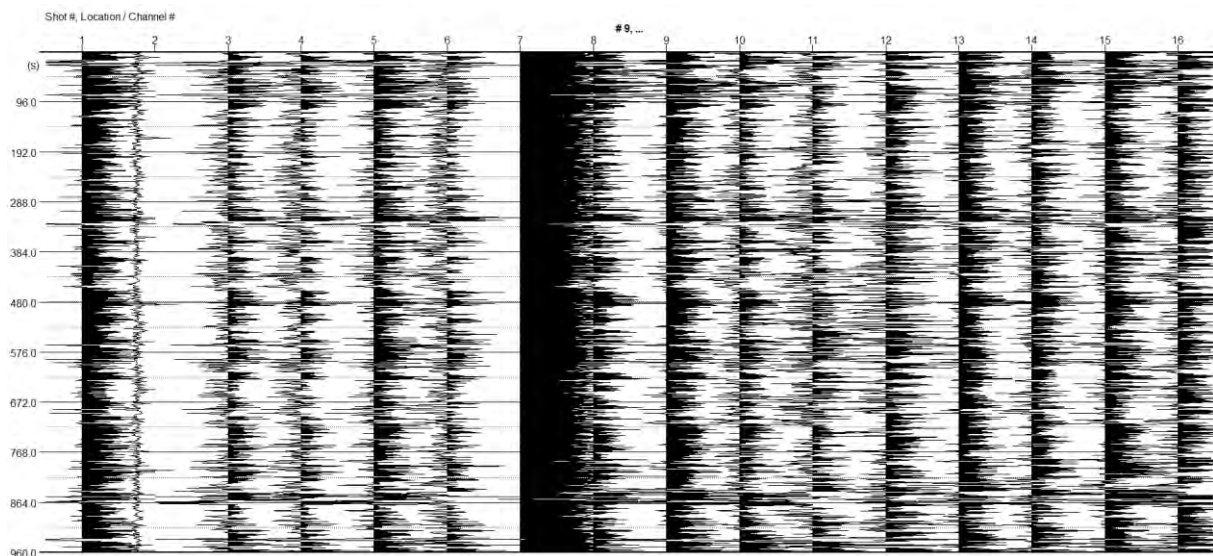


Figur 102 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec8 för triangel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

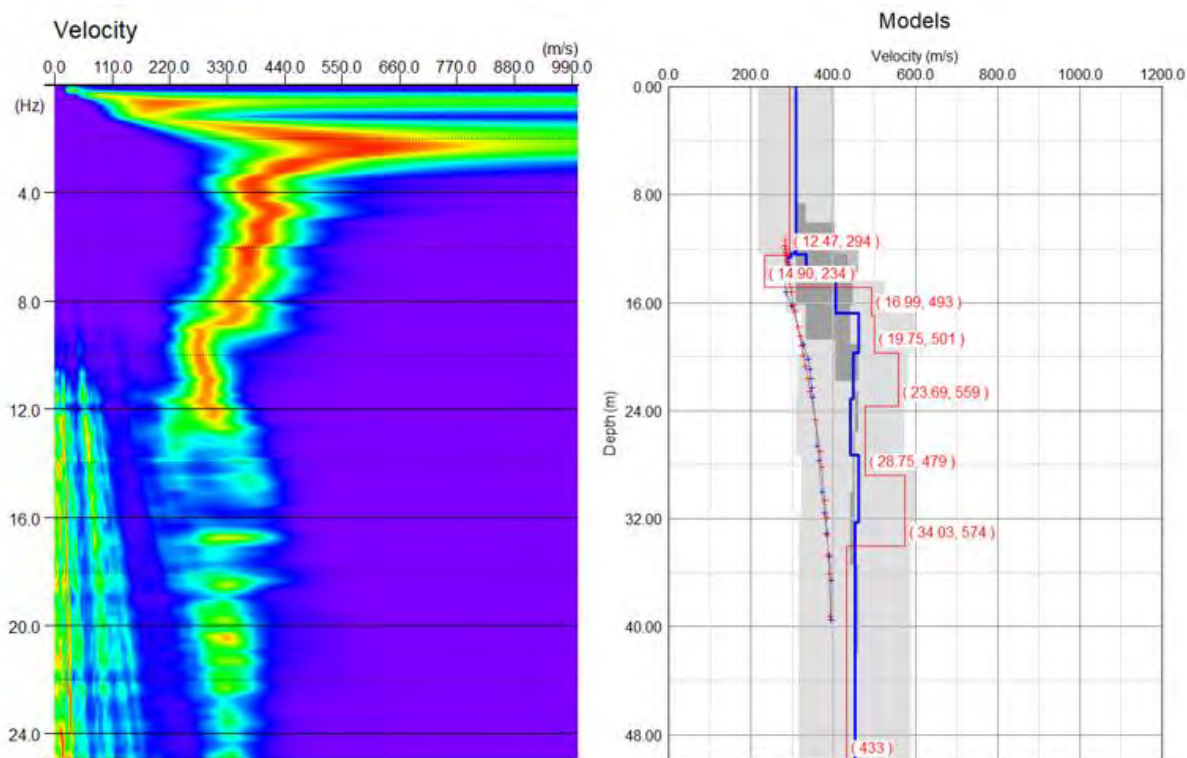
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	v	ρ (t/m ³)
1	13,08	307	30	0,35	2
2	15,08	344	30	0,35	2
3	17,48	437	30	0,35	2
4	20,36	468	30	0,35	2
5	23,82	443	30	0,35	2
6	27,97	454	30	0,35	2
7	50	447	30	0,35	2

Figur 103 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec8 för triangel i Grevie.

1.1.6.8 Rec9



Figur 104 Seismiska data för Rec9 för triangel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.



Figur 105 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec9 för triangel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	ν	ρ (t/m ³)
1	12,41	310	30	0,35	2
2	14,41	334	30	0,35	2
3	16,81	406	30	0,35	2
4	19,69	461	30	0,35	2
5	23,15	448	30	0,35	2
6	27,3	442	30	0,35	2
7	32,28	462	30	0,35	2
8	50	453	30	0,35	2

Figur 106 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec9 för triangel i Grevie.

1.2 Kombinerade mätningar

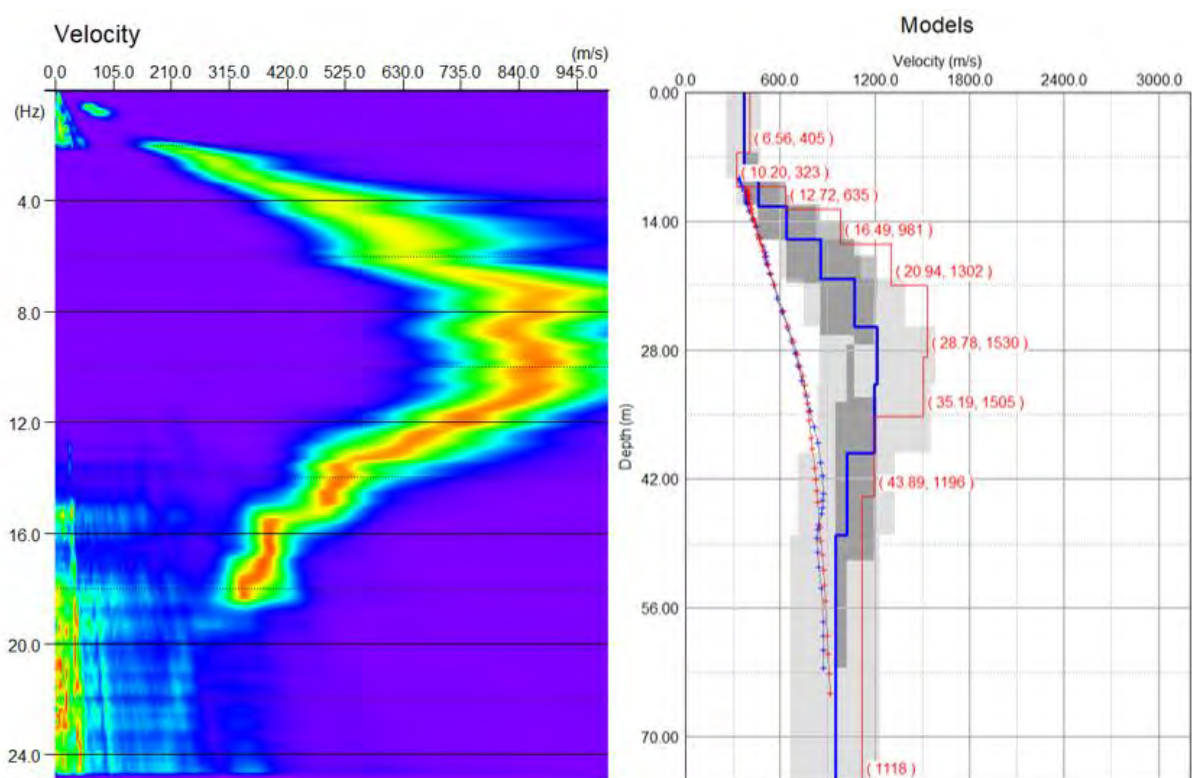
1.2.1 Tornhill – Stor cirkel

I Tabell 7 nedan ses en sammanfattning av resultaten från kombinationerna av mätningar från den stora cirkeln i Tornhill.

Tabell 7 Sammanfattning av mätningarnas resultat. Samplingsintervall och mättid för mätningarna beskrivs. Startdjup är det första djup som anges i siffror i den inversa modellen. I inversionsprocessen testades flera kombinationer av upplösning för hastighet och djup, och den som gav lägst misfit valdes.

MÄTNINGENS NAMN	SAMPLINGSINTERVALL [ms]	MÄTTID [ms]	STARTDJUP [m]	UPPLÖSNING HASTIGHET [m/s]	UPPLÖSNING DJUP [m]	MISFIT [%]
PASSIVE CIRCLE						
Komb2och4	4	480 000	6,56	6,0	0,3	5,55
Komb3och5	8	960 000	7,17	2,0	0,1	4,65
Komb3och6	8	960 000	7,96	4,0	0,2	5,02
Komb5och6	8	960 000	7,02	2,0	0,1	5,03
CIRCLE AND CENTER						
Komb2och3	4	480 000	13,03	2,0	0,2	3,49
Komb4och5	8	960 000	13,40	2,0	0,2	4,55

1.2.1.1 Passive Circle – Komb2och4

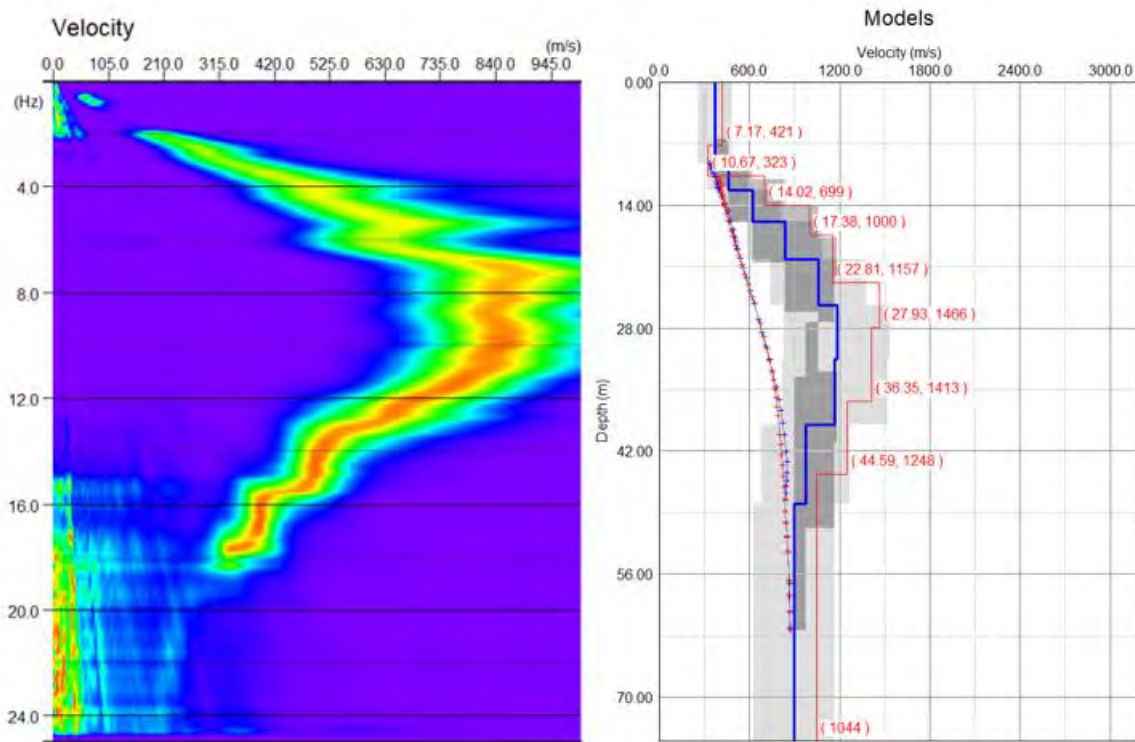


Figur 107 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Komb2och4 för stor cirkel i Tornhill, Passive circle. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	v	ρ (t/m ³)
1	9,37	368	30	0,25	2,3
2	12,37	462	30	0,25	2,42
3	15,97	638	30	0,25	2,42
4	20,29	854	30	0,25	2,42
5	25,47	1072	30	0,25	2,42
6	31,69	1217	30	0,25	2,42
7	39,15	1197	30	0,25	2,42
8	48,11	1020	30	0,25	2,42
9	75	950	30	0,25	2,42

Figur 108 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Komb2och4 för stor cirkel i Tornhill, Passive circle.

1.2.1.2 Passive Circle – Komb3och5

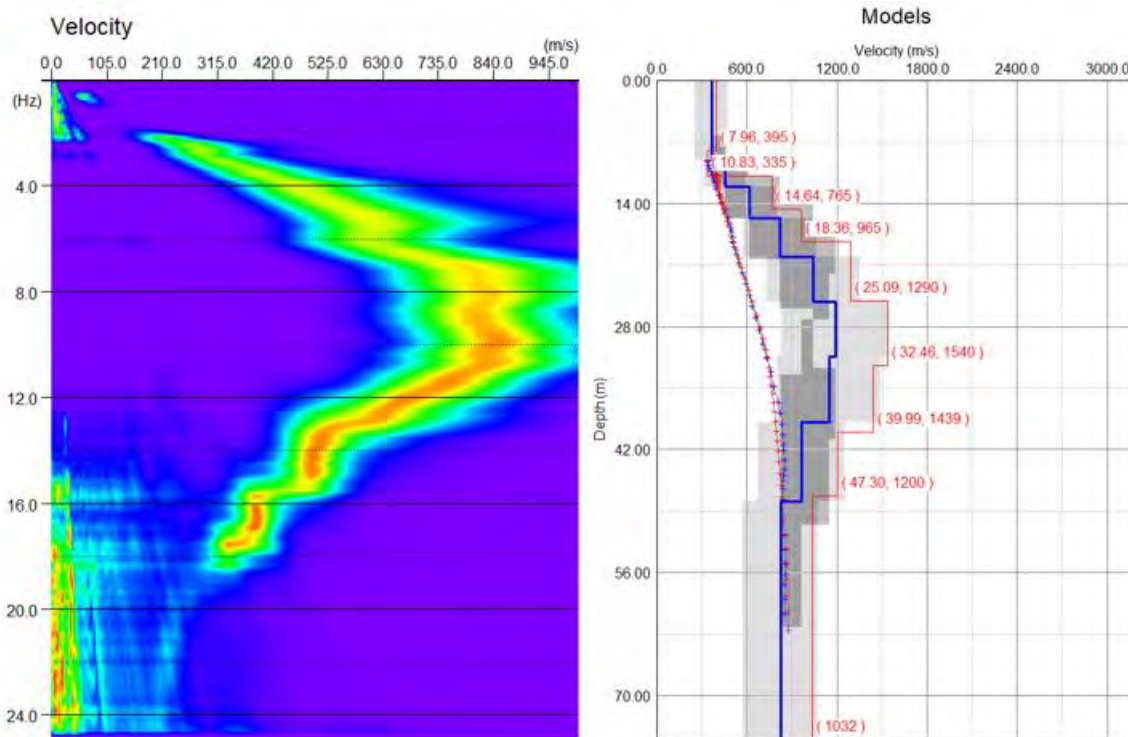


Figur 109 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Komb3och5 för stor cirkel i Tornhill, Passive circle. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	ν	ρ (t/m ³)
1	9,24	371	30	0,25	2,3
2	12,24	459	30	0,25	2,42
3	15,84	625	30	0,25	2,42
4	20,16	836	30	0,25	2,42
5	25,34	1057	30	0,25	2,42
6	31,56	1184	30	0,25	2,42
7	39,02	1168	30	0,25	2,42
8	47,98	976	30	0,25	2,42
9	75	899	30	0,25	2,42

Figur 110 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Komb3och5 för stor cirkel i Tornhill, Passive circle.

1.2.1.3 Passive Circle – Komb3och6

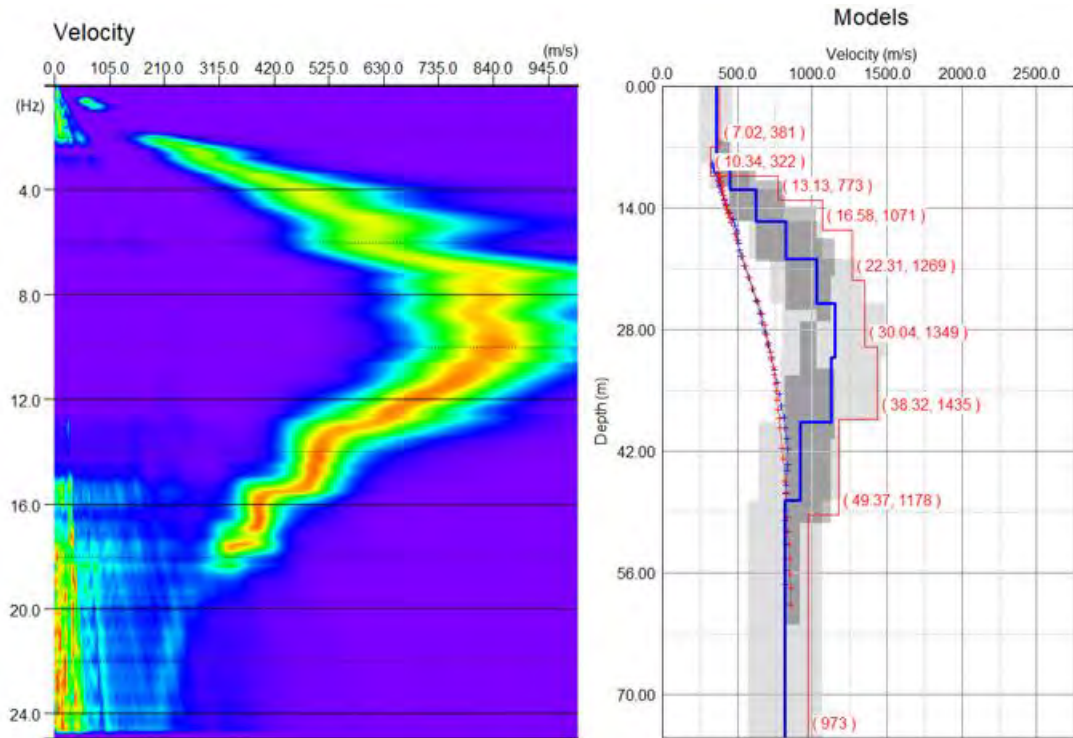


Figur 111 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Komb3och6 för stor cirkel i Tornhill, Passive circle. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuv vågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	v	ρ (t/m ³)
1	9,1	362	30	0,25	2,3
2	12,1	454	30	0,25	2,42
3	15,7	618	30	0,25	2,42
4	20,02	820	30	0,25	2,42
5	25,2	1041	30	0,25	2,42
6	31,42	1189	30	0,25	2,42
7	38,88	1146	30	0,25	2,42
8	47,84	961	30	0,25	2,42
9	75	824	30	0,25	2,42

Figur 112 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Komb3och6 för stor cirkel i Tornhill, Passive circle.

1.2.1.4 Passive Circle – Komb5och6

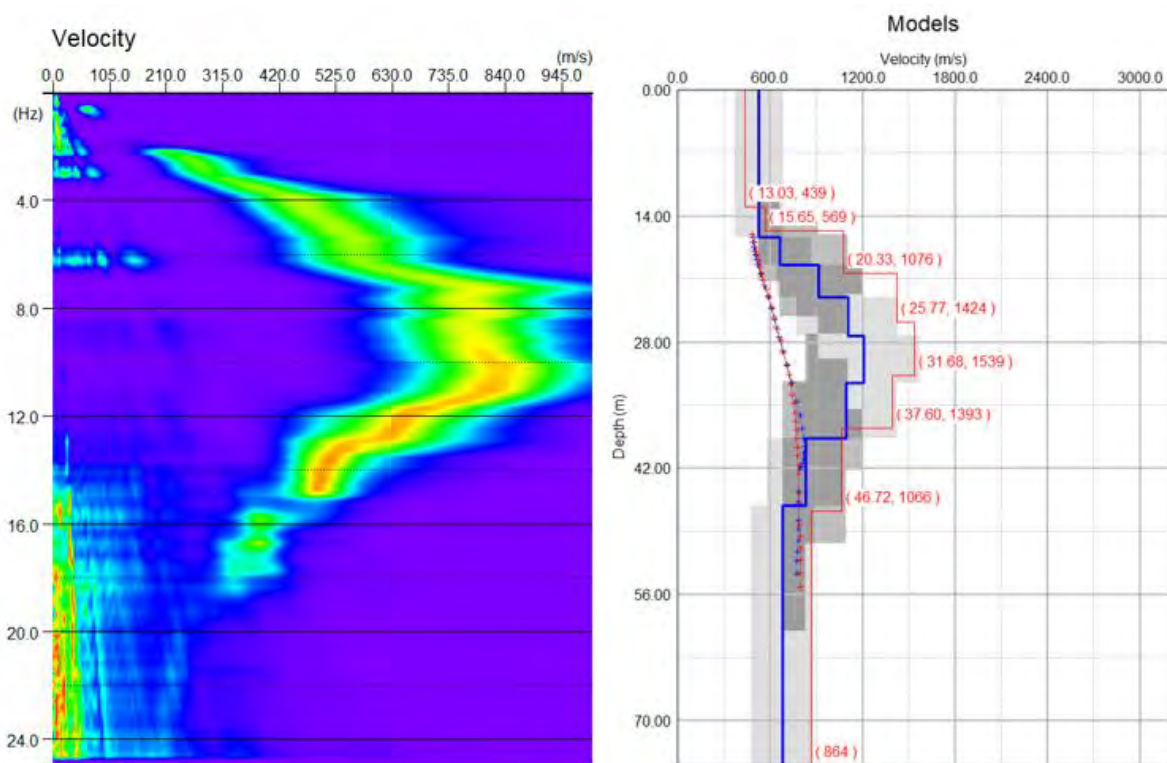


Figur 113 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Komb5och6 för stor cirkel i Tornhill, Passive circle. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inersionsprocessen.

Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	v	ρ (t/m ³)
1	8,93	361	30	0,25	2,3
2	11,93	453	30	0,25	2,42
3	15,53	626	30	0,25	2,42
4	19,85	824	30	0,25	2,42
5	25,03	1029	30	0,25	2,42
6	31,25	1150	30	0,25	2,42
7	38,71	1124	30	0,25	2,42
8	47,67	923	30	0,25	2,42
9	75	820	30	0,25	2,42

Figur 114 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Komb5och6 för stor cirkel i Tornhill, Passive circle.

1.2.1.5 Circle and Center – Komb2och3

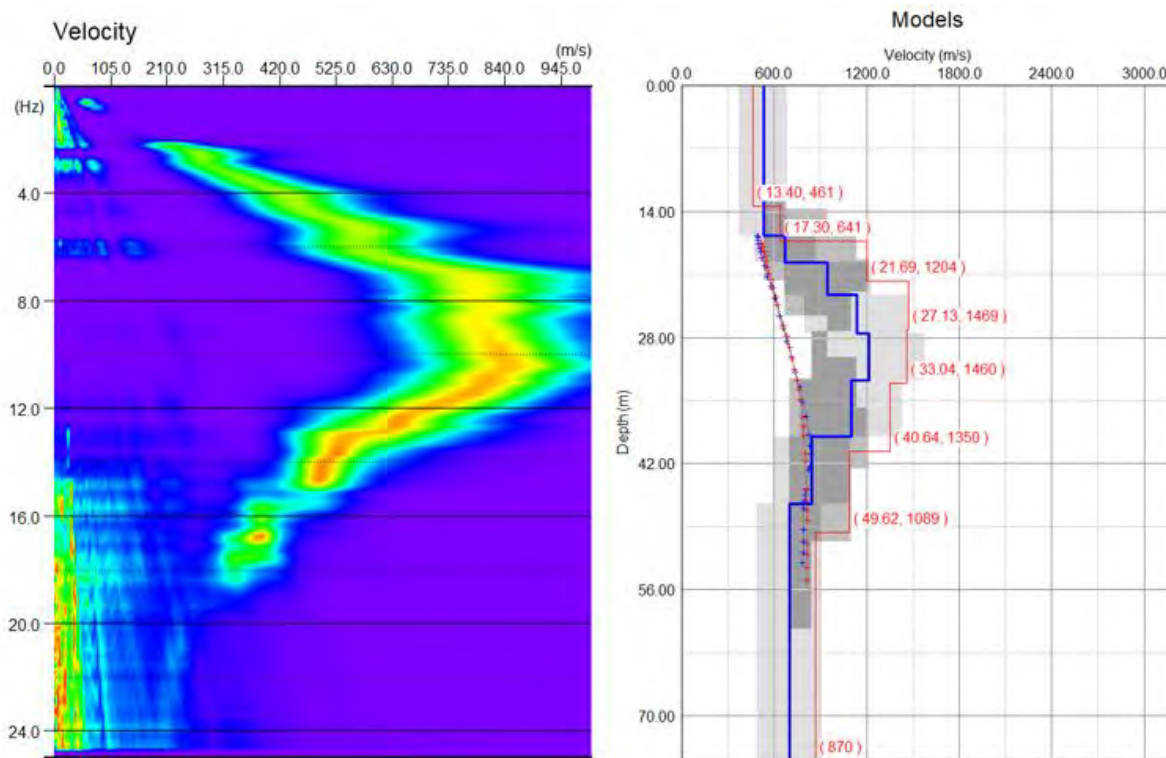


Figur 115 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Komb2och3 för stor cirkel i Tornhill, Circle and Center. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuv vågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	ν	ρ (t/m ³)
1	16,39	529	30	0,25	2,42
2	19,39	665	30	0,25	2,42
3	22,99	918	30	0,25	2,42
4	27,31	1104	30	0,25	2,42
5	32,49	1208	30	0,25	2,42
6	38,71	1096	30	0,25	2,42
7	46,17	829	30	0,25	2,42
8	75	681	30	0,25	2,42

Figur 116 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Komb2och3 för stor cirkel i Tornhill, Circle and Center.

1.2.1.6 Circle and Center – Komb4och5



Figur 117 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Komb4och5 för stor cirkel i Tornhill, Circle and Center. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuv vågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	ν	ρ (t/m ³)
1	16,65	530	30	0,25	2,42
2	19,65	672	30	0,25	2,42
3	23,25	947	30	0,25	2,42
4	27,57	1136	30	0,25	2,42
5	32,75	1213	30	0,25	2,42
6	38,97	1099	30	0,25	2,42
7	46,43	842	30	0,25	2,42
8	75	701	30	0,25	2,42

Figur 118 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Komb4och5 för stor cirkel i Tornhill, Circle and Center.

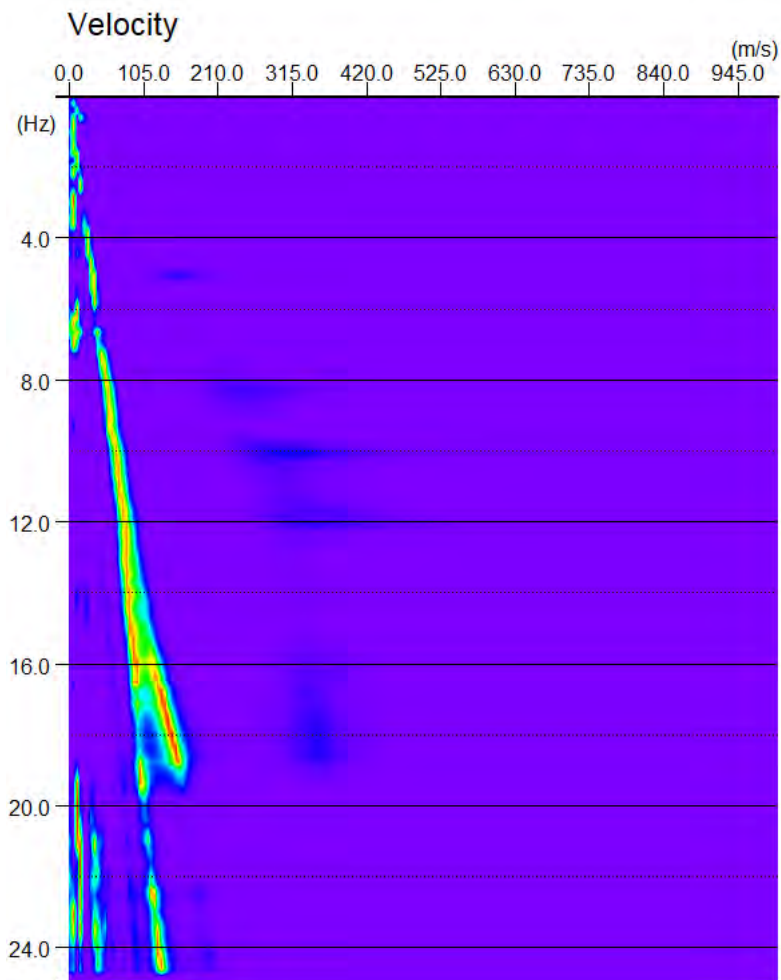
1.2.2 Tornhill – Liten cirkel

För den mindre cirkeln i Tornhill skapades kombinerade frekvens-fashastighetsspektrum, men dessa var av för låg kvalitet för att kunna analyseras vidare. Detta förklarar de tomma fälten i Tabell 8.

Tabell 8 Sammanfattning av mätningarnas resultat. Samplingsintervall och mättid för mätningarna beskrivs. Startdjup är det första djup som anges i siffror i den inversa modellen. I inversionsprocessen testades flera kombinationer av upplösning för hastighet och djup, och den som gav lägst misfit valdes.

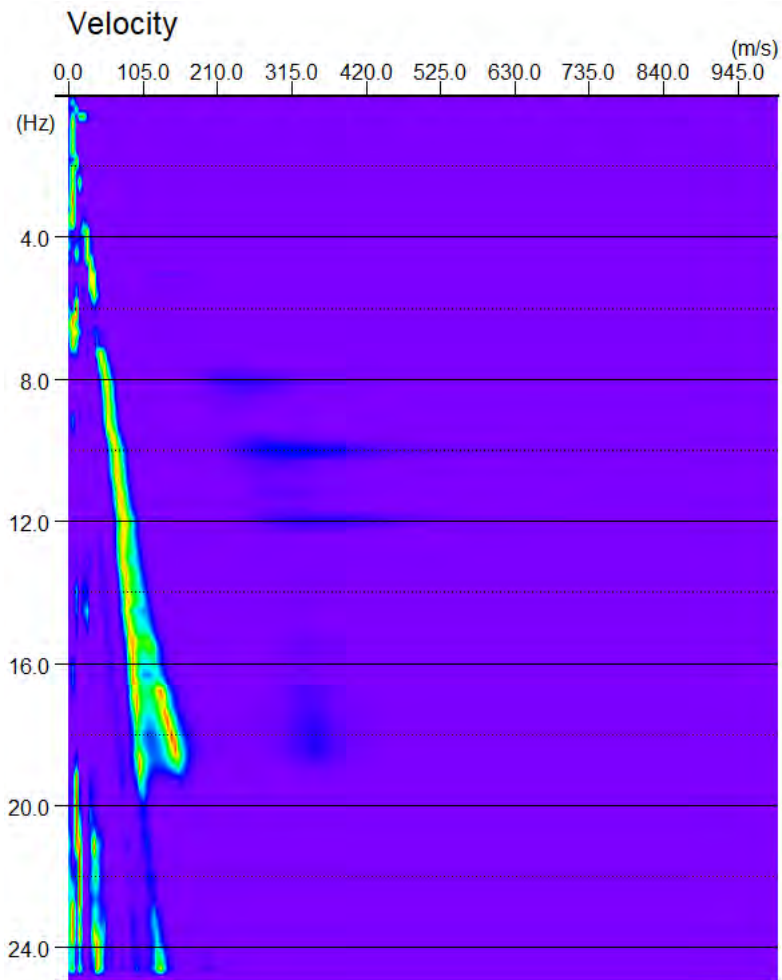
MÄTNINGENS NAMN	SAMPLINGSINTERVALL [ms]	MÄTTID [ms]	STARTDJUP [m]	UPPLÖSNING HASTIGHET [m/s]	UPPLÖSNING DJUP [m]	MISFIT [%]
Komb1och2	4	480 000				
Komb3och4	8	960 000				

1.2.2.1 Kombloch2



Figur 119 Frekvens-fashastighetsspektrum för Kombloch2 för liten cirkel i Tornhill. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln.

1.2.2.2 Komb3och4



Figur 120 Frekvens-fashastighetsspektrum för Komb3och4 för liten cirkel i Tornhill. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln.

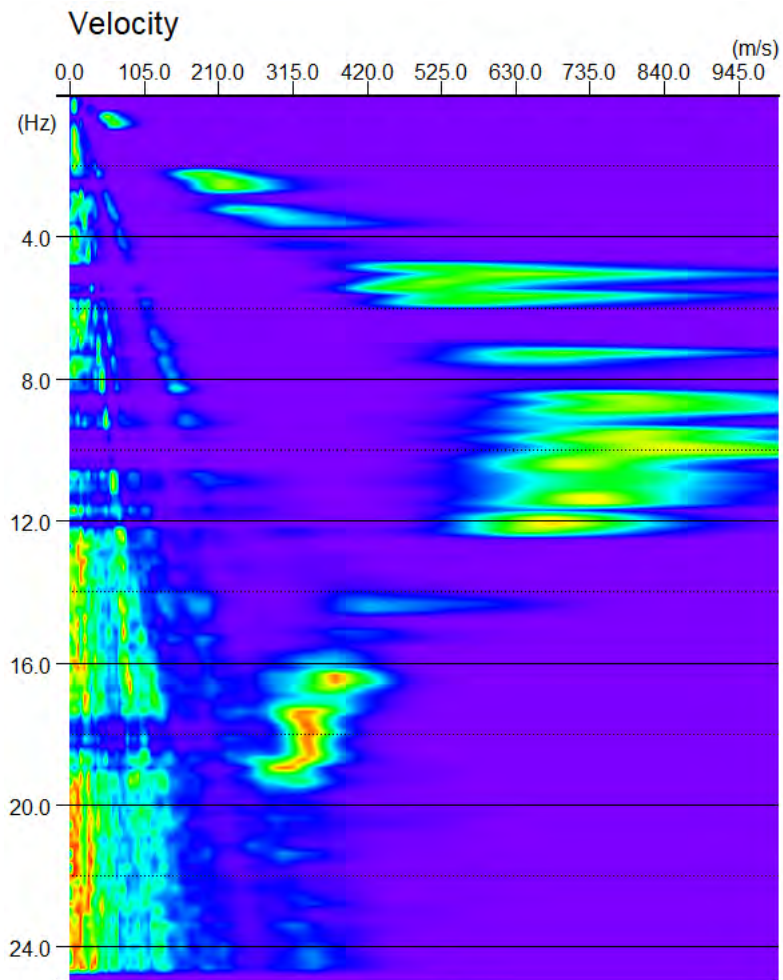
1.2.3 Tornhill – Triangel

Även för triangeln i Tornhill genomfördes kombinationer men däremot inga vidare analyser från frekvens-fashastighetsspektrum till modeller över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. För en sammanfattning av kombinationerna, se Tabell 9.

Tabell 9 Sammanfattning av mätningarnas resultat. Samplingsintervall och mättid för mätningarna beskrivs. Startdjup är det första djup som anges i siffror i den inversa modellen. I inversionsprocessen testades flera kombinationer av upplösning för hastighet och djup, och den som gav lägst misfit valdes.

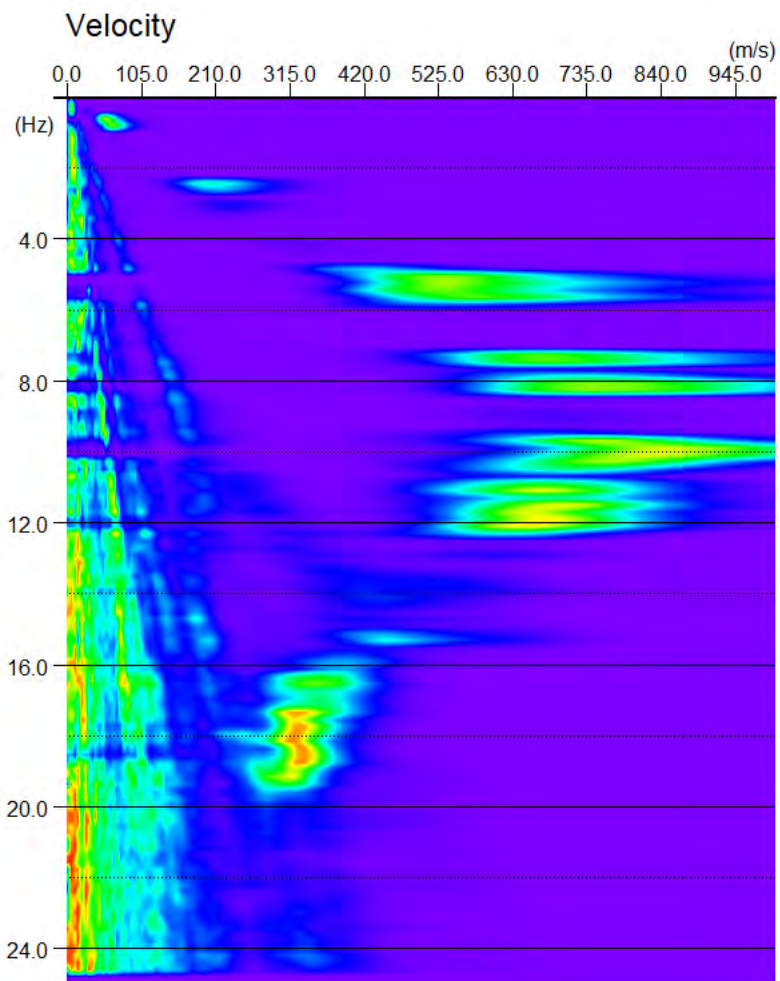
MÄTNINGENS NAMN	SAMPLINGSINTERVALL [ms]	MÄTTID [ms]	STARTDJUP [m]	UPPLÖSNING HASTIGHET [m/s]	UPPLÖSNING DJUP [m]	MISFIT [%]
Komb1och2	1	120 000				
Komb3och4	2	240 000				
Komb5och6	4	480 000				
Komb7och8	8	960 000				

1.2.3.1 Kombloch2



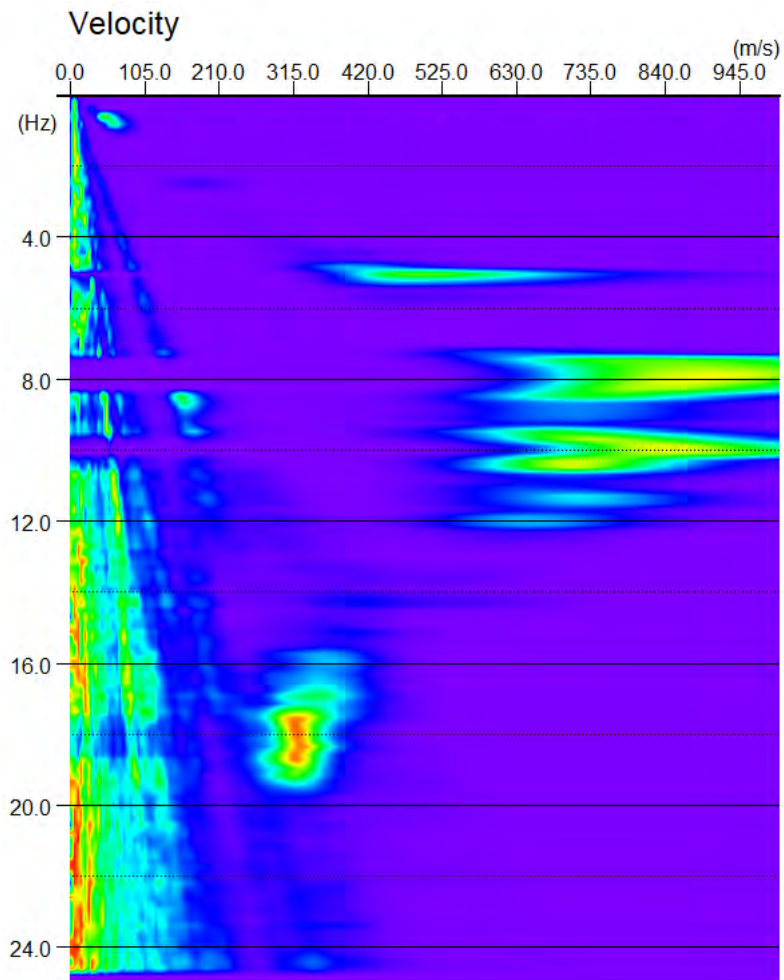
Figur 121 Frekvens-fashastighetsspektrum för Komb1och2 för triangel i Tornhill. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln.

1.2.3.2 Komb3och4



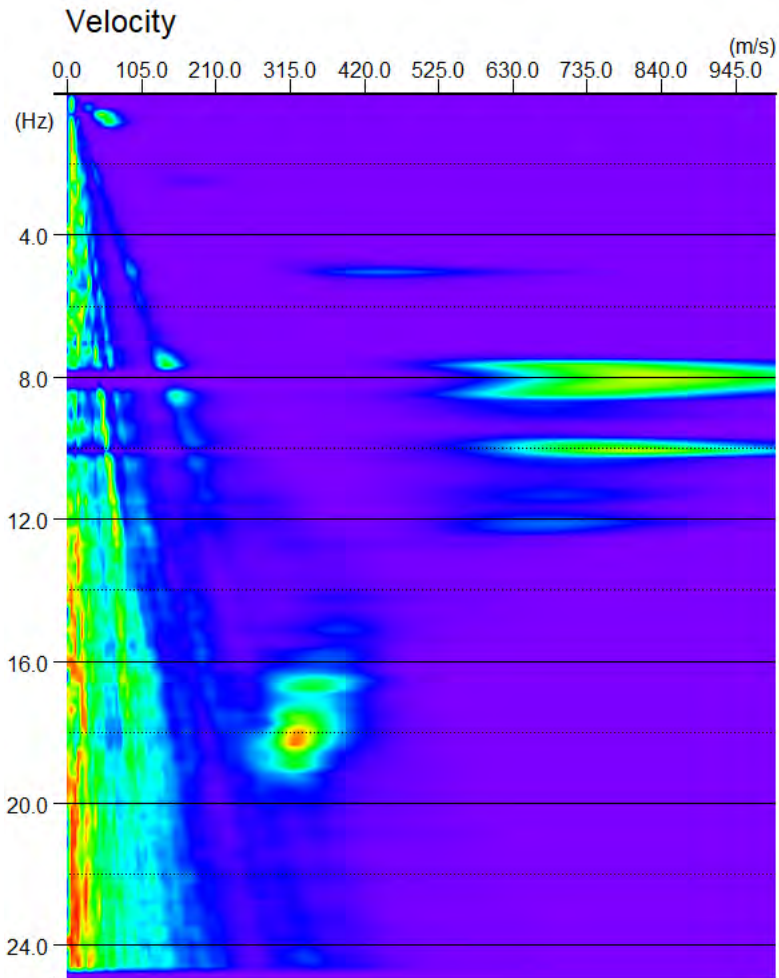
Figur 122 Frekvens-fashastighetsspektrum för Komb3och4 för triangel i Tornhill. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln.

1.2.3.3 Komb5och6



Figur 123 Frekvens-fashastighetsspektrum för Komb5och6 för triangel i Tornhill. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln.

1.2.3.4 Komb7och8



Figur 124 Frekvens-fashastighetsspektrum för Komb7och8 för triangel i Tornhill. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln.

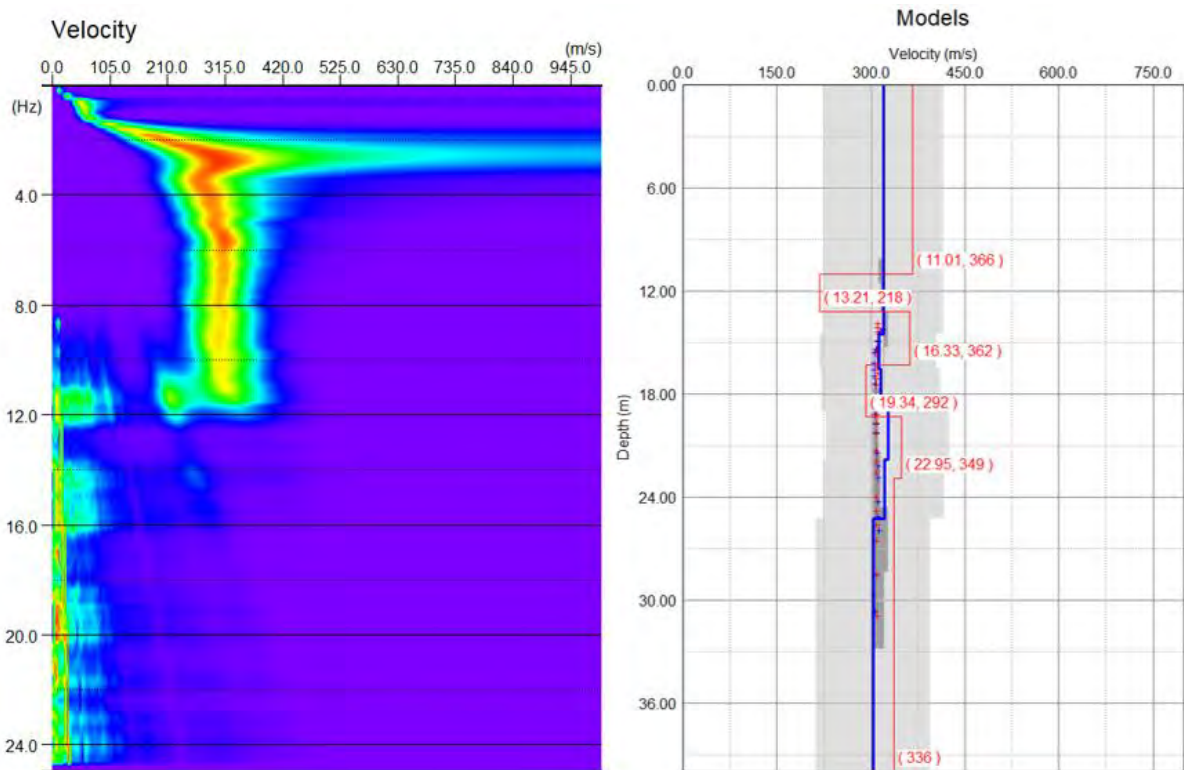
1.2.4 Grevie – Stor cirkel

En sammanfattning av kombinationerna av mätningar för den stora cirkeln i Grevie kan ses nedan i Tabell 10.

Tabell 10 Sammanfattning av mätningarnas resultat. Samplingsintervall och mättid för mätningarna beskrivs. Startdjup är det första djup som anges i siffror i den inversa modellen. I inversionsprocessen testades flera kombinationer av upplösning för hastighet och djup, och den som gav lägst misfit valdes.

MÄTNINGENS NAMN	SAMPLINGSINTERVALL [ms]	MÄTTID [ms]	STARTDJUP [m]	UPPLÖSNING HASTIGHET [m/s]	UPPLÖSNING DJUP [m]	MISFIT [%]
Komb1och2	8	960 000	11,01	6,0	0,3	0,92
Komb3och4	4	480 000	10,24	4,0	0,2	0,98

1.2.4.1 Komb1och2

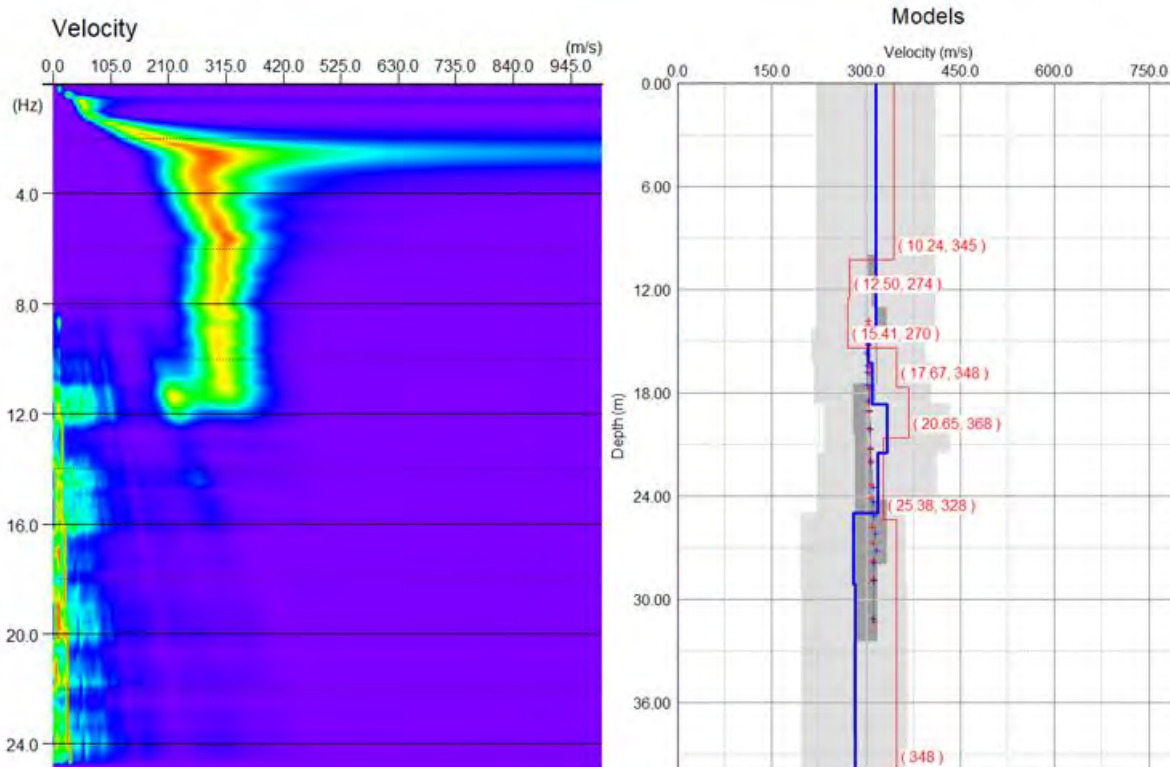


Figur 125 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Komb1och2 för stor cirkel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	v	ρ (t/m ³)
1	14,53	320	30	0,35	2
2	16,53	312	30	0,35	2
3	18,93	316	30	0,35	2
4	21,81	327	30	0,35	2
5	25,27	321	30	0,35	2
6	40	304	30	0,35	2

Figur 126 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts in manuellt. Tillhör Komb1och2 för stor cirkel i Grevie.

1.2.4.2 Komb3och4



Figur 127 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Komb3och4 för stor cirkel i Greve. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	v	ρ (t/m ³)
1	14,24	316	30	0,35	2
2	16,24	304	30	0,35	2
3	18,64	310	30	0,35	2
4	21,52	334	30	0,35	2
5	24,98	318	30	0,35	2
6	29,13	279	30	0,35	2
7	40	282	30	0,35	2

Figur 128 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Komb3och4 för stor cirkel i Greve.

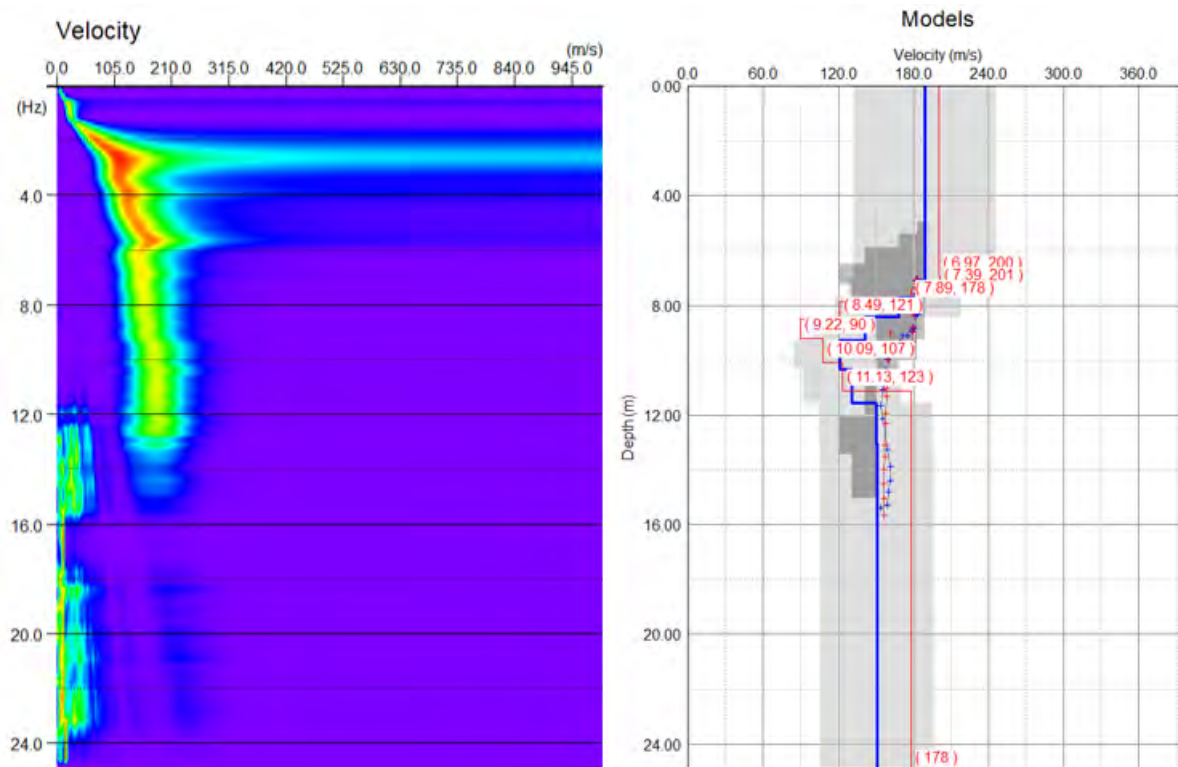
1.2.5 Greve – Liten cirkel

I Tabell 11 nedan kan en sammanfattning av kombinationerna av mätningar för den mindre cirkeln i Greve ses.

Tabell 11 Sammanfattning av mätningarnas resultat. Samplingsintervall och mättid för mätningarna beskrivs. Startdjup är det första djup som anges i siffror i den inversa modellen. I inversionsprocessen testades flera kombinationer av upplösning för hastighet och djup, och den som gav lägst misfit valdes.

MÄTNINGENS NAMN	SAMPLINGSINTERVALL [ms]	MÄTTID [ms]	STARTDJUP [m]	UPPLÖSNING HASTIGHET [m/s]	UPPLÖSNING DJUP [m]	MISFIT [%]
Komb1och2	8	960 000	6,97	8,0	0,4	1,98

1.2.5.1 Kombloch2

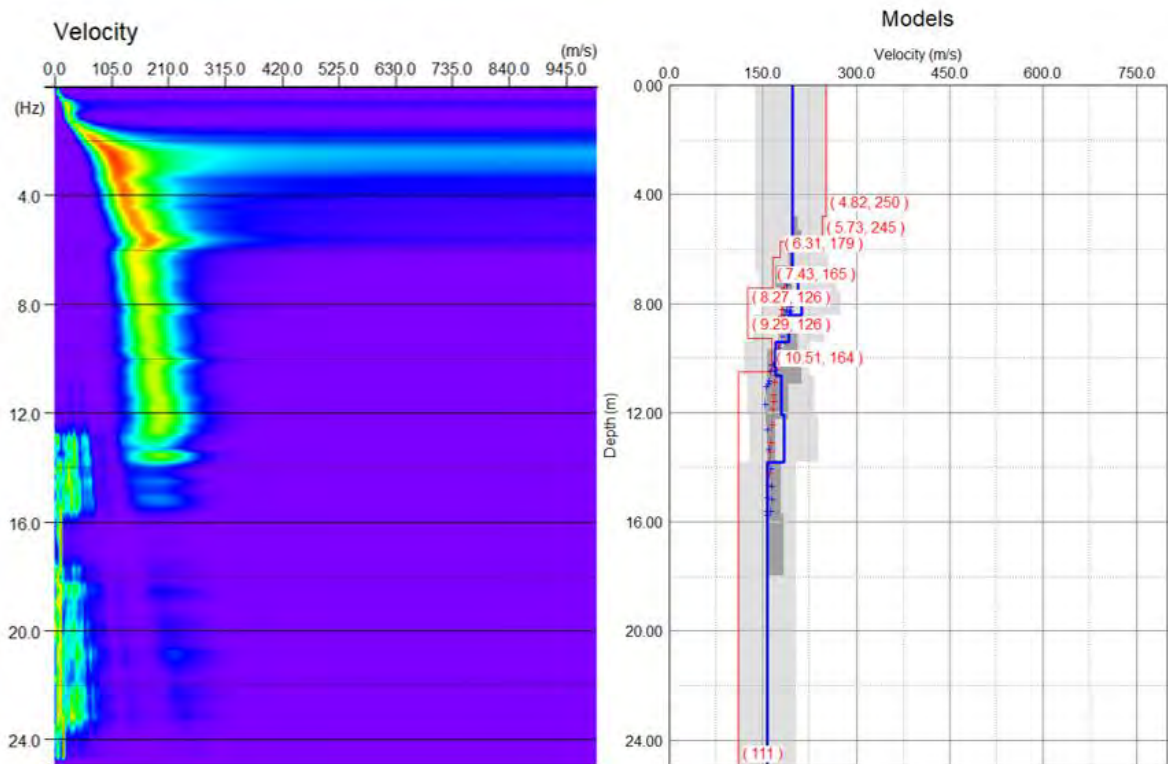


Figur 129 Till vänster: Frekvens-fashastighetspektrum för Kombloch2 för liten cirkel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	v	ρ (t/m ³)
1	7,11	189	30	0,35	2
2	7,71	183	30	0,35	2
3	8,43	168	30	0,35	2
4	9,29	141	30	0,35	2
5	10,33	121	30	0,35	2
6	11,57	131	30	0,35	2
7	13,06	150	30	0,35	2
8	25	151	30	0,35	2

Figur 130 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Kombloch2 för liten cirkel i Grevie.

1.2.5.2 Komb3och4



Figur 131 Till vänster: Frekvens-fashastighetspektrum för Komb3och4 för liten cirkel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	ν	ρ (t/m ³)
1	6,88	197	30	0,35	2
2	7,58	207	30	0,35	2
3	8,42	212	30	0,35	2
4	9,43	192	30	0,35	2
5	10,64	171	30	0,35	2
6	12,09	180	30	0,35	2
7	13,83	184	30	0,35	2
8	25	157	30	0,35	2

Figur 132 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Komb3och4 för liten cirkel i Grevie.

1.2.6 Grevie – Triangel

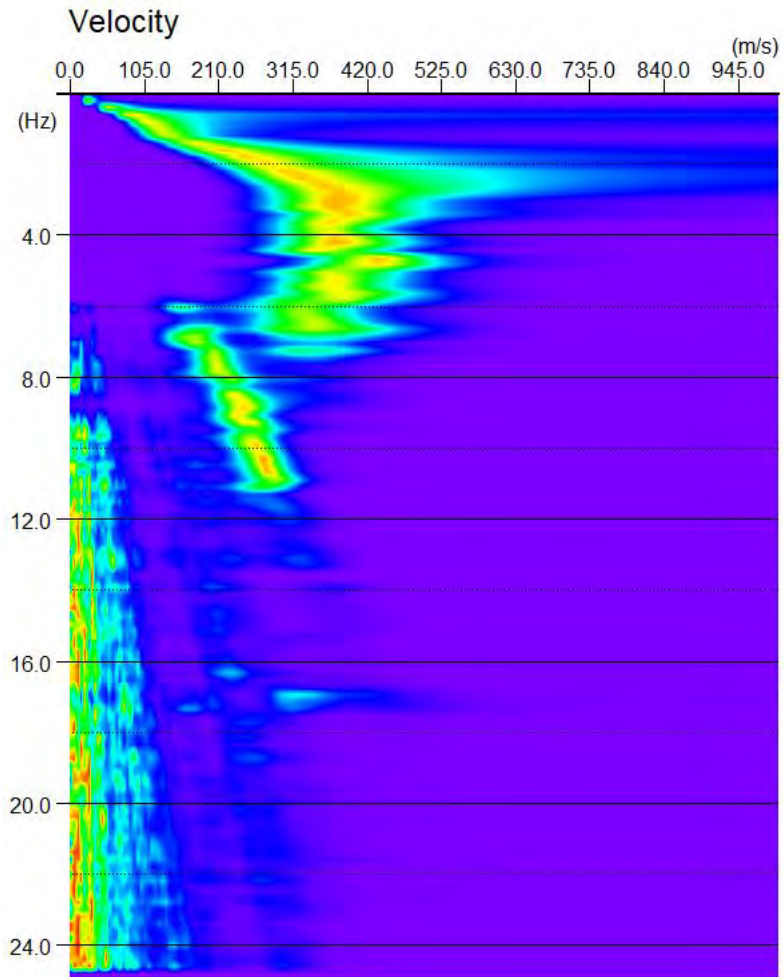
Fyra kombinationer skedde för triangeln i Grevie och dessa kan ses sammanfattade nedan i Tabell 12.

Tabell 12 Sammanfattning av mätningarnas resultat. Samplingsintervall och mättid för mätningarna beskrivs. Startdjup är det första djup som anges i siffror i den inversa modellen. I inversionsprocessen testades flera kombinationer av upplösning för hastighet och djup, och den som gav lägst misfit valdes.

MÄTNINGENS NAMN	SAMPLINGSINTERVALL [ms]	MÄTTID [ms]	STARTDJUP [m]	UPPLÖSNING HASTIGHET [m/s]	UPPLÖSNING DJUP [m]	MISFIT [%]
-----------------	-------------------------	-------------	---------------	----------------------------	---------------------	------------

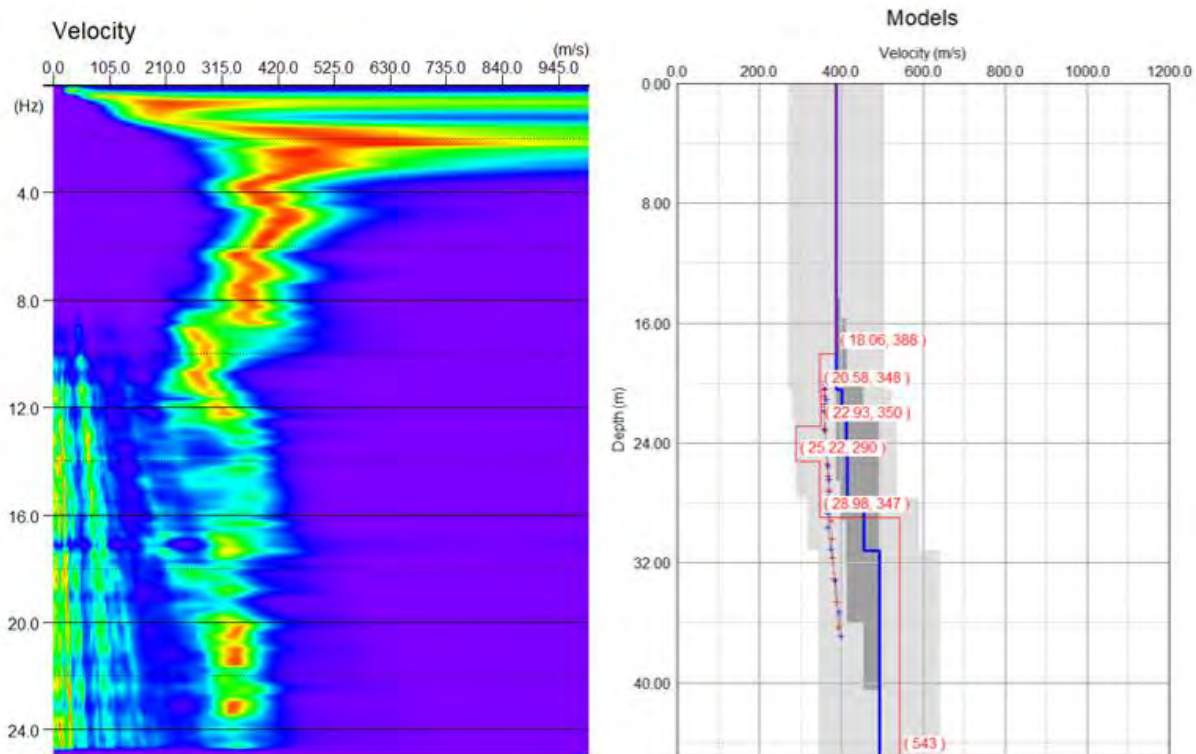
Komb2och3	1	120 000				
Komb4och5	2	240 000	18,06	2,0	0,1	1,14
Komb6och7	4	480 000	8,58	2,0	0,2	2,59
Komb8och9	8	960 000	9,88	2,0	0,2	4,00

1.2.6.1 Komb2och3



Figur 133 Frekvens-fashastighetsspektrum för Komb2och3 för triangel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln.

1.2.6.2 Komb4och5

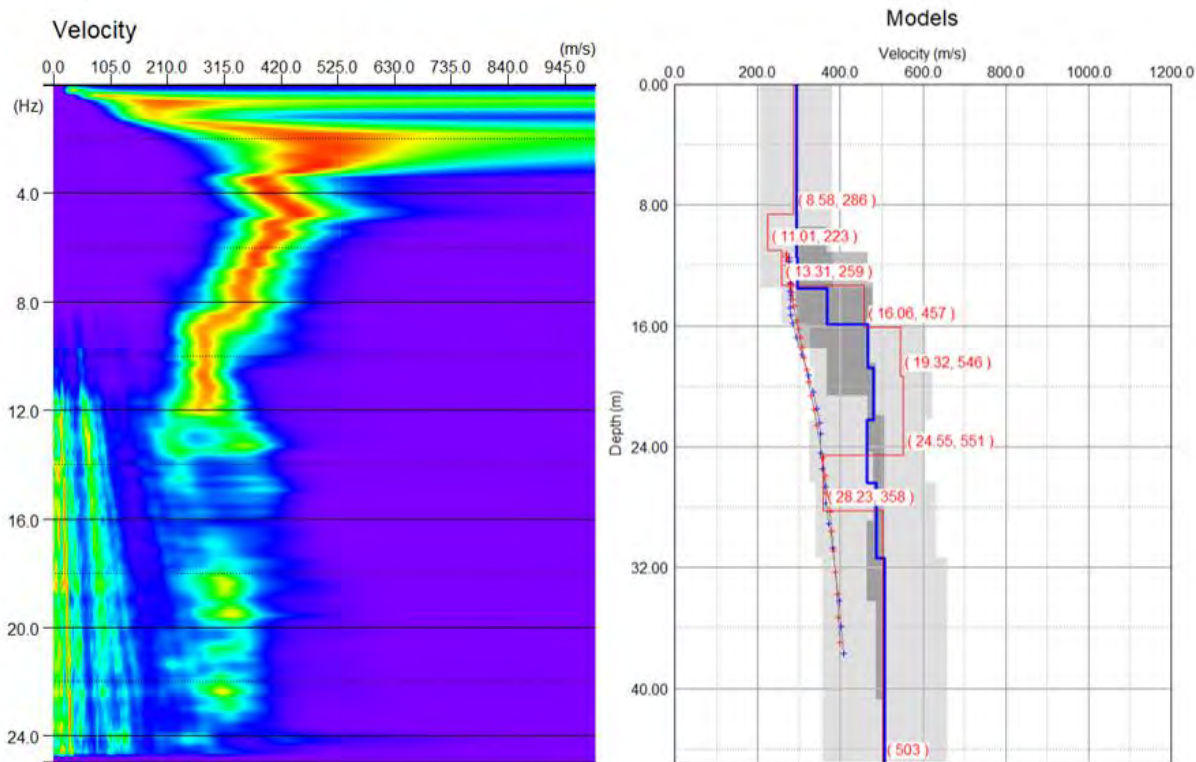


Figur 134 Till vänster: Frekvens-fashastighetspektrum för Komb4och5 för triangel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	v	ρ (t/m ³)
1	20,42	389	30	0,35	2
2	22,42	402	30	0,35	2
3	24,82	413	30	0,35	2
4	27,7	414	30	0,35	2
5	31,16	455	30	0,35	2
6	45	494	30	0,35	2

Figur 135 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Komb4och5 för triangel i Grevie.

1.2.6.3 Komb6och7

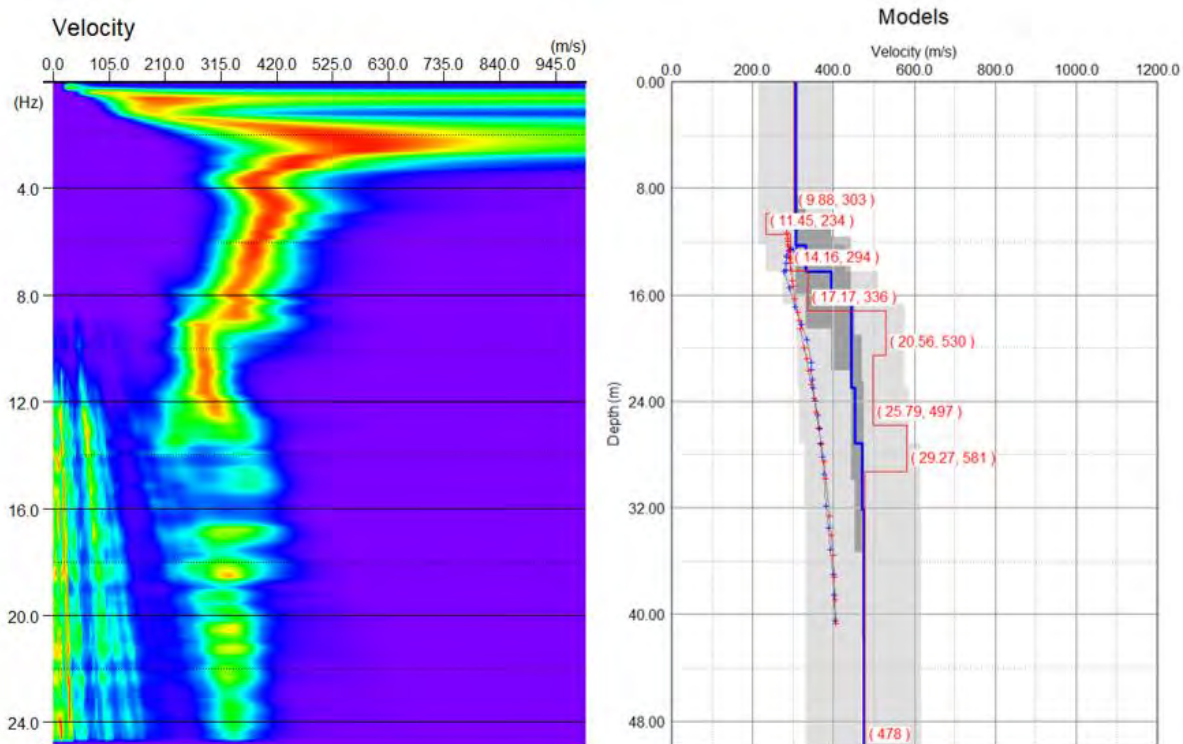


Figur 136 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Komb6och7 för triangel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	ν	ρ (t/m ³)
1	11,48	294	30	0,35	2
2	13,48	295	30	0,35	2
3	15,88	367	30	0,35	2
4	18,76	467	30	0,35	2
5	22,22	480	30	0,35	2
6	26,37	465	30	0,35	2
7	31,35	487	30	0,35	2
8	45	508	30	0,35	2

Figur 137 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Komb6och7 för triangel i Grevie.

1.2.6.4 Komb8och9



Figur 138 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Komb8och9 för triangel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	v	ρ (t/m ³)
1	12,28	307	30	0,35	2
2	14,28	332	30	0,35	2
3	16,68	394	30	0,35	2
4	19,56	443	30	0,35	2
5	23,02	444	30	0,35	2
6	27,17	452	30	0,35	2
7	32,15	472	30	0,35	2
8	50	475	30	0,35	2

Figur 139 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Komb8och9 för triangel i Grevie.

1.3 Inaktiverade geofoner – cirkeluppställning

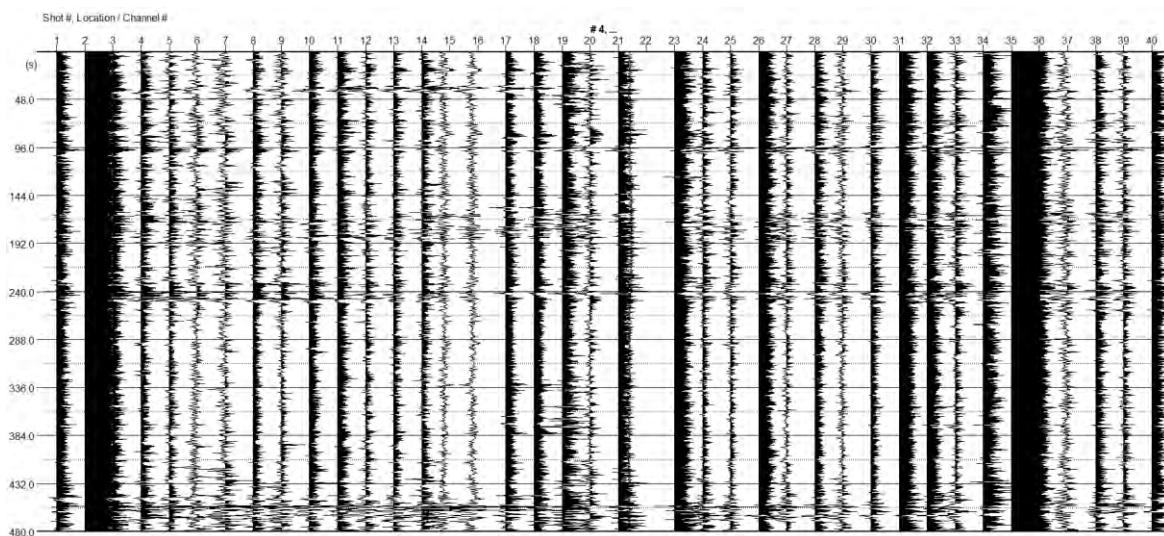
1.3.1 Tornhill – Stor cirkel

För den stora cirkeln i Tornhill har analys av data skett i form av inaktivering av geofoner. Nedan (se Tabell 13) ges en sammanfattning av de mätningar som har skett och dess resultat.

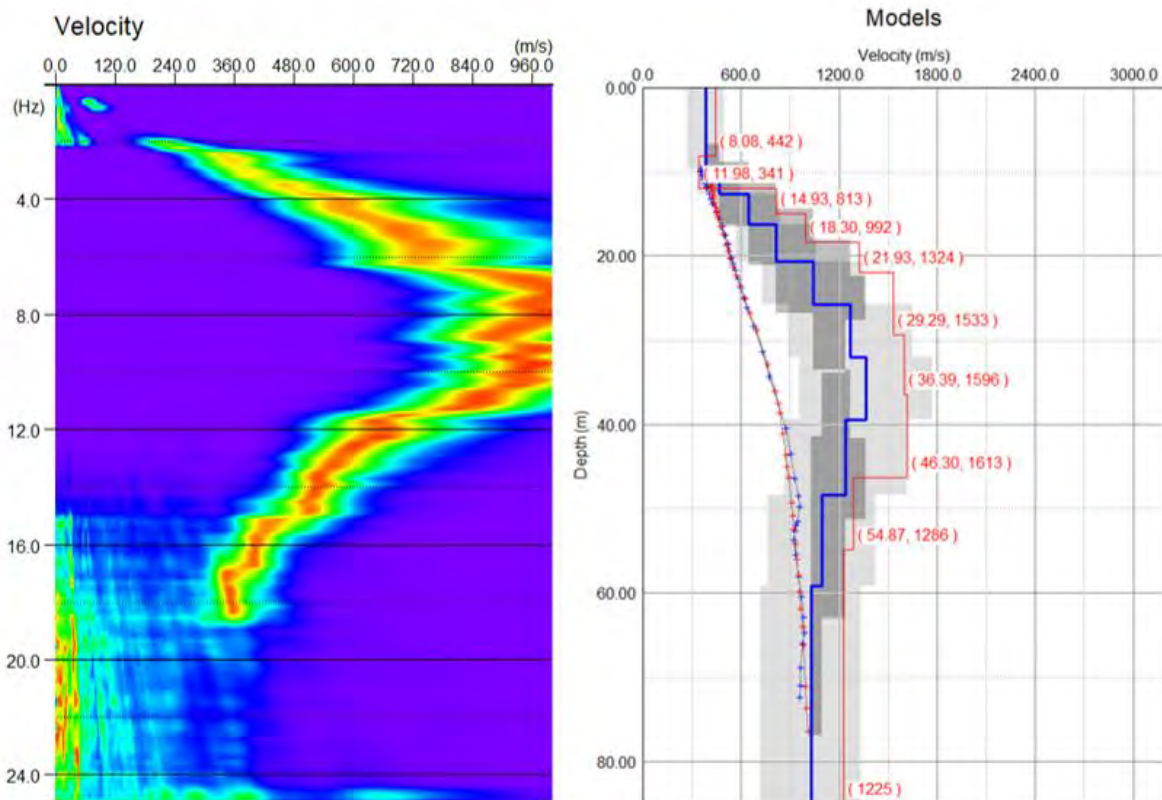
Tabell 13 Sammanfattning av mätningarnas resultat. Samplingsintervall och mättid för mätningarna beskrivs. Startdjup är det första djup som anges i siffror i den inversa modellen. I inversionsprocessen testades flera kombinationer av upplösning för hastighet och djup, och den som gav lägst misfit valdes.

MÄTNINGENS NAMN	SAMPLINGSINTERVALL [ms]	MÄTTID [ms]	STARTDJUP [m]	UPPLÖSNING HASTIGHET [m/s]	UPPLÖSNING DJUP [m]	MISFIT [%]
Rec4						
50% aktiva	4	480 000	8,08	4,0	0,2	6,28
33% aktiva	4	480 000	8,03	2,0	0,2	7,73
25% aktiva	4	480 000	13,45	2,0	0,1	4,19
Rec5						
50% aktiva	8	960 000	7,48	6,0	0,3	5,74
33% aktiva	8	960 000	7,48	2,0	0,2	6,74
25% aktiva	8	960 000	12,61	4,0	0,1	3,13

1.3.1.1 Rec4 – 50% aktiva



Figur 140 Seismiska data för Rec4 med 50% aktiva geofoner för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

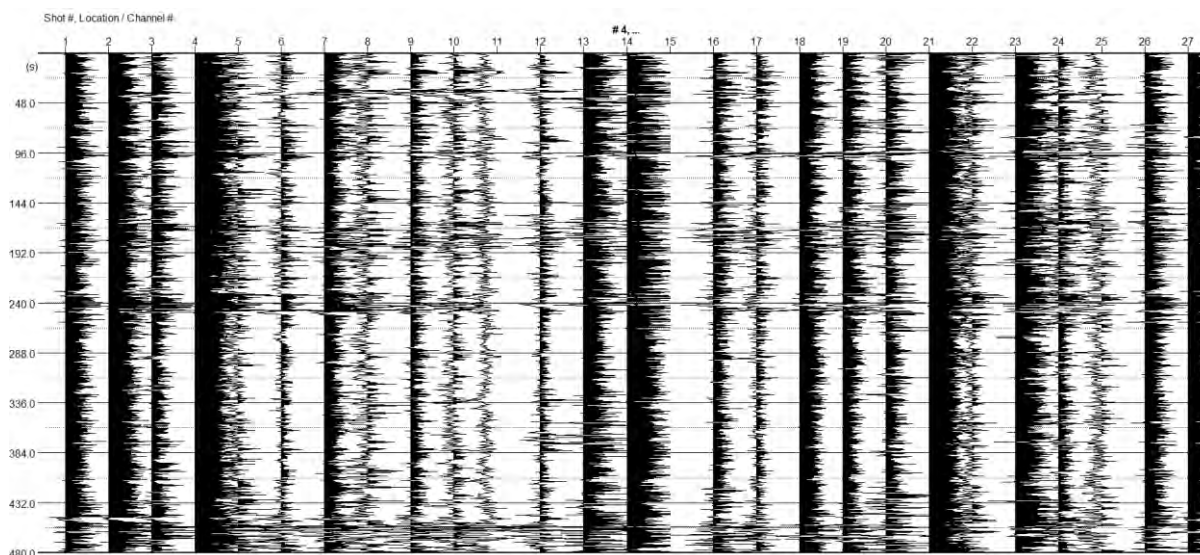


Figur 141 Till vänster: Frekvens-fashastighetspektrum för Rec4 med 50% aktiva geofoner för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvstångshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

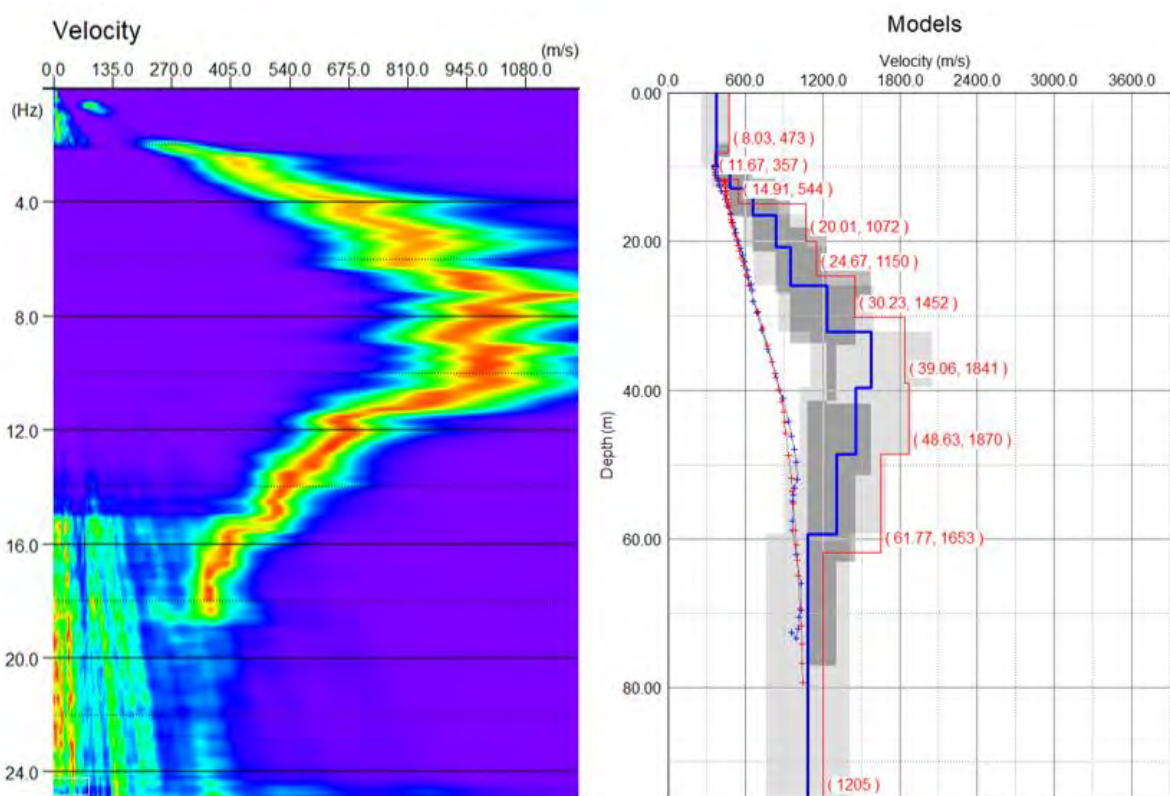
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	ν	ρ (t/m ³)
1	9,67	382	30	0,25	2,3
2	12,67	468	30	0,25	2,42
3	16,27	644	30	0,25	2,42
4	20,59	813	30	0,25	2,42
5	25,77	1041	30	0,25	2,42
6	31,99	1269	30	0,25	2,42
7	39,45	1363	30	0,25	2,42
8	48,41	1241	30	0,25	2,42
9	59,16	1096	30	0,25	2,42
10	85	1026	30	0,25	2,42

Figur 142 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Rec4 med 50% aktiva geofoner för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle.

1.3.1.2 Rec4 – 33% aktiva



Figur 143 Seismiska data för Rec4 med 33% aktiva geofoner för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

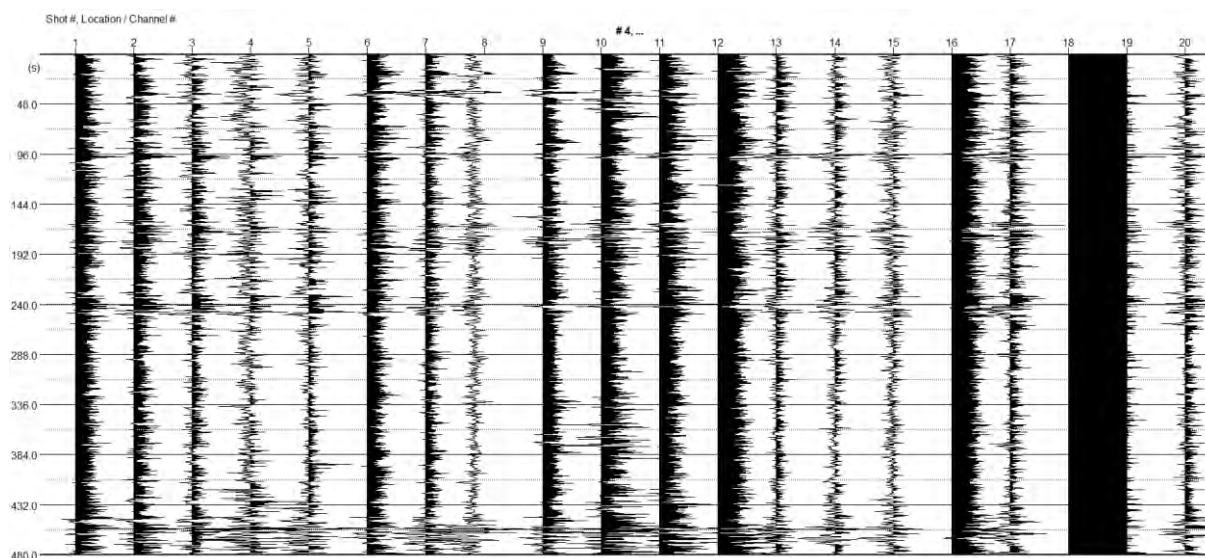


Figur 144 Till vänster: Frekvens-fashastighetspektrum för Rec4 med 33% aktiva geofoner för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

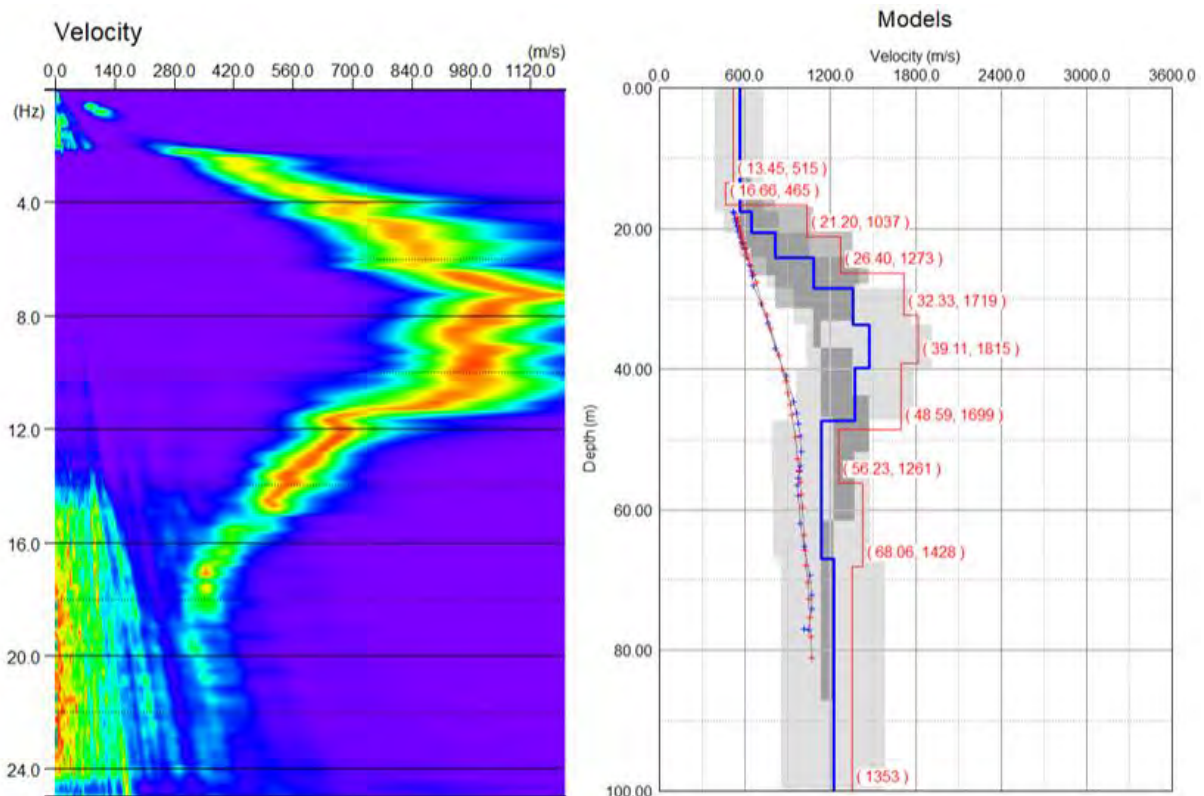
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	ν	ρ (t/m ³)
1	9,84	372	30	0,25	2,3
2	12,84	482	30	0,25	2,42
3	16,44	661	30	0,25	2,42
4	20,76	834	30	0,25	2,42
5	25,94	948	30	0,25	2,42
6	32,16	1230	30	0,25	2,42
7	39,62	1580	30	0,25	2,42
8	48,58	1461	30	0,25	2,42
9	59,33	1306	30	0,25	2,42
10	95	1087	30	0,25	2,42

Figur 145 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Rec4 med 33% aktiva geofoner för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle.

1.3.1.3 Rec4 – 25% aktiva



Figur 146 Seismiska data för Rec4 med 25% aktiva geofoner för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

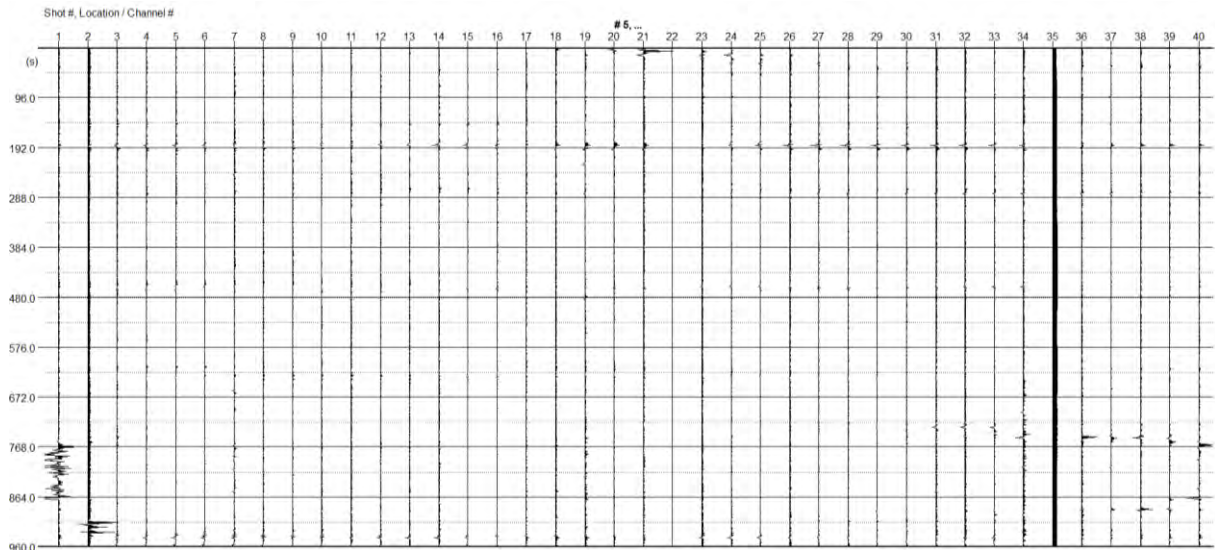


Figur 147 Till vänster: Frekvens-fashastighetspektrum för Rec4 med 25% aktiva geofoner för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

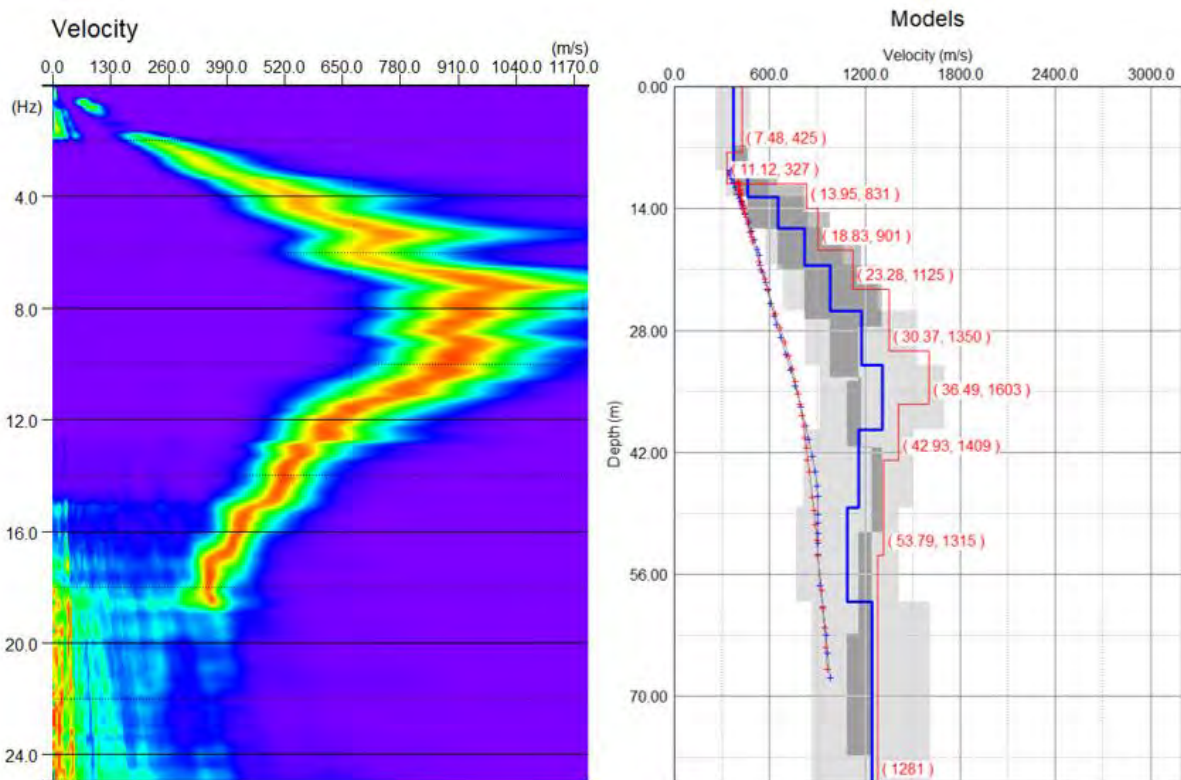
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	ν	ρ (t/m ³)
1	17,56	562	30	0,25	2,42
2	20,56	649	30	0,25	2,42
3	24,16	811	30	0,25	2,42
4	28,48	1081	30	0,25	2,42
5	33,66	1359	30	0,25	2,42
6	39,88	1476	30	0,25	2,42
7	47,34	1375	30	0,25	2,42
8	56,3	1139	30	0,25	2,42
9	67,05	1140	30	0,25	2,42
10	100	1223	30	0,25	2,42

Figur 148 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Rec4 med 25% aktiva geofoner för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle.

1.3.1.4 Rec5 – 50% aktiva



Figur 149 Seismiska data för Rec5 med 50% aktiva geofoner för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

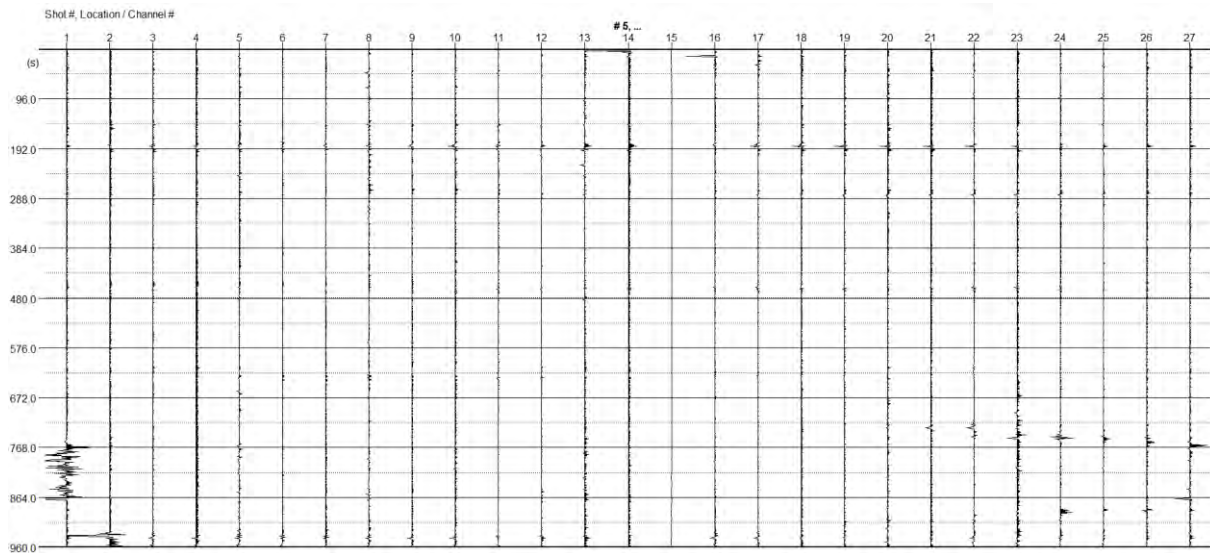


Figur 150 Till vänster: Frekvens-fashastighetspektrum för Rec5 med 50% aktiva geofoner för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inersionsprocessen.

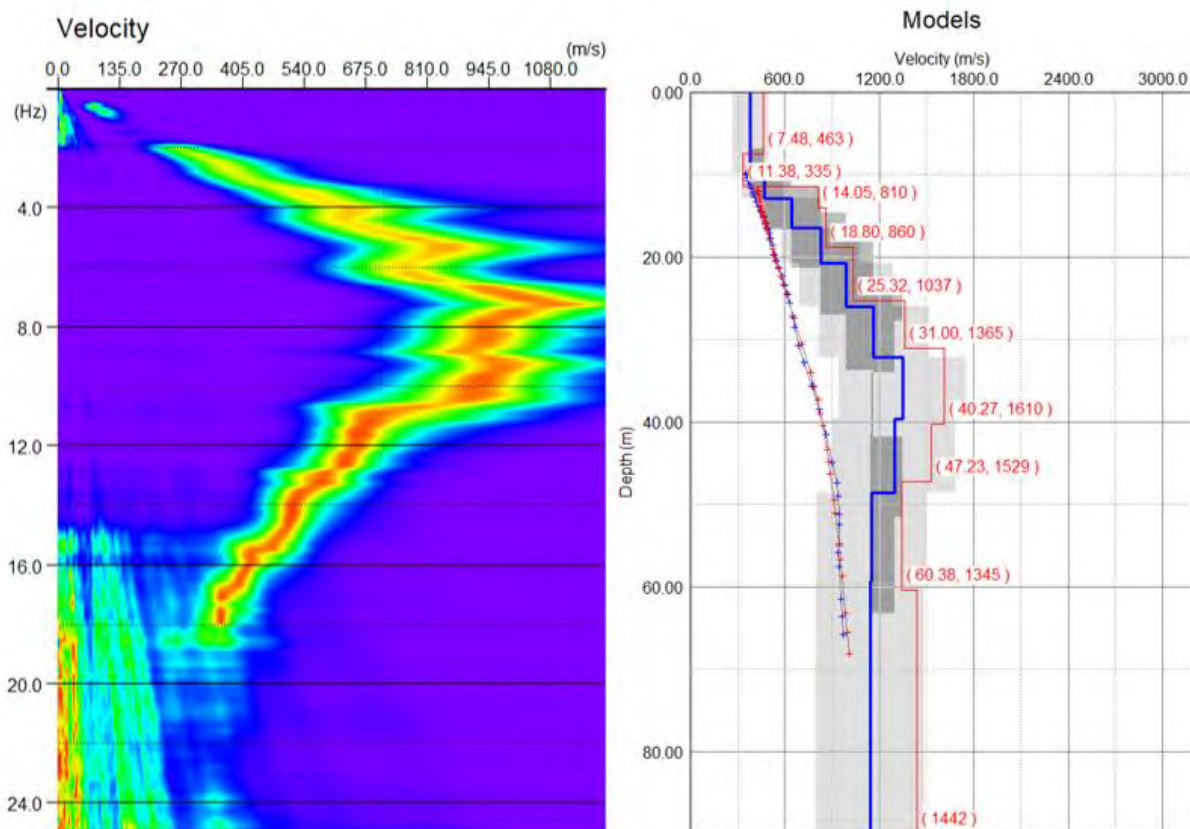
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	ν	ρ (t/m ³)
1	9,62	370	30	0,25	2,3
2	12,62	461	30	0,25	2,42
3	16,22	651	30	0,25	2,42
4	20,54	821	30	0,25	2,42
5	25,72	983	30	0,25	2,42
6	31,94	1180	30	0,25	2,42
7	39,4	1309	30	0,25	2,42
8	48,36	1160	30	0,25	2,42
9	59,11	1091	30	0,25	2,42
10	80	1243	30	0,25	2,42

Figur 151 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Rec5 med 50% aktiva geofoner för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle.

1.3.1.5 Rec5 – 33% aktiva



Figur 152 Seismiska data för Rec5 med 33% aktiva geofoner för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

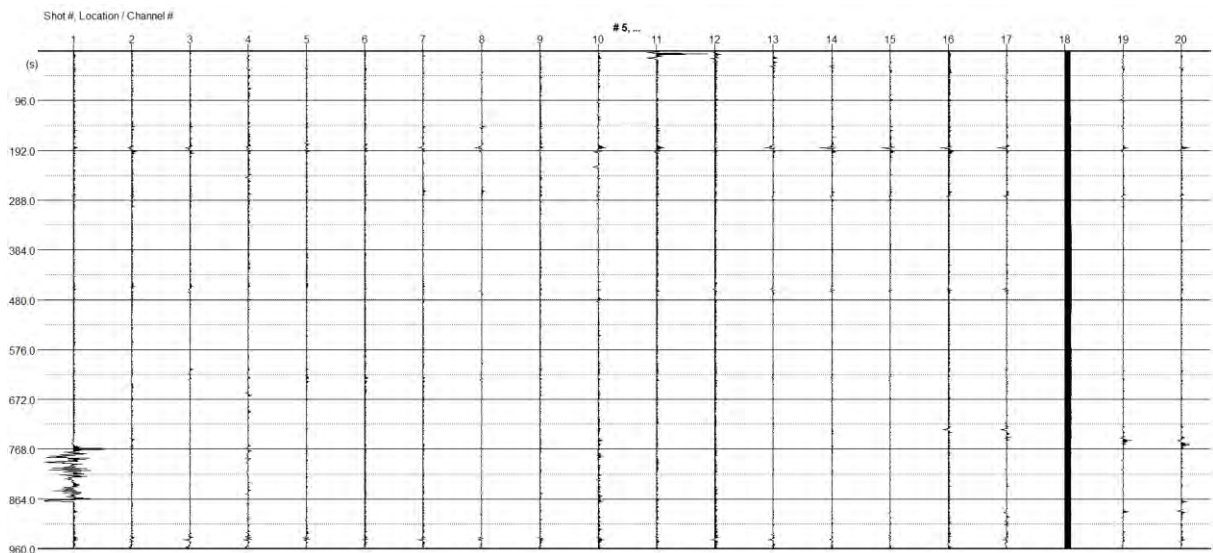


Figur 153 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec5 med 33% aktiva geofoner för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvstångshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

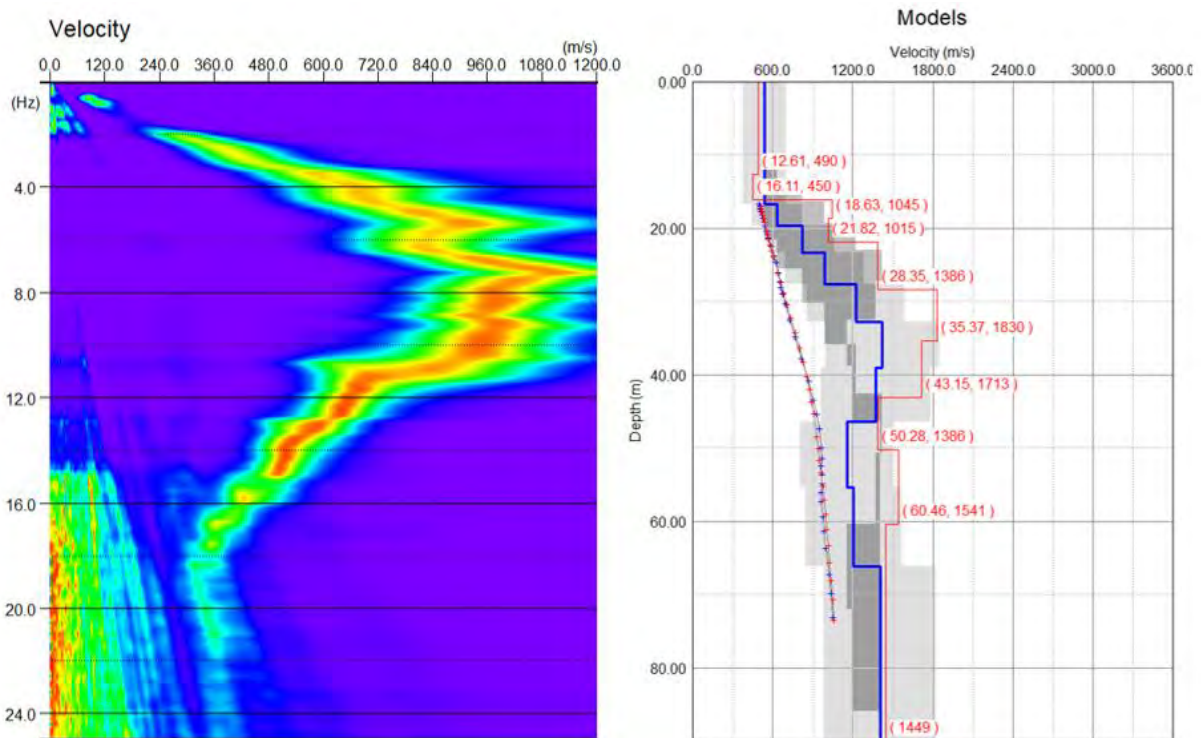
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	v	ρ (t/m ³)
1	9,87	381	30	0,25	2,3
2	12,87	472	30	0,25	2,42
3	16,47	644	30	0,25	2,42
4	20,79	828	30	0,25	2,42
5	25,97	989	30	0,25	2,42
6	32,19	1166	30	0,25	2,42
7	39,65	1347	30	0,25	2,42
8	48,61	1297	30	0,25	2,42
9	59,36	1151	30	0,25	2,42
10	90	1141	30	0,25	2,42

Figur 154 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Rec5 med 33% aktiva geofoner för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle.

1.3.1.6 Rec5 – 25% aktiva



Figur 155 Seismiska data för Rec5 med 25% aktiva geofoner för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.



Figur 156 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec5 med 25% aktiva geofoner för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	v	ρ (t/m ³)
1	16,67	537	30	0,25	2,42
2	19,67	634	30	0,25	2,42
3	23,27	819	30	0,25	2,42
4	27,59	988	30	0,25	2,42
5	32,77	1223	30	0,25	2,42
6	38,99	1423	30	0,25	2,42
7	46,45	1370	30	0,25	2,42
8	55,41	1156	30	0,25	2,42
9	66,16	1207	30	0,25	2,42
10	90	1404	30	0,25	2,42

Figur 157 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Rec5 med 25% aktiva geofoner för stor cirkel i Tornhill, Passive Circle.

1.3.2 Tornhill – Liten cirkel

Eftersom det i tidigare skeden har bedömts att seismiska data var av för låg kvalitet för att skapa modeller över skjuvstångshastigheten i förhållande till djupet, har ingen inaktivering av geofoner skett.

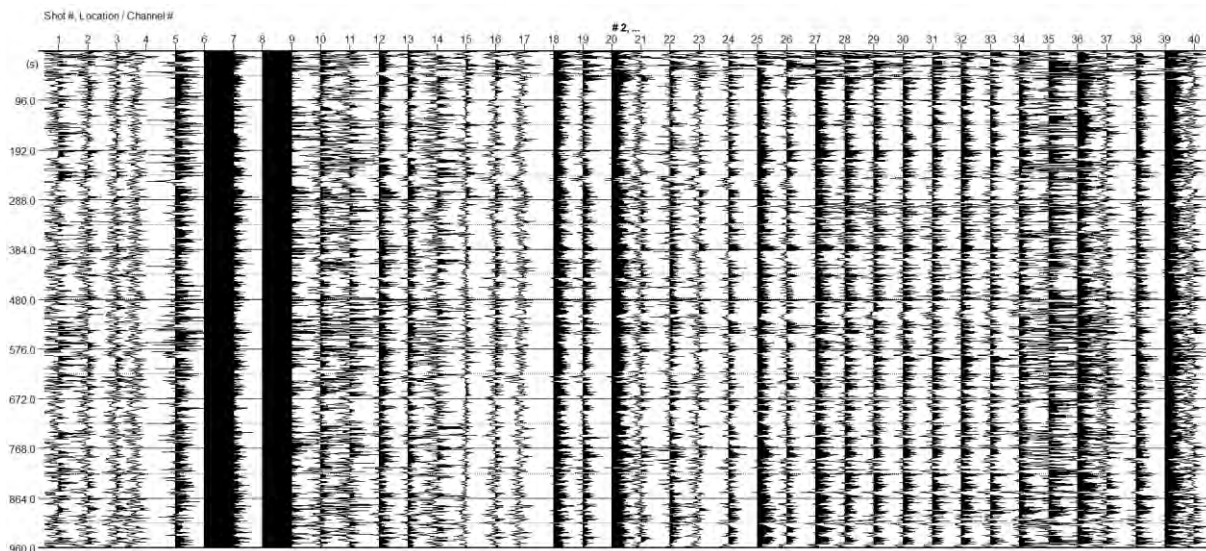
1.3.3 Greve – Stor cirkel

Inaktivering av geofoner har skett för den stora cirkeln i Greve, enligt Tabell 14 nedan.

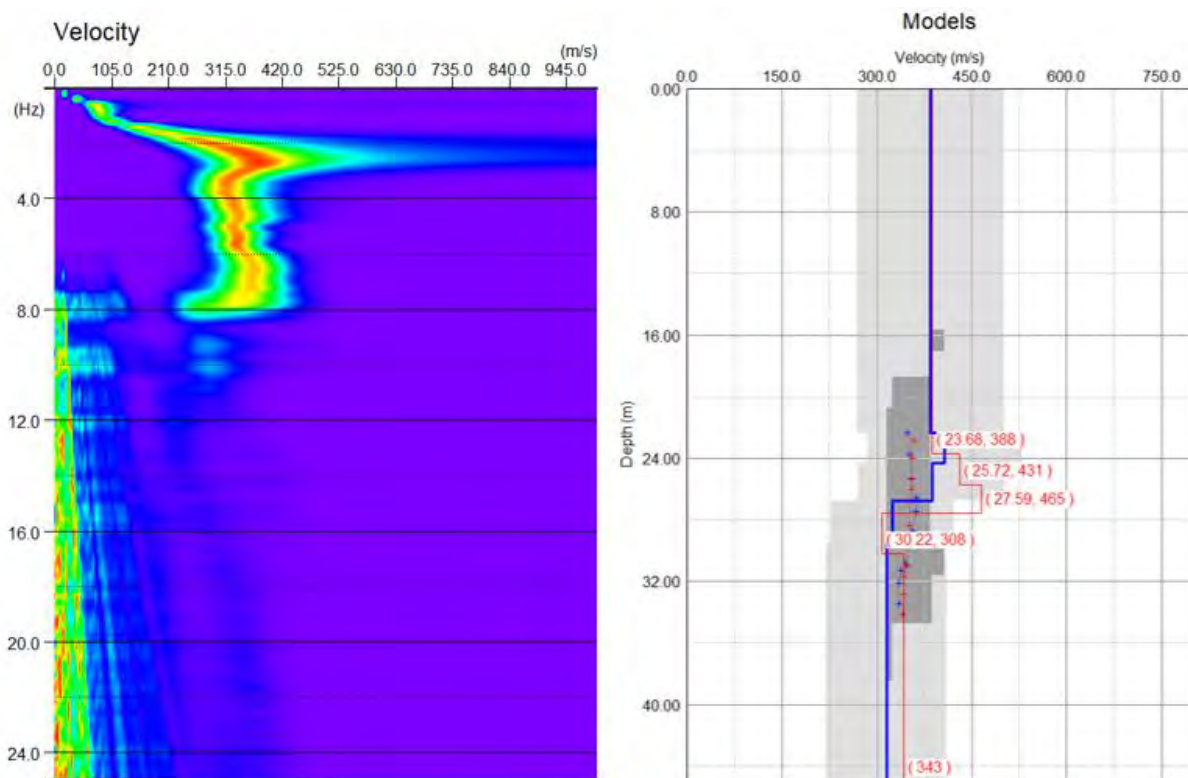
Tabell 14 Sammanfattning av mätningarnas resultat. Samplingsintervall och mättid för mätningarna beskrivs. Startdjup är det första djup som anges i siffror i den inversa modellen. I inversionsprocessen testades flera kombinationer av upplösning för hastighet och djup, och den som gav lägst misfit valdes.

MÄTNINGENS NAMN	SAMPLINGSINTERVALL [ms]	MÄTTID [ms]	STARTDJUP [m]	UPPLÖSNING HASTIGHET [m/s]	UPPLÖSNING DJUP [m]	MISFIT [%]
Rec2						
50% aktiva	8	960 000	23,68	2,0	0,1	1,87
33% aktiva	8	960 000	19,01	4,0	0,2	1,43
25% aktiva	8	960 000	20,62	2,0	0,1	1,55
Rec3						
50% aktiva	4	480 000	18,24	4,0	0,2	2,31
33% aktiva	4	480 000	25,42	2,0	0,1	0,55
25% aktiva	4	480 000	13,26	6,0	0,3	3,93

1.3.3.1 Rec2 – 50% aktiva



Figur 158 Seismiska data för Rec2 med 50% aktiva geofoner för stor cirkel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

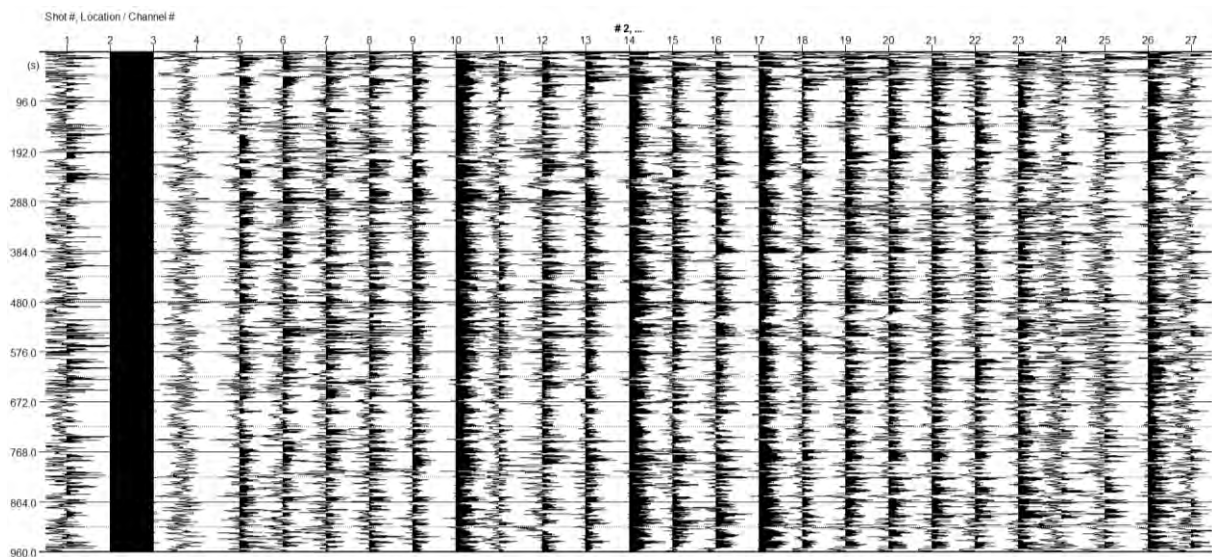


Figur 159 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec2 med 50% aktiva geofoner för stor cirkel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

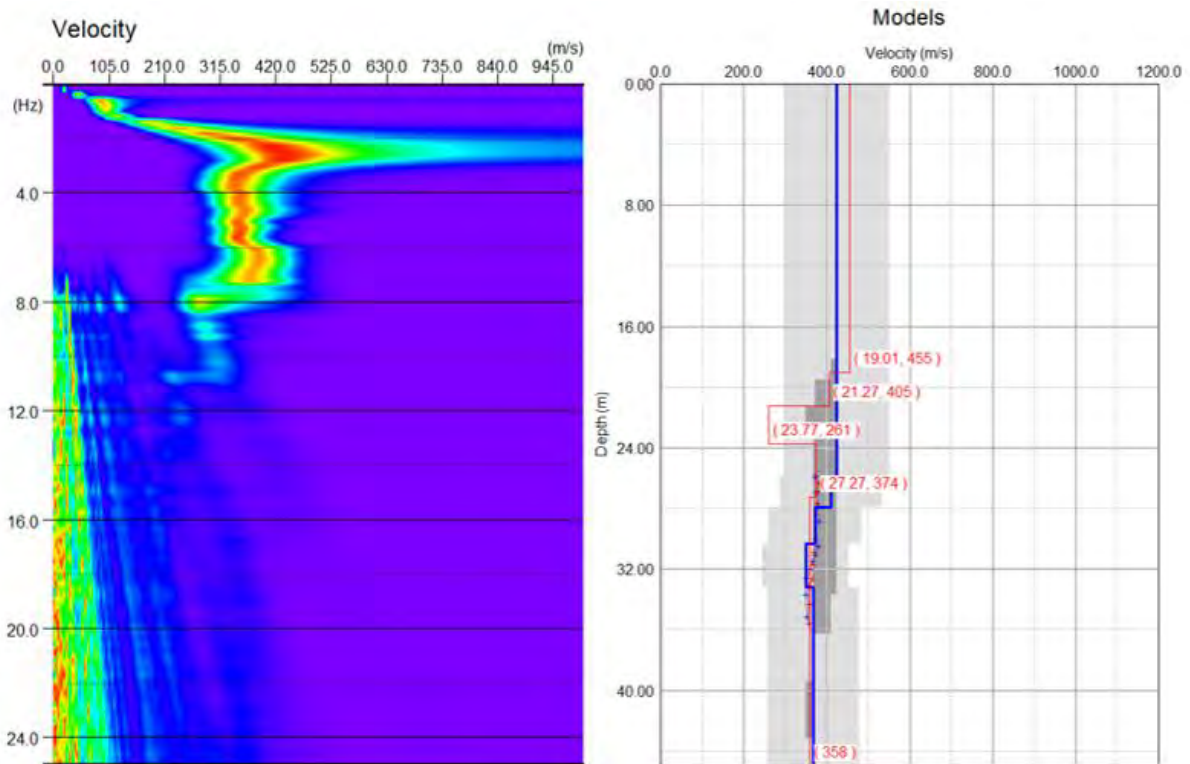
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	v	ρ (t/m ³)
1	22,34	385	30	0,35	2
2	24,34	407	30	0,35	2
3	26,74	387	30	0,35	2
4	29,62	324	30	0,35	2
5	45	315	30	0,35	2

Figur 160 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec2 med 50% aktiva geofoner för stor cirkel i Greve.

1.3.3.2 Rec2 – 33% aktiva



Figur 161 Seismiska data för Rec2 med 33% aktiva geofoner för stor cirkel i Greve. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

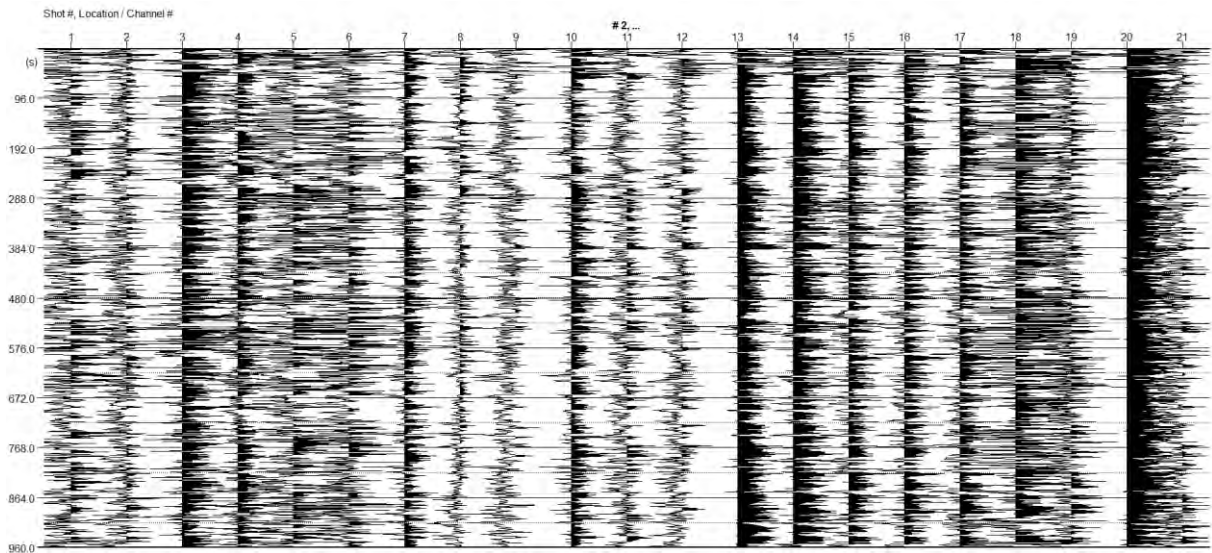


Figur 162 Till vänster: Frekvens-fashastighetspektrum för Rec2 med 33% aktiva geofoner för stor cirkel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvstångshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

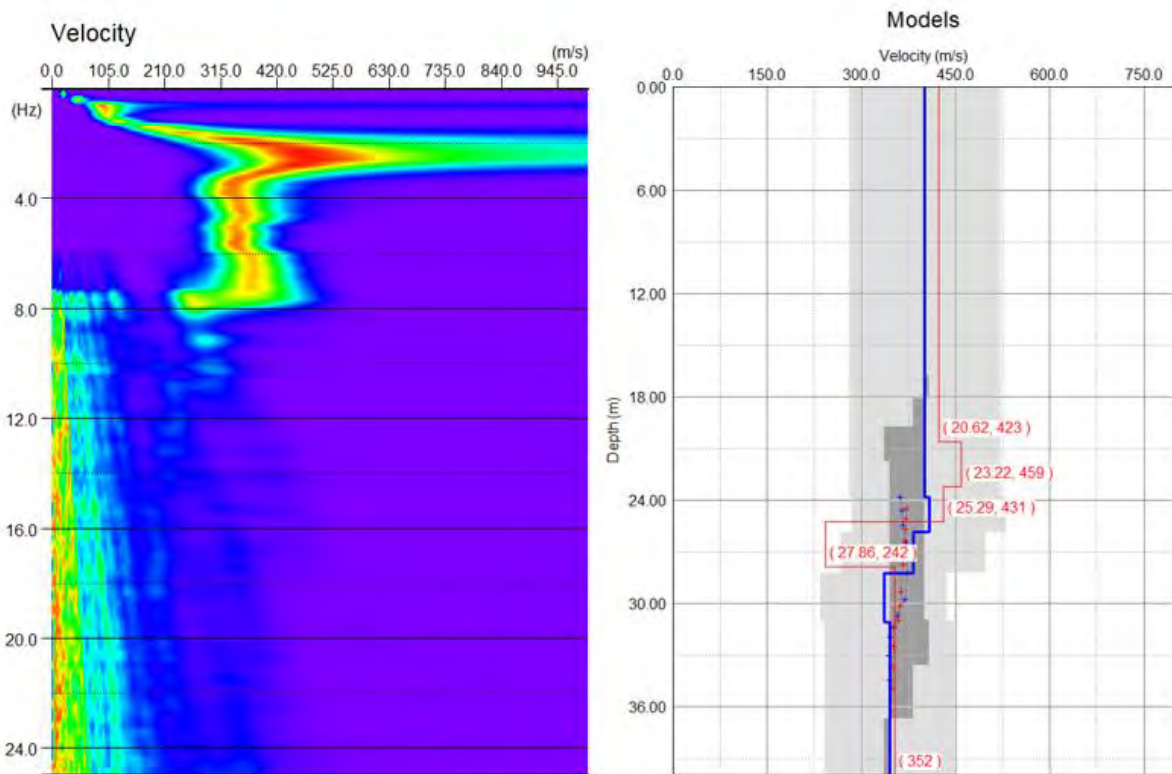
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	v	ρ (t/m ³)
1	25,93	425	30	0,35	2
2	27,93	411	30	0,35	2
3	30,33	373	30	0,35	2
4	33,21	349	30	0,35	2
5	45	367	30	0,35	2

Figur 163 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec2 med 33% aktiva geofoner för stor cirkel i Grevie.

1.3.3.3 Rec2 – 25% aktiva



Figur 164 Seismiska data för Rec2 med 25% aktiva geofoner för stor cirkel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

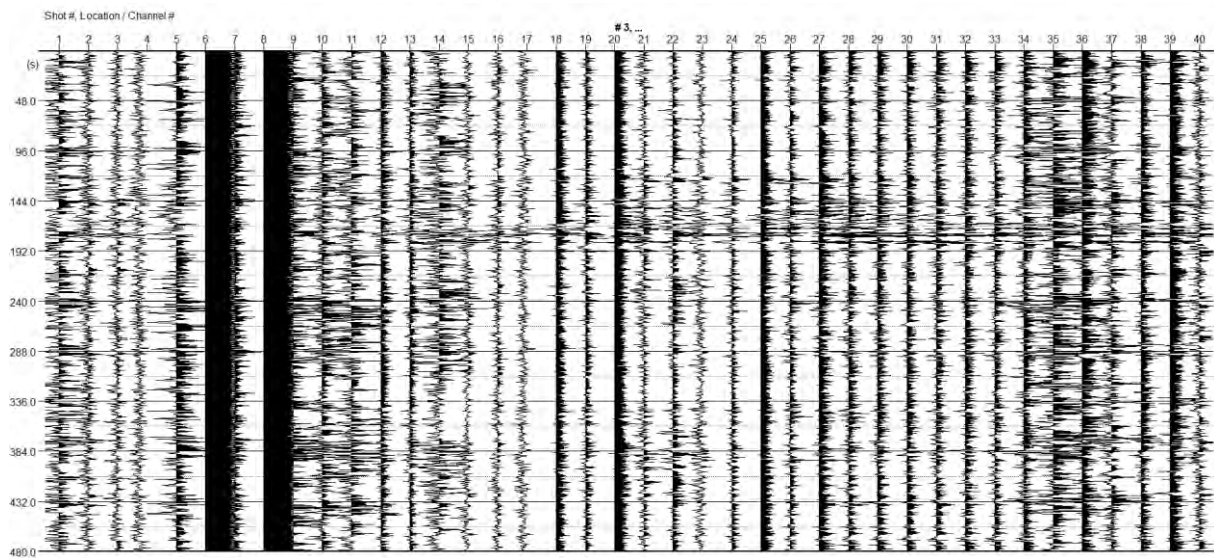


Figur 165 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec2 med 25% aktiva geofoner för stor cirkel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

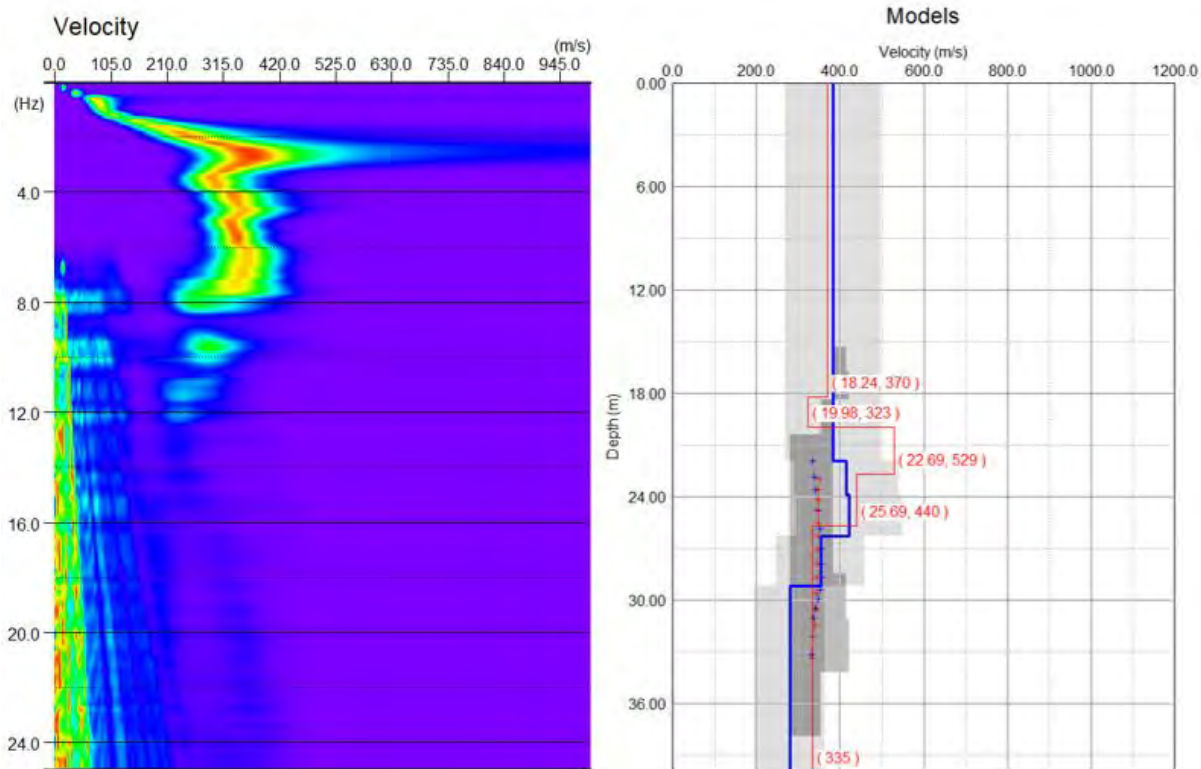
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	v	ρ (t/m ³)
1	23,85	401	30	0,35	2
2	25,85	408	30	0,35	2
3	28,25	383	30	0,35	2
4	31,13	336	30	0,35	2
5	40	345	30	0,35	2

Figur 166 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec2 med 25% aktiva geofoner för stor cirkel i Grevie.

1.3.3.4 Rec3 – 50% aktiva



Figur 167 Seismiska data för Rec3 med 50% aktiva geofoner för stor cirkel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

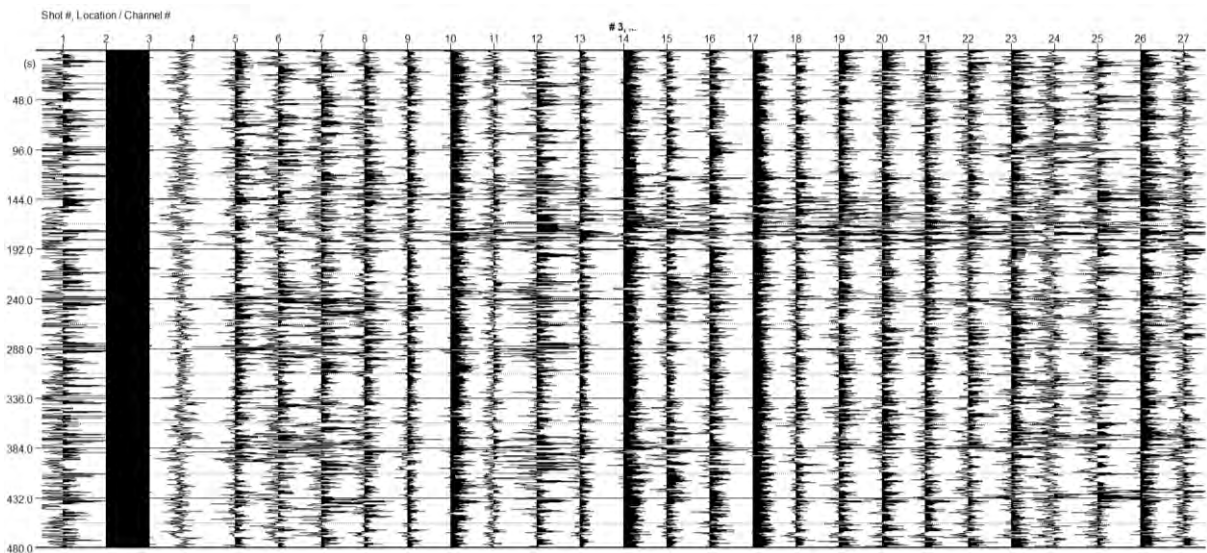


Figur 168 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec3 med 50% aktiva geofoner för stor cirkel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

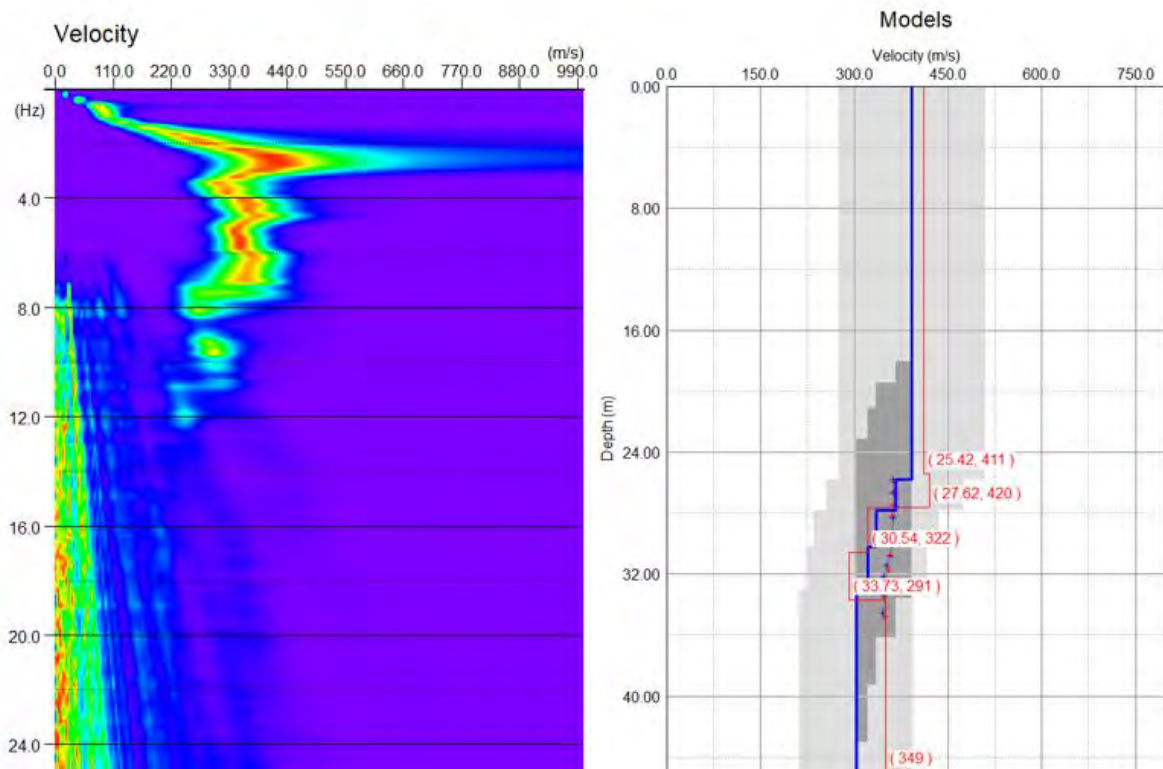
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	v	ρ (t/m ³)
1	21,91	383	30	0,35	2
2	23,91	416	30	0,35	2
3	26,31	422	30	0,35	2
4	29,19	354	30	0,35	2
5	40	280	30	0,35	2

Figur 169 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec3 med 50% aktiva geofoner för stor cirkel i Grevie.

1.3.3.5 Rec3 – 33% aktiva



Figur 170 Seismiska data för Rec3 med 33% aktiva geofoner för stor cirkel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

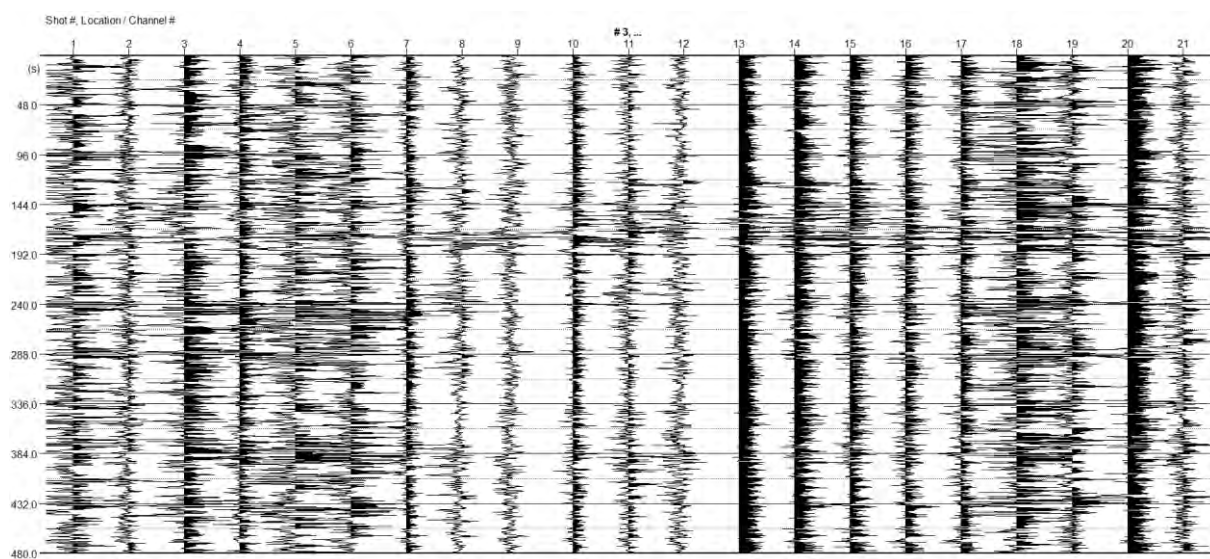


Figur 171 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec3 med 33% aktiva geofoner för stor cirkel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

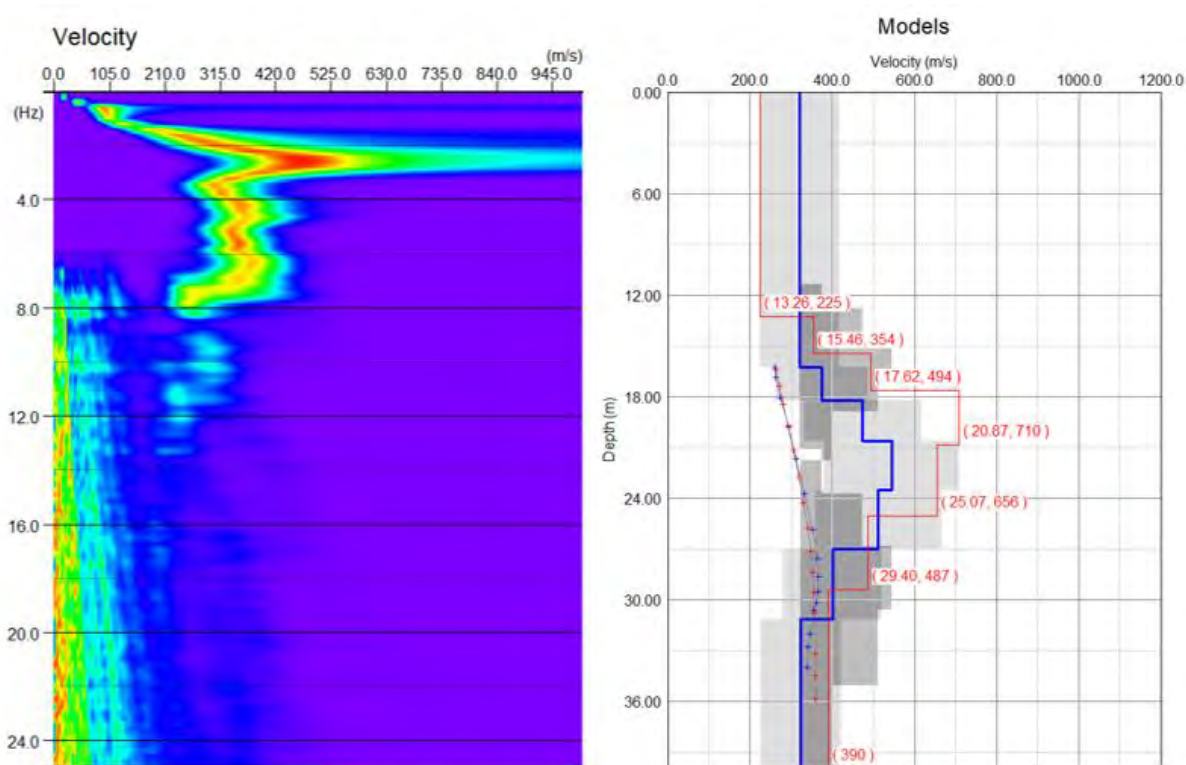
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	v	ρ (t/m ³)
1	25,81	392	30	0,35	2
2	27,81	366	30	0,35	2
3	30,21	335	30	0,35	2
4	33,09	321	30	0,35	2
5	45	304	30	0,35	2

Figur 172 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec3 med 33% aktiva geofoner för stor cirkel i Grevie.

1.3.3.6 Rec3 – 25% aktiva



Figur 173 Seismiska data för Rec3 med 25% aktiva geofoner för stor cirkel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.



Figur 174 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec3 med 25% aktiva geofoner för stor cirkel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	ν	ρ (t/m ³)
1	16,25	321	30	0,35	2
2	18,25	374	30	0,35	2
3	20,65	474	30	0,35	2
4	23,53	546	30	0,35	2
5	26,99	512	30	0,35	2
6	31,14	401	30	0,35	2
7	40	324	30	0,35	2

Figur 175 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec3 med 25% aktiva geofoner för stor cirkel i Grevie.

1.3.4 Greive – Liten cirkel

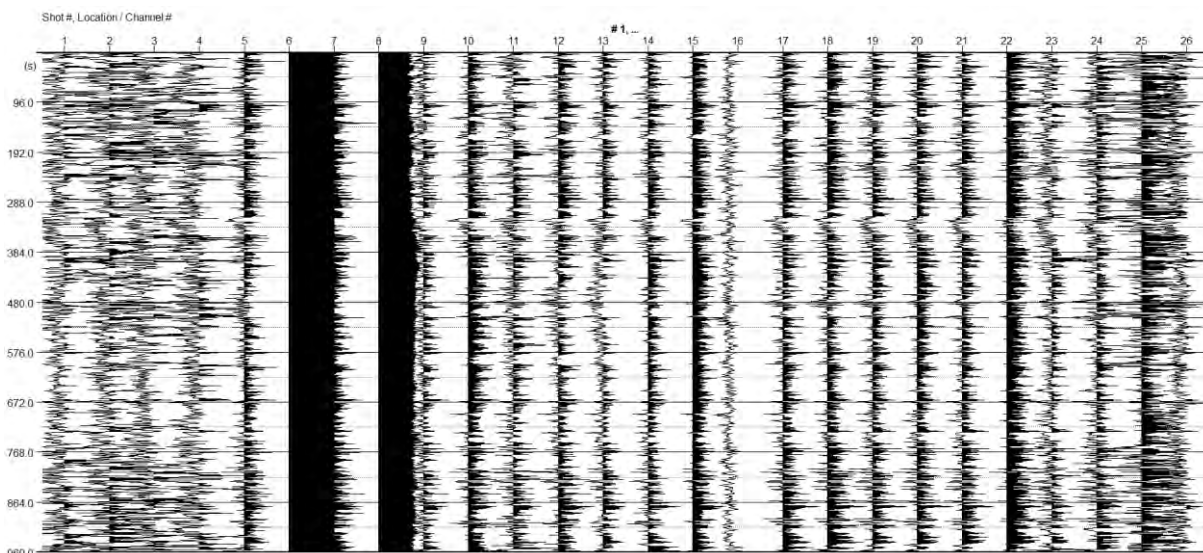
Mätningarna från den mindre cirkeluppställningen i Grevie har analyserats genom inaktivering av geofoner, se sammanfattning nedan (Tabell 15).

Tabell 15 Sammanfattning av mätningarnas resultat. Samplingsintervall och mättid för mätningarna beskrivs. Startdjup är det första djup som anges i siffror i den inversa modellen. I inversionsprocessen testades flera kombinationer av upplösning för hastighet och djup, och den som gav lägst misfit valdes.

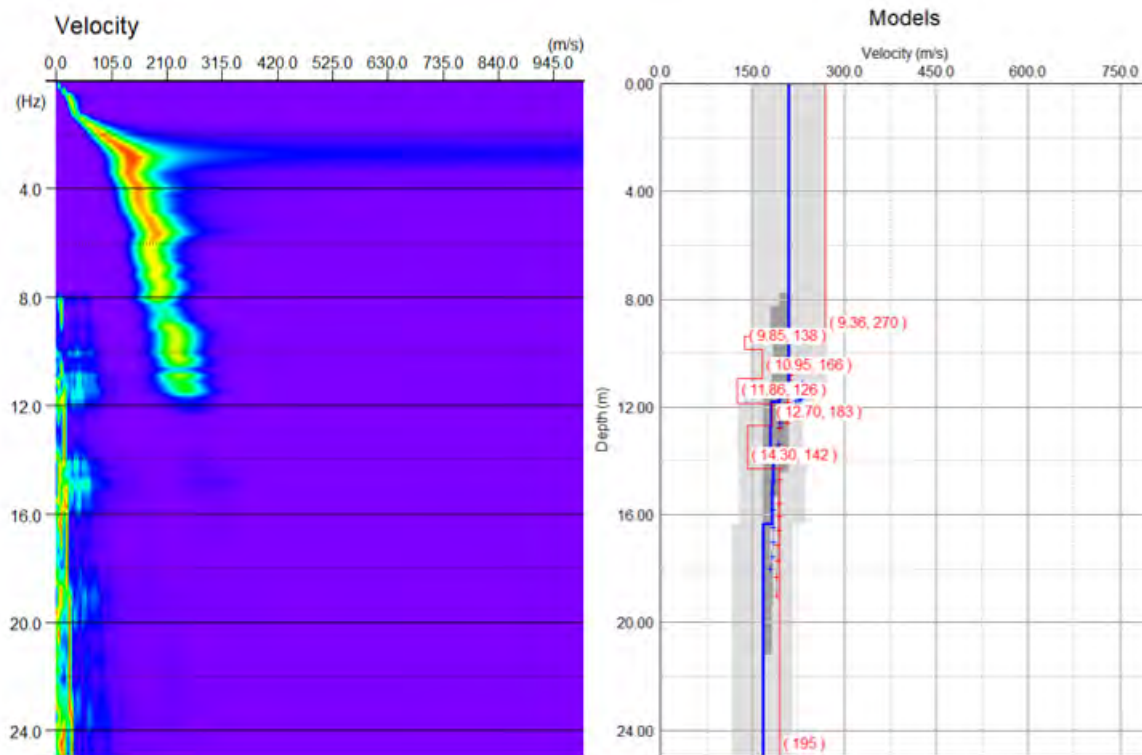
MÄTNINGENS NAMN	SAMPLINGSINTERVALL [ms]	MÄTTID [ms]	STARTDJUP P [m]	UPPLÖSNING HASTIGHET [m/s]	UPPLÖSNING DJUP [m]	MISFIT [%]
Rec1						
50% aktiva	8	960 000	9,36	2,0	0,2	5,14

33% aktiva	8	960 000	12,54	4,0	0,1	1,23
25% aktiva	8	960 000	16,05	2,0	0,2	5,09
Rec3						
50% aktiva	4	480 000	12,88	4,0	0,2	1,42
33% aktiva	4	480 000	9,71	2,0	0,2	2,53
25% aktiva	4	480 000	18,62	4,0	0,2	4,08

1.3.4.1 Rec1 – 50% aktiva



Figur 176 Seismiska data för Rec1 med 50% aktiva geofoner för liten cirkel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.



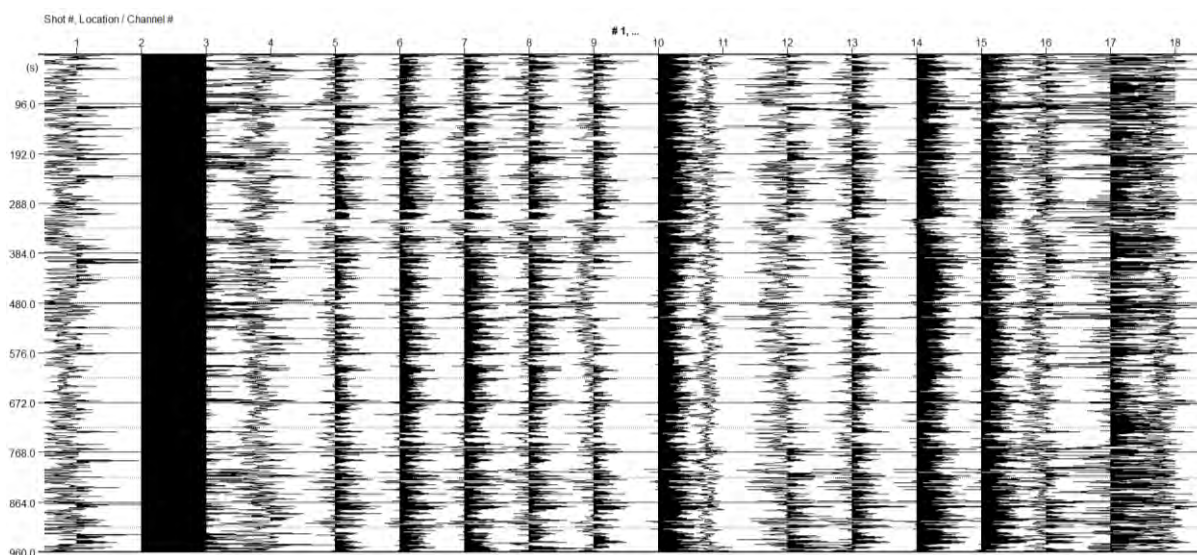
Figur 177 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec1 med 50% aktiva geofoner för liten cirkel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande

till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

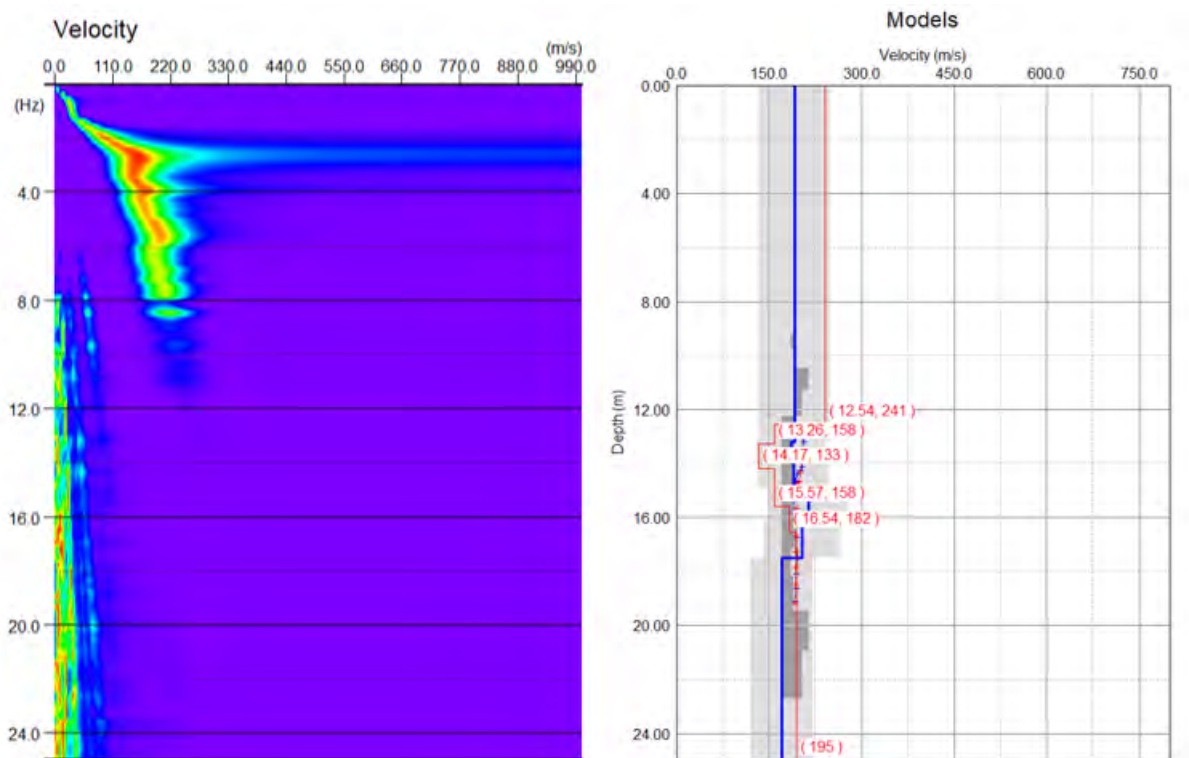
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	ν	ρ (t/m ³)
1	11,11	209	30	0,35	2
2	11,81	194	30	0,35	2
3	12,65	181	30	0,35	2
4	13,66	180	30	0,35	2
5	14,87	184	30	0,35	2
6	16,32	183	30	0,35	2
7	25	167	30	0,35	2

Figur 178 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec1 med 50% aktiva geofoner för liten cirkel i Greve.

1.3.4.2 Rec1 – 33% aktiva



Figur 179 Seismiska data för Rec1 med 33% aktiva geofoner för liten cirkel i Greve. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

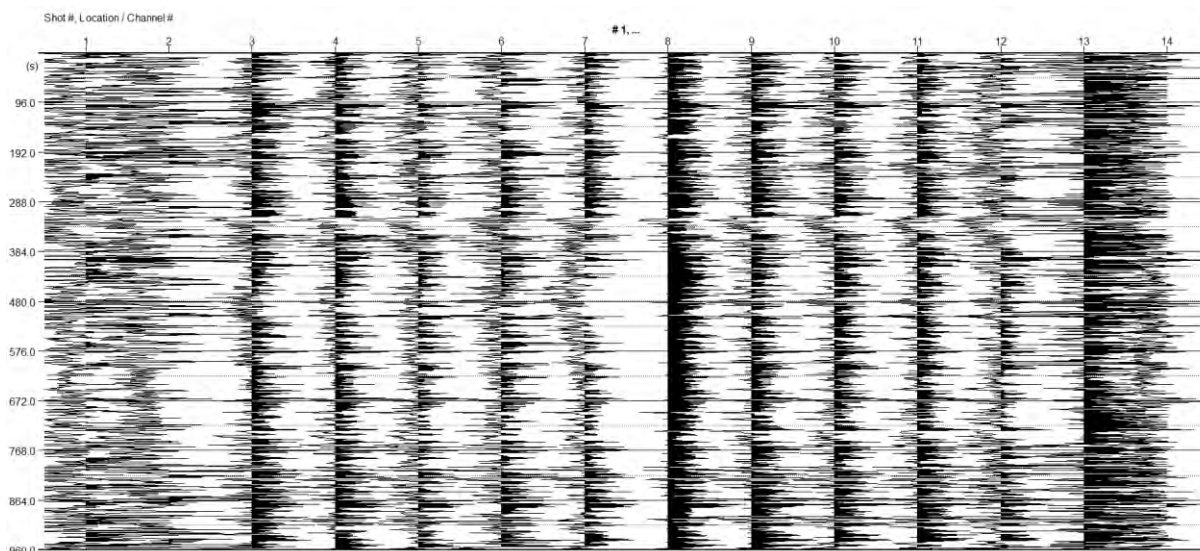


Figur 180 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec1 med 33% aktiva geofoner för liten cirkel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

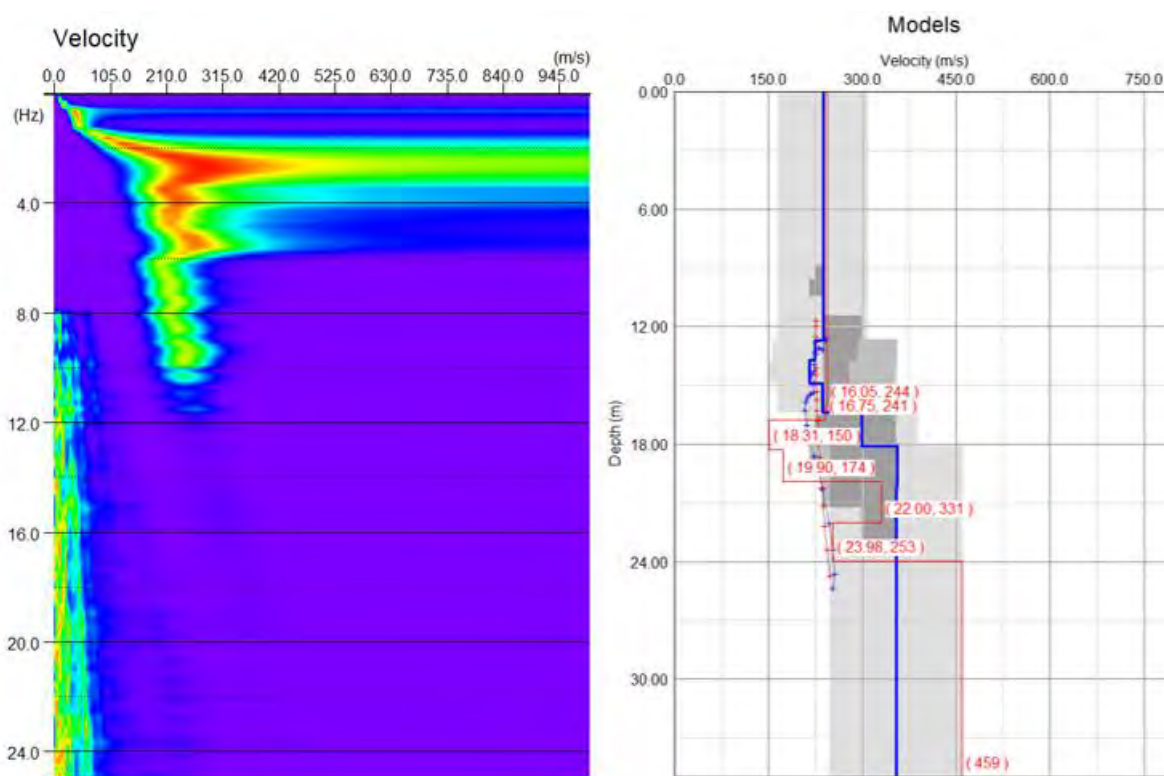
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	ν	ρ (t/m ³)
1	13,19	191	30	0,35	2
2	13,99	185	30	0,35	2
3	14,95	190	30	0,35	2
4	16,1	214	30	0,35	2
5	17,48	204	30	0,35	2
6	25	170	30	0,35	2

Figur 181 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec1 med 33% aktiva geofoner för liten cirkel i Grevie.

1.3.4.3 Rec1 – 25% aktiva



Figur 182 Seismiska data för Rec1 med 25% aktiva geofoner för liten cirkel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

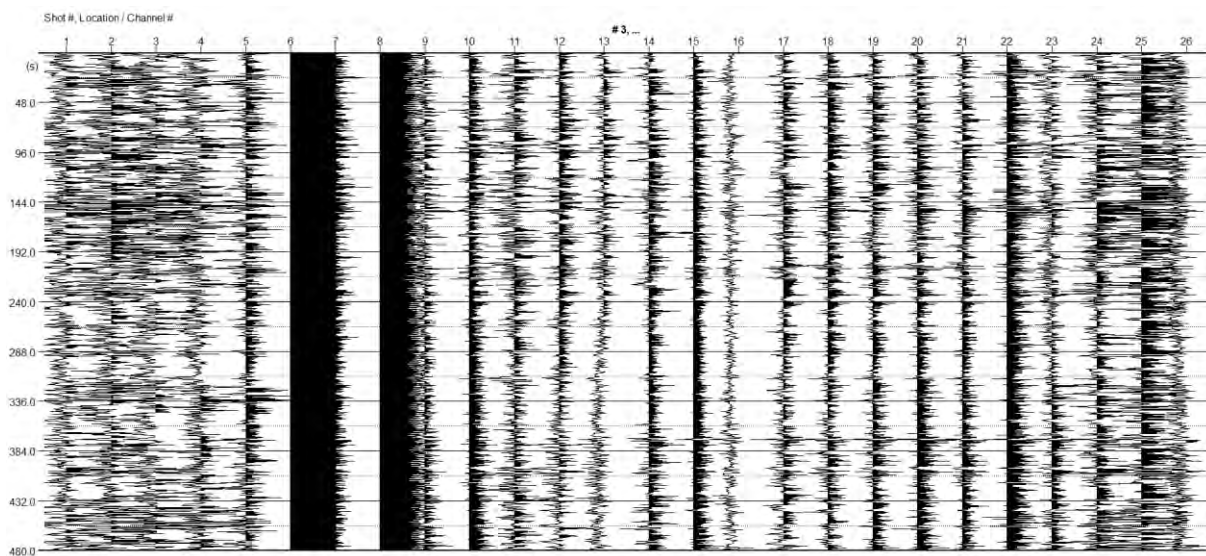


Figur 183 Till vänster: Frekvens-fashastighetspektrum för Rec1 med 25% aktiva geofoner för liten cirkel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvstångshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

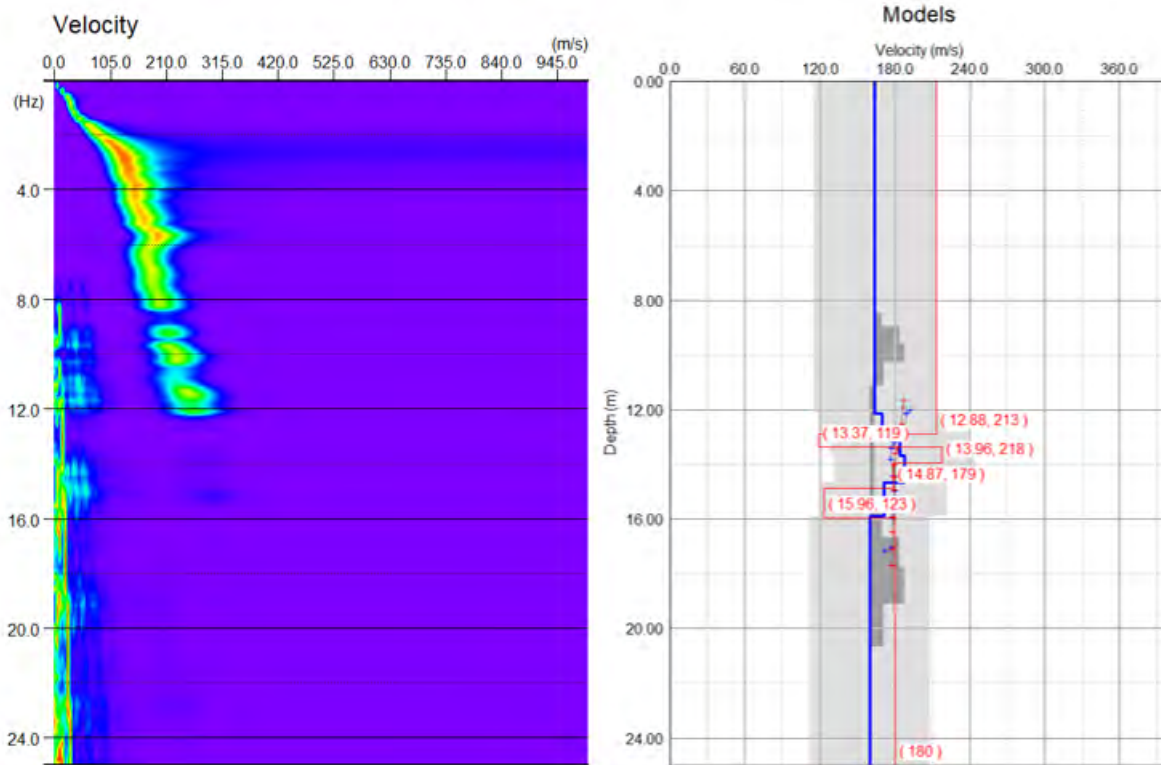
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	v	ρ (t/m ³)
1	12,72	238	30	0,35	2
2	13,72	225	30	0,35	2
3	14,92	215	30	0,35	2
4	16,36	236	30	0,35	2
5	18,09	299	30	0,35	2
6	20,16	356	30	0,35	2
7	35	354	30	0,35	2

Figur 184 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec1 med 25% aktiva geofoner för liten cirkel i Greve.

1.3.4.4 Rec3 – 50% aktiva



Figur 185 Seismiska data för Rec3 med 50% aktiva geofoner för liten cirkel i Greve. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

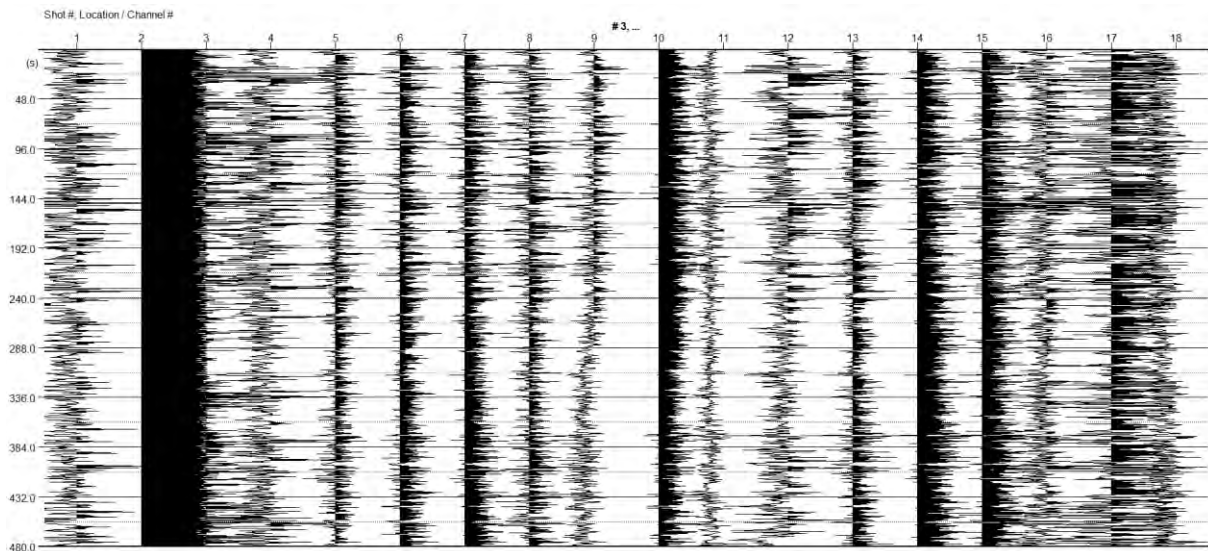


Figur 186 Till vänster: Frekvens-fashastighetspektrum för Rec3 med 50% aktiva geofoner för liten cirkel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

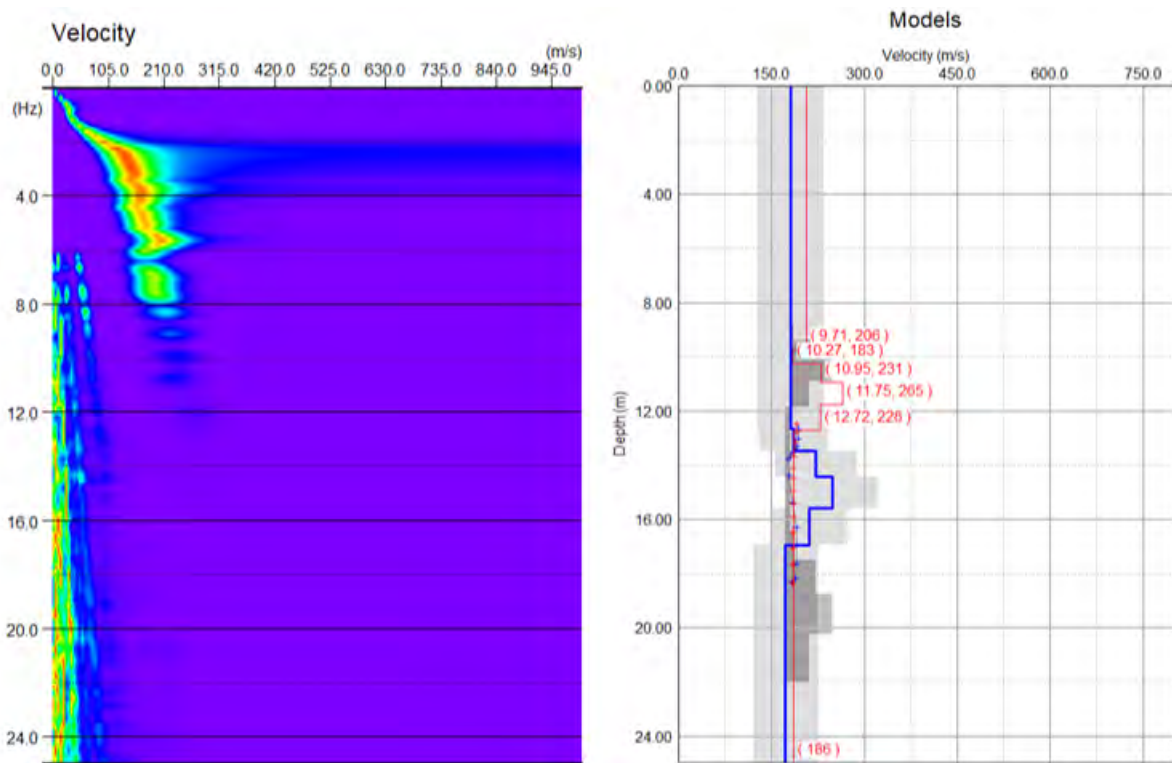
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	ν	ρ (t/m ³)
1	12,13	164	30	0,35	2
2	12,83	170	30	0,35	2
3	13,67	184	30	0,35	2
4	14,68	188	30	0,35	2
5	15,89	171	30	0,35	2
6	25	160	30	0,35	2

Figur 187 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec3 med 50% aktiva geofoner för liten cirkel i Grevie.

1.3.4.5 Rec3 – 33% aktiva



Figur 188 Seismiska data för Rec3 med 33% aktiva geofoner för liten cirkel i Greve. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

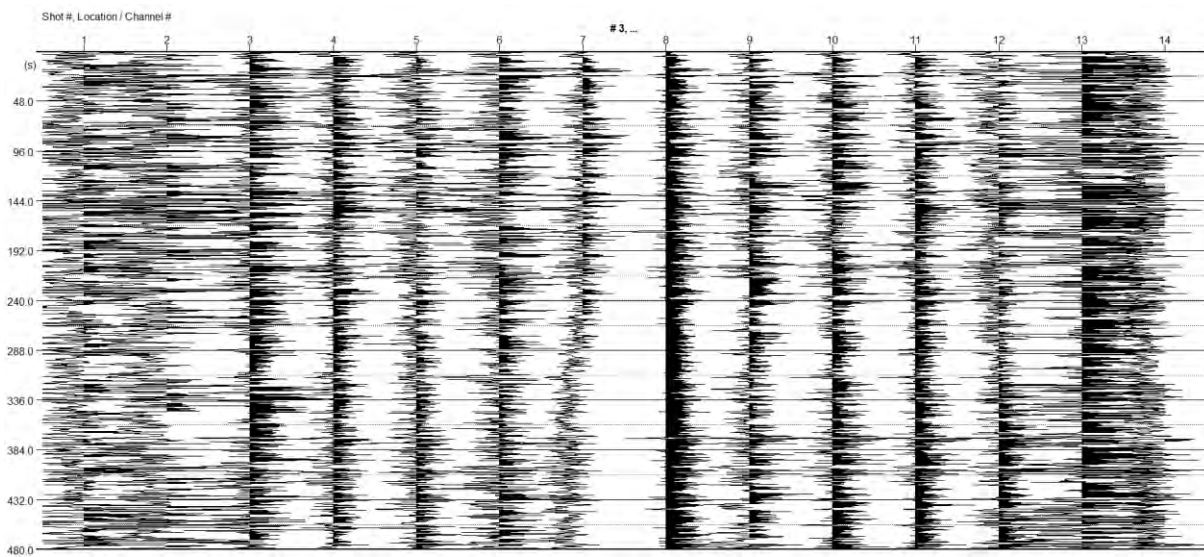


Figur 189 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec3 med 33% aktiva geofoner för liten cirkel i Greve. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

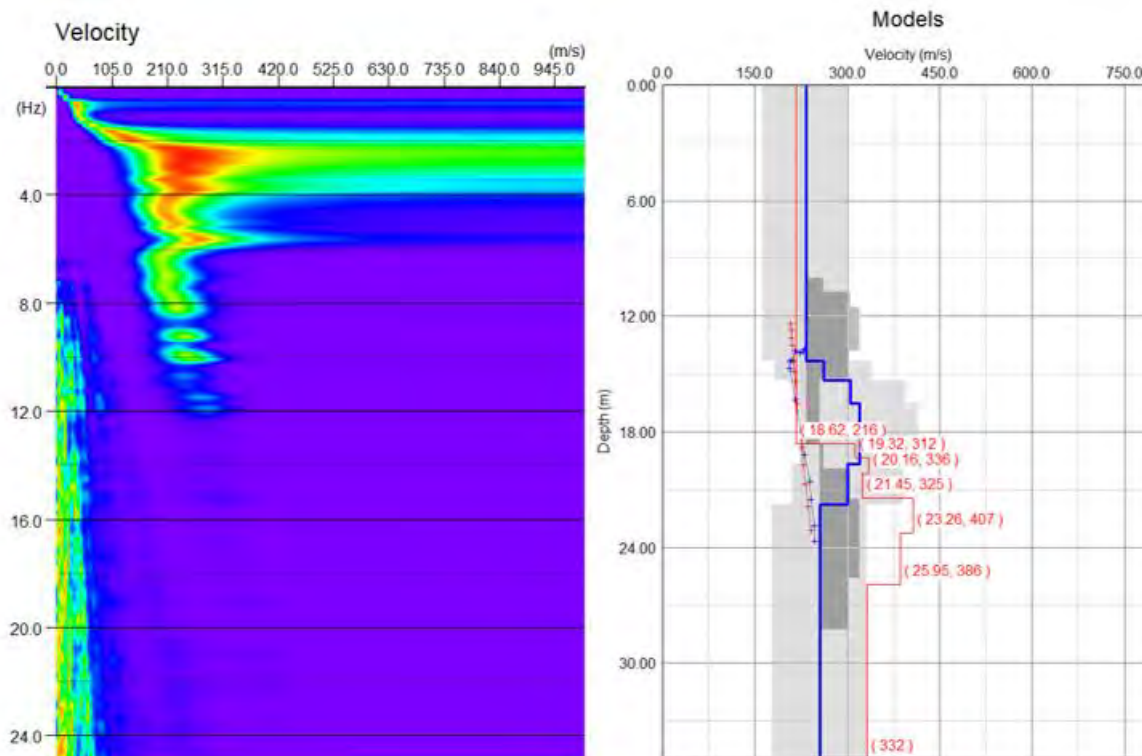
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	v	ρ (t/m ³)
1	12,67	181	30	0,35	2
2	13,47	186	30	0,35	2
3	14,43	222	30	0,35	2
4	15,58	248	30	0,35	2
5	16,96	211	30	0,35	2
6	25	172	30	0,35	2

Figur 190 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec3 med 33% aktiva geofoner för liten cirkel i Grevie.

1.3.4.6 Rec3 – 25% aktiva



Figur 191 Seismiska data för Rec3 med 25% aktiva geofoner för liten cirkel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.



Figur 192 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec3 med 25% aktiva geofoner för liten cirkel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	v	ρ (t/m ³)
1	14,32	233	30	0,35	2
2	15,32	261	30	0,35	2
3	16,52	305	30	0,35	2
4	17,96	320	30	0,35	2
5	19,69	320	30	0,35	2
6	21,76	301	30	0,35	2
7	35	255	30	0,35	2

Figur 193 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec3 med 25% aktiva geofoner för liten cirkel i Grevie.

1.4 Inaktiverade geofoner – triangeluppställning

1.4.1 Tornhill – Triangel

Ingen inaktivering av geofoner har skett för triangeluppställningen i Tornhill då det, som tidigare nämnts, var för låg kvalitet på mätningarna.

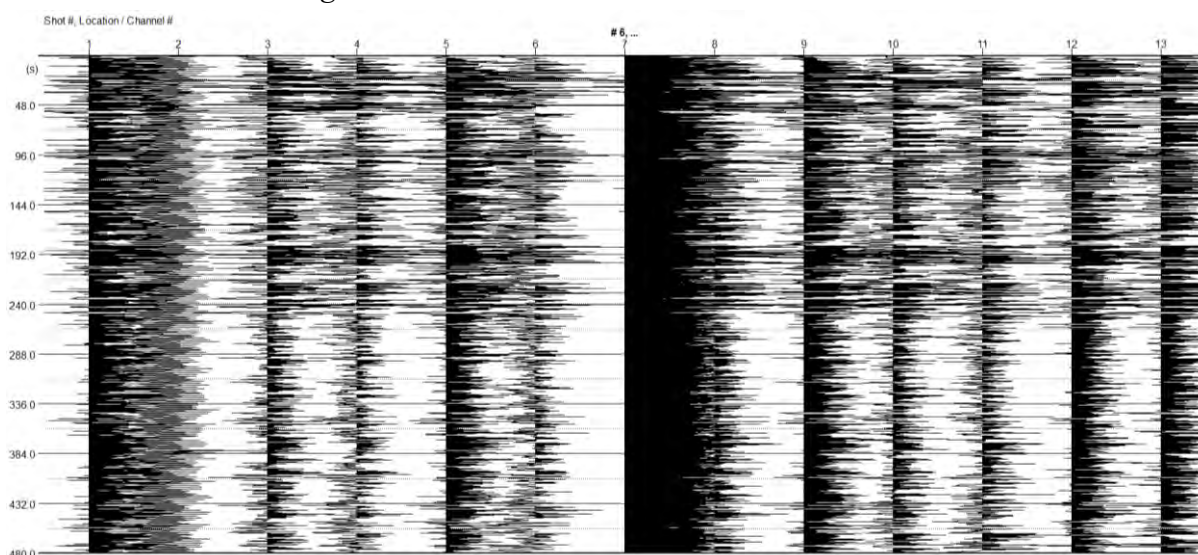
1.4.2 Grevie – Triangel

Inaktivering har skett med en hel triangel i taget, med start från den yttersta, för triangeluppställningen i Grevie. En sammanfattning ses i Tabell 16.

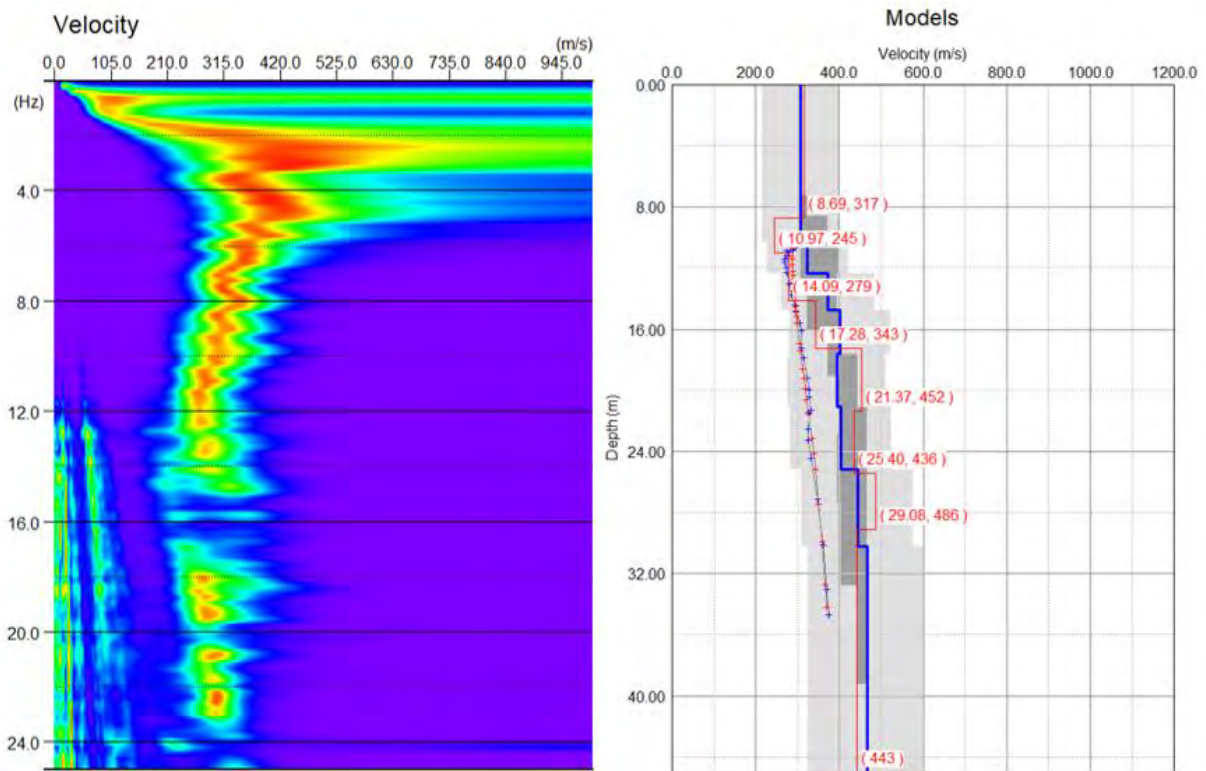
Tabell 16 Sammanfattning av mätningarnas resultat. Samplingsintervall och mättid för mätningarna beskrivs. Startdjup är det första djup som anges i siffror i den inversa modellen. I inversionsprocessen testades flera kombinationer av upplösning för hastighet och djup, och den som gav lägst misfit valdes.

MÄTNINGENS NAMN	SAMPLINGSINTERVALL [ms]	MÄTTID [ms]	STARTDJUP [m]	UPPLÖSNING HASTIGHET [m/s]	UPPLÖSNING DJUP [m]	MISFIT [%]
Rec6						
1 triangel inaktiverad	4	480 000	8,69	4,0	0,1	3,50
2 trianglar inaktiverade	4	480 000	10,02	4,0	0,1	1,88
3 trianglar inaktiverade	4	480 000	5,48	4,0	0,2	9,61
Rec8						
1 triangel inaktiverad	8	960 000	12,42	4,0	0,1	2,04
2 trianglar inaktiverade	8	960 000	6,38	8,0	0,4	1,22
3 trianglar inaktiverade	8	960 000	4,65	6,0	0,3	6,80

1.4.2.1 Rec6 – En triangel inaktiverad



Figur 194 Seismiska data för Rec6 med en triangel inaktiverad för triangel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

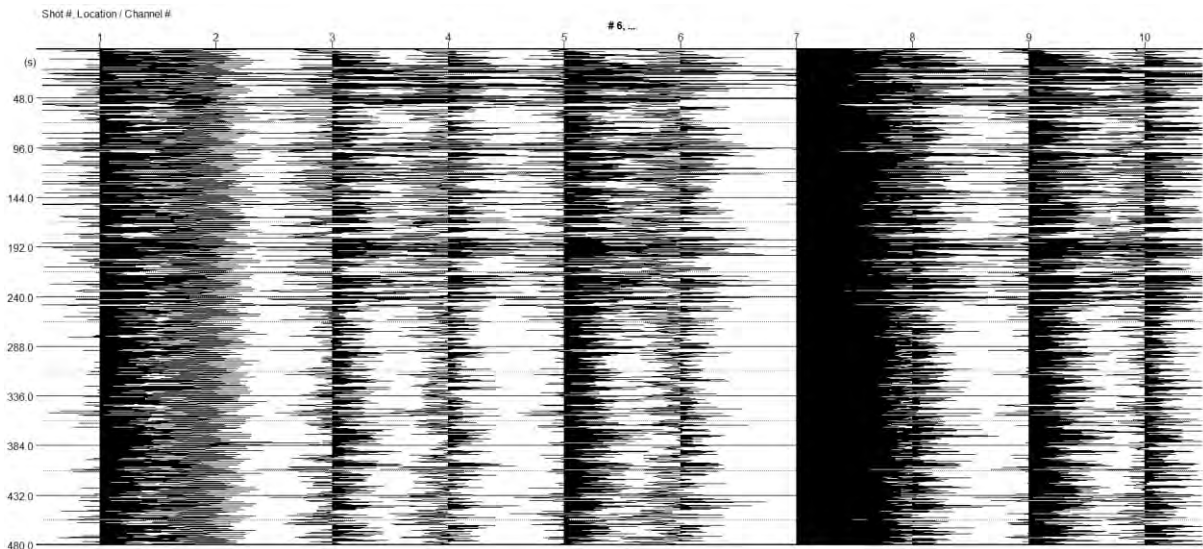


Figur 195 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec6 med en triangel inaktiverad för triangel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

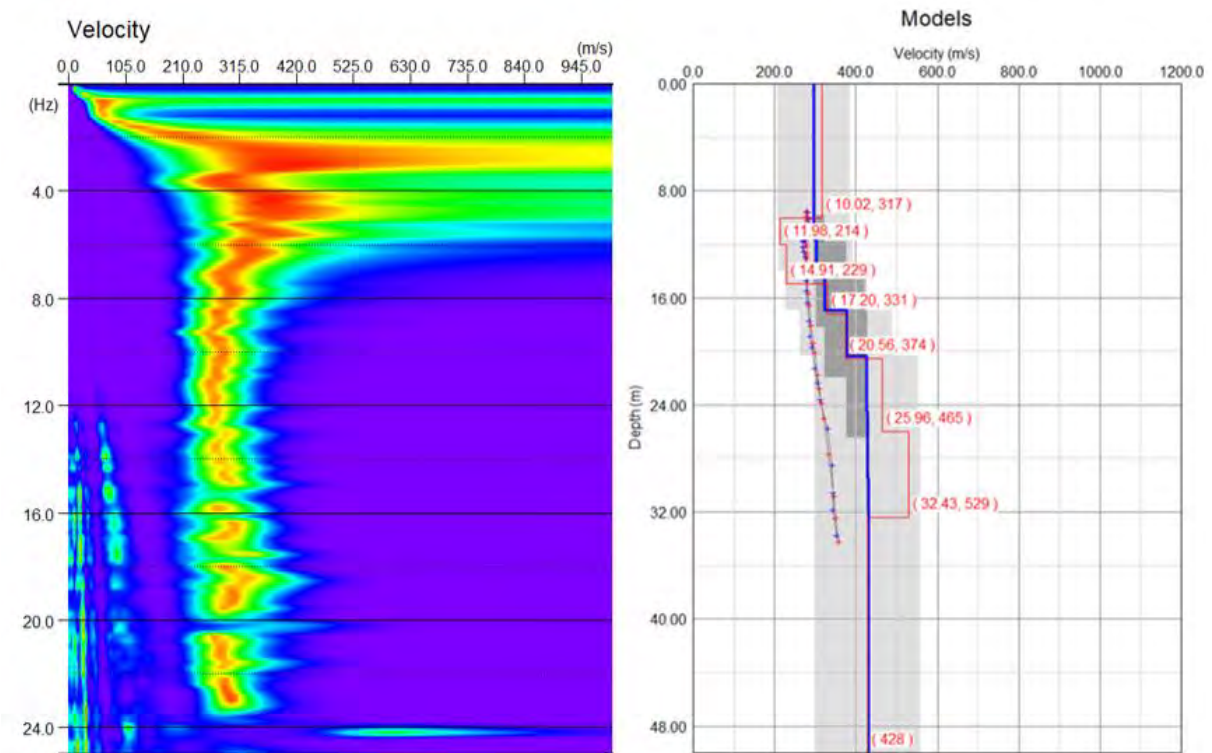
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	ν	ρ (t/m ³)
1	10,31	307	30	0,35	2
2	12,31	324	30	0,35	2
3	14,71	373	30	0,35	2
4	17,59	402	30	0,35	2
5	21,05	394	30	0,35	2
6	25,2	403	30	0,35	2
7	30,18	443	30	0,35	2
8	45	466	30	0,35	2

Figur 196 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec6 med en triangel inaktiverad för triangel i Grevie.

1.4.2.2 Rec6 – Två trianglar inaktiverade



Figur 197 Seismiska data för Rec6 med två trianglar inaktiverade för triangel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

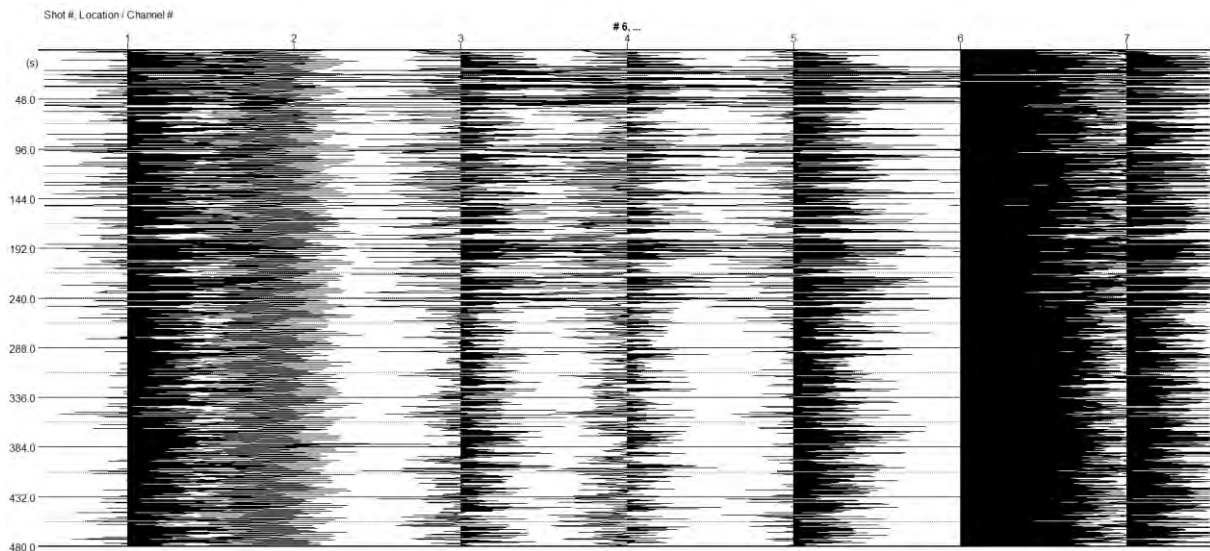


Figur 198 Till vänster: Frekvens-fashastighetspektrum för Rec6 med två trianglar inaktiverade för triangel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

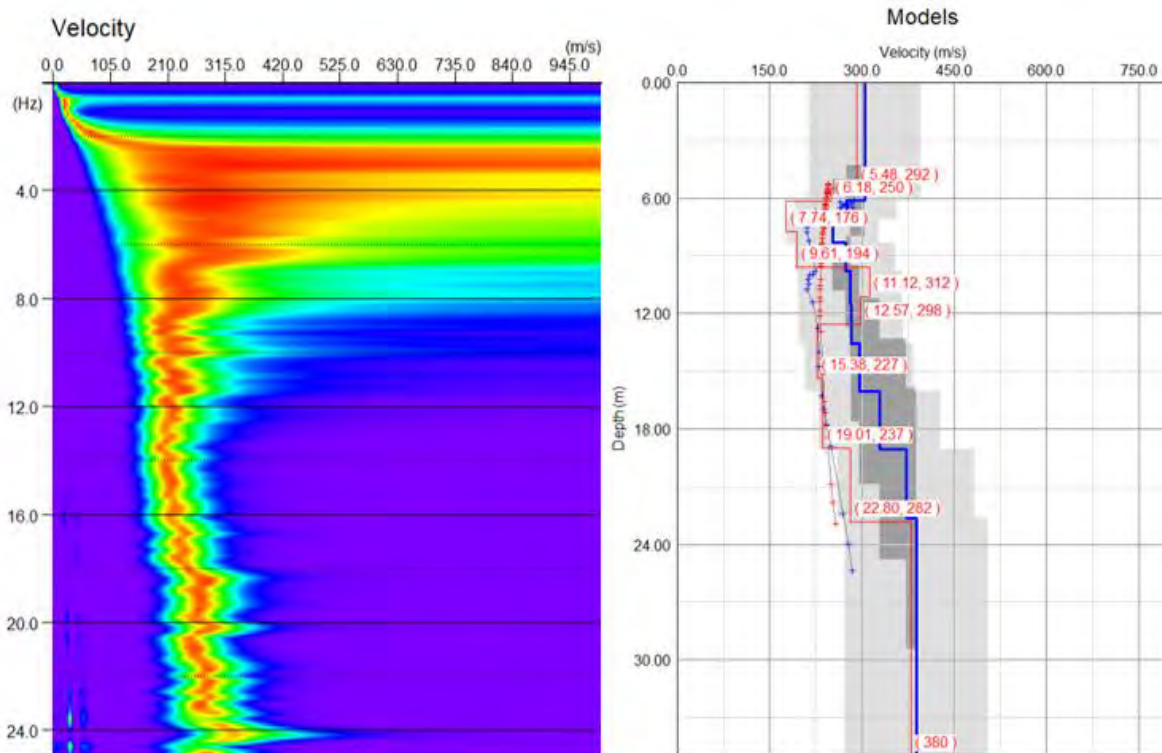
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	v	ρ (t/m ³)
1	9,61	296	30	0,35	2
2	11,61	297	30	0,35	2
3	14,01	302	30	0,35	2
4	16,89	323	30	0,35	2
5	20,35	376	30	0,35	2
6	24,5	426	30	0,35	2
7	29,48	429	30	0,35	2
8	50	430	30	0,35	2

Figur 199 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec6 med två trianglar inaktiverade för triangel i Grevie.

1.4.2.3 Rec6 – Tre trianglar inaktiverade



Figur 200 Seismiska data för Rec6 med tre trianglar inaktiverade för triangel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

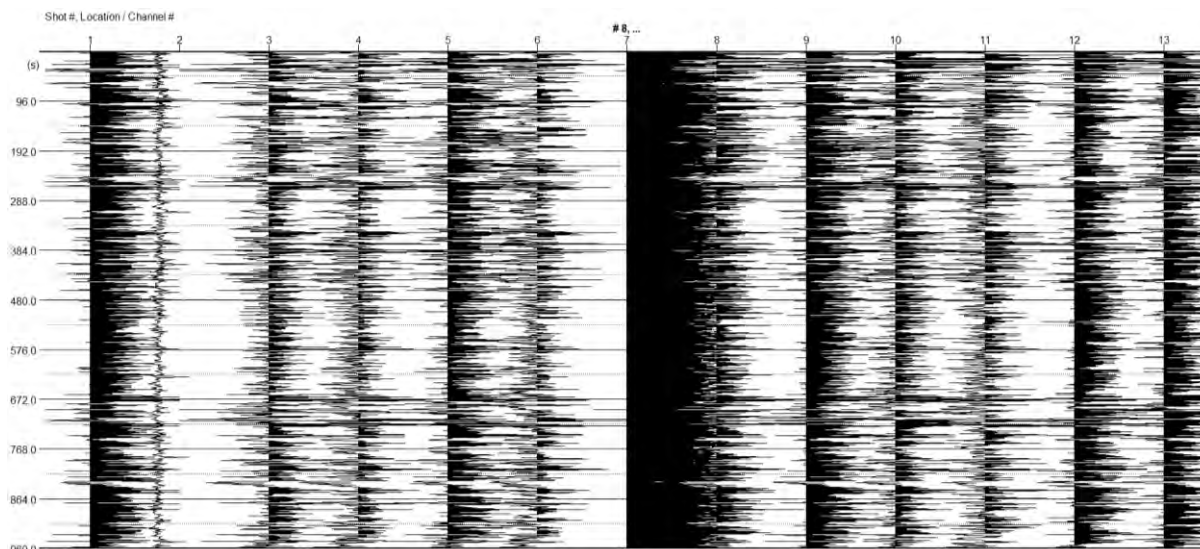


Figur 201 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec6 med tre trianglar inaktiverade för triangel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvstångshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

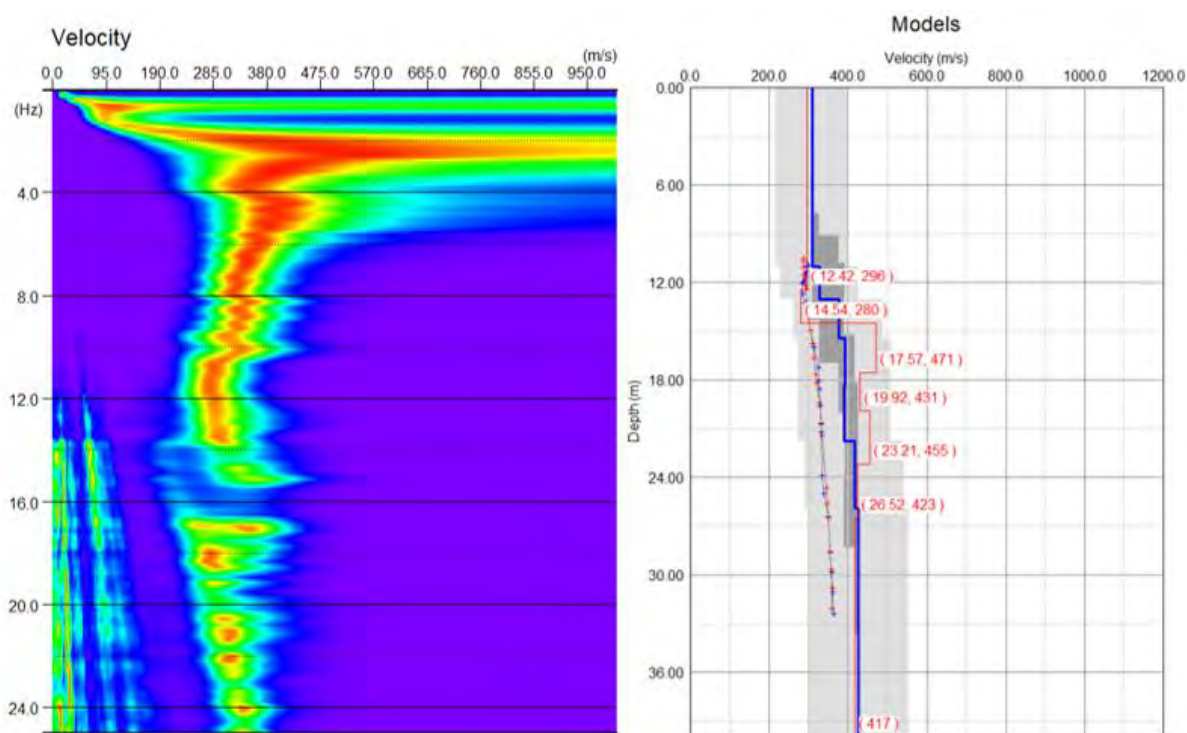
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	ν	ρ (t/m ³)
1	6,13	305	30	0,35	2
2	7,13	275	30	0,35	2
3	8,33	252	30	0,35	2
4	9,77	273	30	0,35	2
5	11,5	281	30	0,35	2
6	13,57	283	30	0,35	2
7	16,06	296	30	0,35	2
8	19,05	329	30	0,35	2
9	22,63	372	30	0,35	2
10	35	389	30	0,35	2

Figur 202 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec6 med tre trianglar inaktiverade för triangel i Grevie.

1.4.2.4 Rec8 – En triangel inaktiverad



Figur 203 Seismiska data för Rec8 med en triangel inaktiverad för triangel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

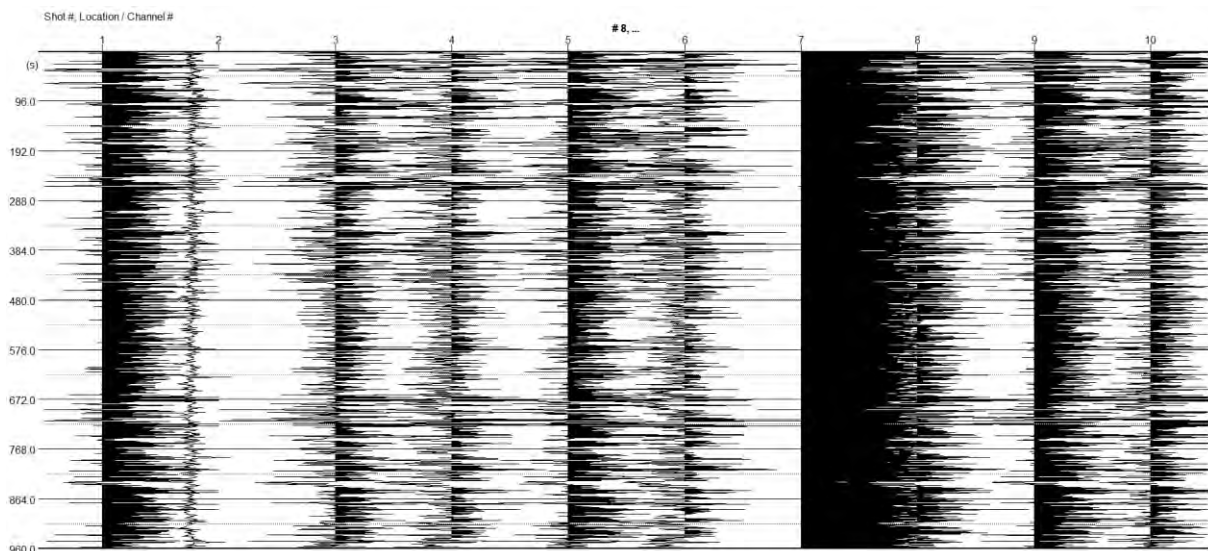


Figur 204 Till vänster: Frekvens-fashastighetspektrum för Rec8 med en triangel inaktiverad för triangel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvstångshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

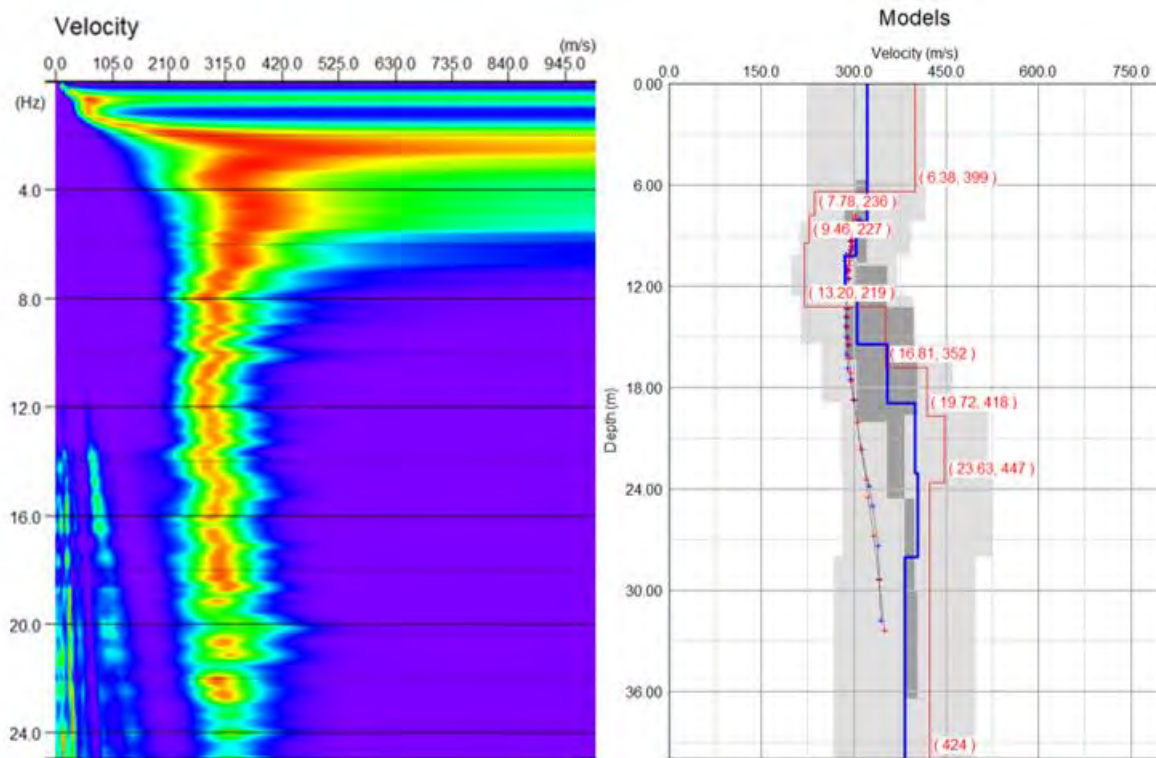
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	v	ρ (t/m ³)
1	11,04	309	30	0,35	2
2	13,04	328	30	0,35	2
3	15,44	376	30	0,35	2
4	18,32	392	30	0,35	2
5	21,78	390	30	0,35	2
6	25,93	417	30	0,35	2
7	40	427	30	0,35	2

Figur 205 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec8 med en triangel inaktiverad för triangel i Grevie.

1.4.2.5 Rec8 – Två trianglar inaktiverade



Figur 206 Seismiska data för Rec8 med två trianglar inaktiverade för triangel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

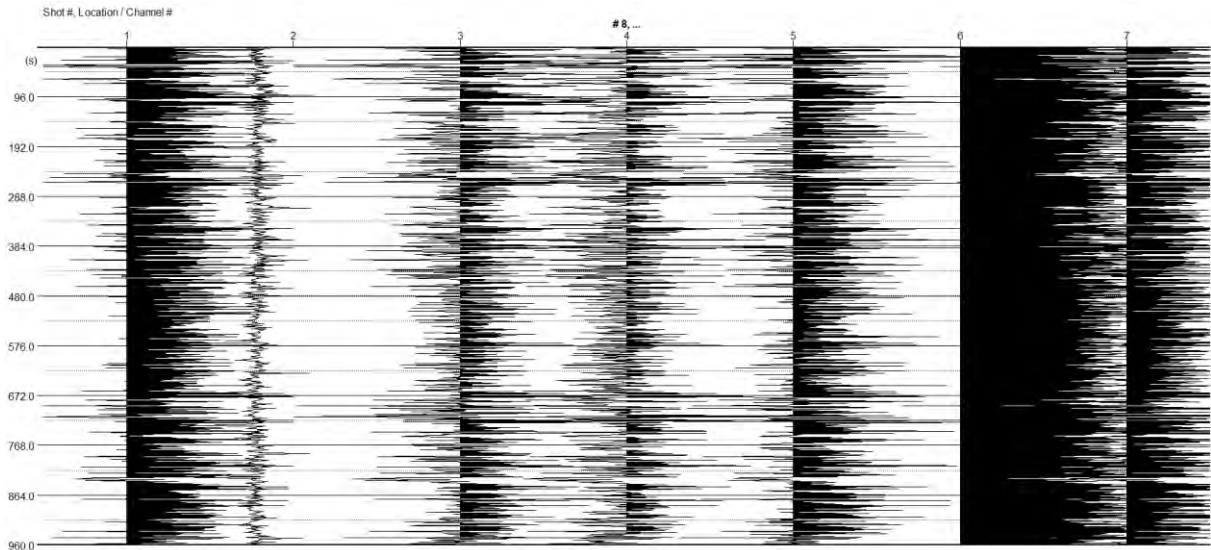


Figur 207 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec8 med två trianglar inaktiverade för triangel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

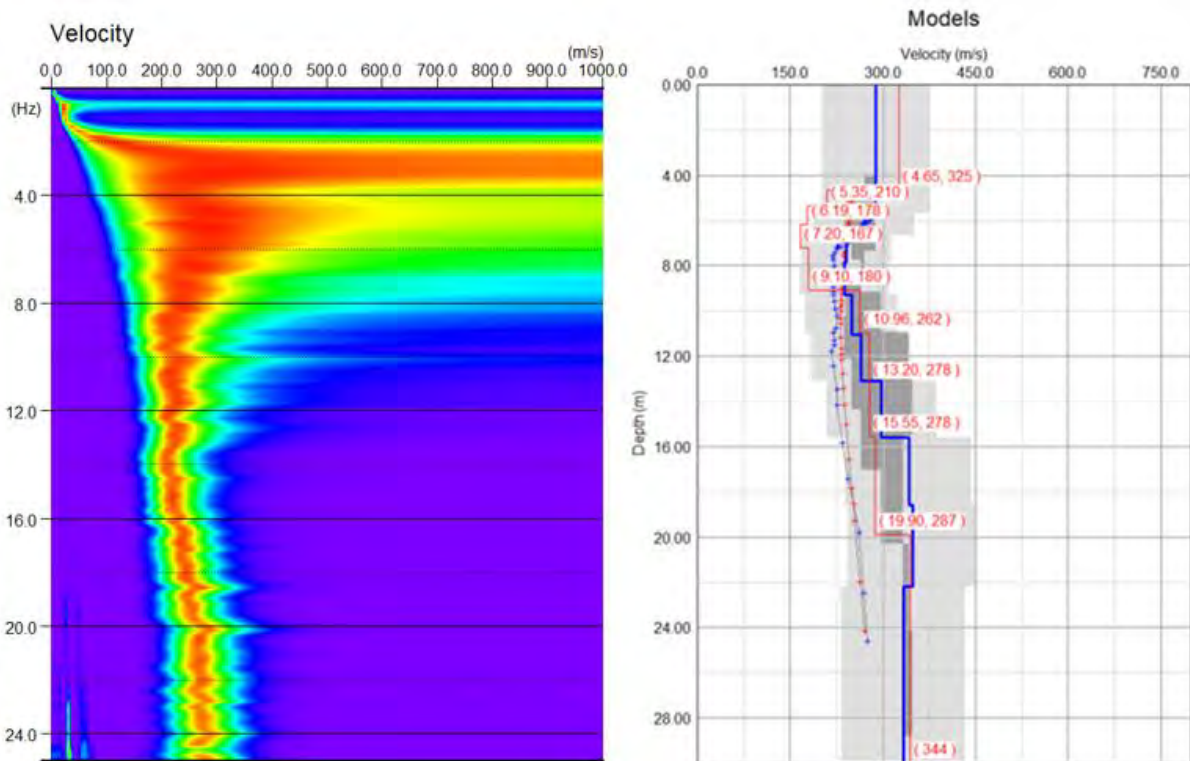
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	ν	ρ (t/m ³)
1	8,18	321	30	0,35	2
2	10,18	303	30	0,35	2
3	12,58	285	30	0,35	2
4	15,46	305	30	0,35	2
5	18,92	355	30	0,35	2
6	23,07	399	30	0,35	2
7	28,05	404	30	0,35	2
8	40	383	30	0,35	2

Figur 208 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec8 med två trianglar inaktiverade för triangel i Grevie.

1.4.2.6 Rec8 – Tre trianglar inaktiverade



Figur 209 Seismiska data för Rec8 med tre trianglar inaktiverade för triangel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.



Figur 210 Till vänster: Frekvens-fashastighetspektrum för Rec8 med tre trianglar inaktiverade för triangel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuv vågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	v	ρ (t/m ³)
1	5,67	289	30	0,35	2
2	6,67	270	30	0,35	2
3	7,87	241	30	0,35	2
4	9,31	238	30	0,35	2
5	11,04	250	30	0,35	2
6	13,11	265	30	0,35	2
7	15,6	298	30	0,35	2
8	18,59	342	30	0,35	2
9	22,17	348	30	0,35	2
10	30	333	30	0,35	2

Figur 211 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec8 med tre trianglar inaktiverade för triangel i Grevie.

1.5 Inaktiverad mittgeofon

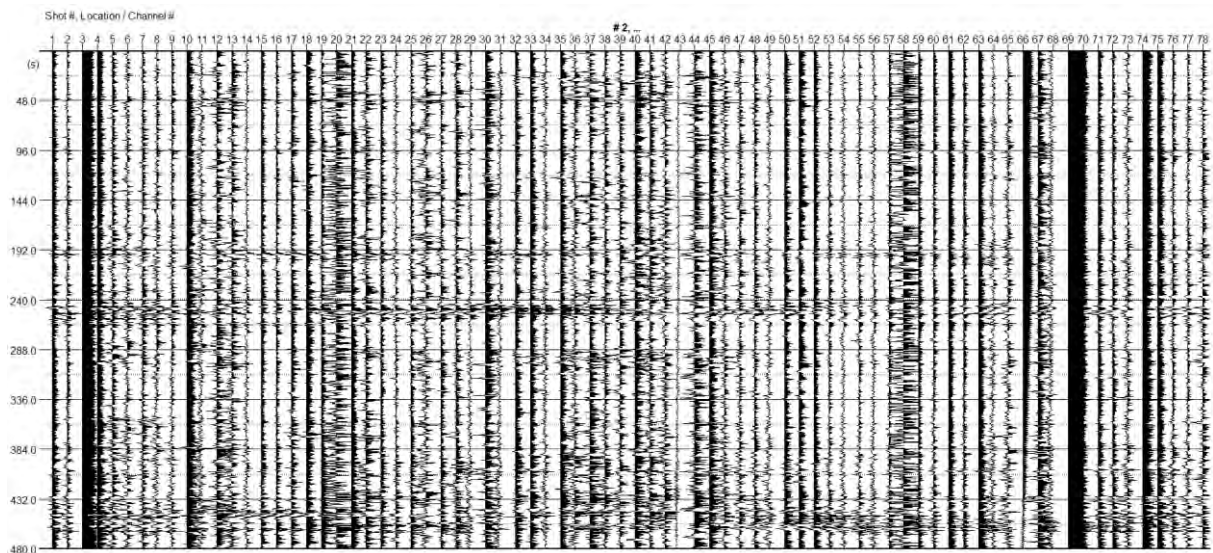
1.5.1 Tornhill – Stor cirkel

Mätningarna från den stora cirkeluppställningen benämnd som *Circle and Center* har analyserats med avseende på inaktivering av mittgeofon. Detta har skett för två mätningar med låg respektive hög *misfit*. Mätningarna från *Passive Circle* har inte analyserats på detta sätt, då mittgeofonen inte var inkopplad vid de undersökningarna. Se Tabell 17 nedan för en sammanfattning.

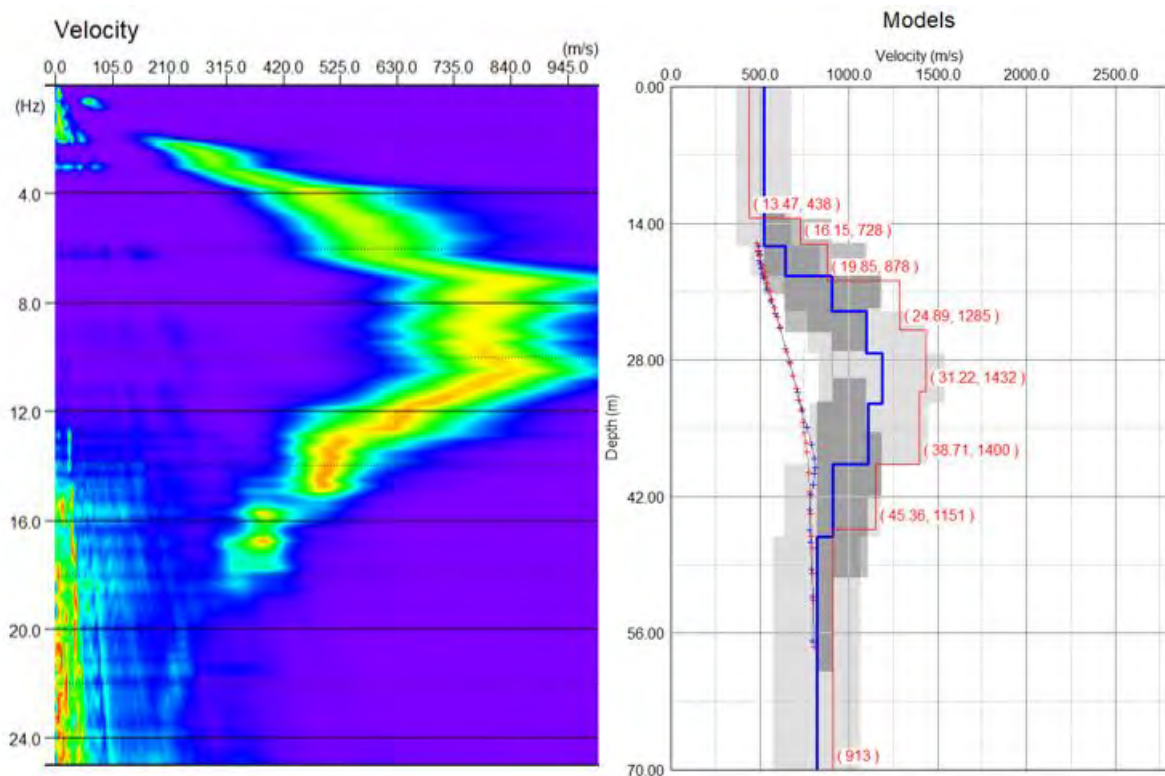
Tabell 17 Sammanfattning av mätningarnas resultat. Samplingsintervall och mättid för mätningarna beskrivs. Startdjup är det första djup som anges i siffror i den inversa modellen. I inversionsprocessen testades flera kombinationer av upplösning för hastighet och djup, och den som gav lägst *misfit* valdes.

MÄTNINGENS NAMN	SAMPLINGSINTERVALL [ms]	MÄTTID [ms]	STARTDJUP [m]	UPPLÖSNING HASTIGHET [m/s]	UPPLÖSNING DJUP [m]	MISFIT [%]
Rec2						
Inaktiverad mittgeofon	4	480 000	13,47	2,0	0,1	3,18
Rec4						
Inaktiverad mittgeofon	8	960 000	12,28	4,0	0,1	3,41

1.5.1.1 Rec2 – inaktiverad mittgeofon



Figur 212 Seismiska data för Rec2 med inaktiverad mittgeofon för stor cirkel i Tornhill, Circle and Center. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

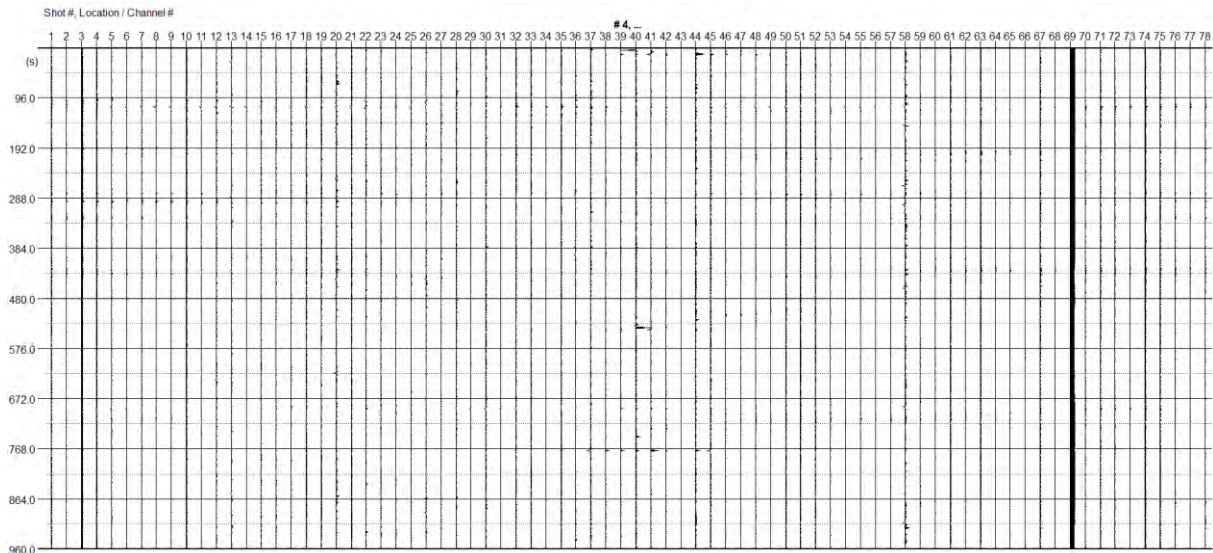


Figur 213 Till vänster: Frekvens-fashastighetspektrum för Rec2 med inaktiverad mittgeofon för stor cirkel i Tornhill, Circle and Center. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuv vågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

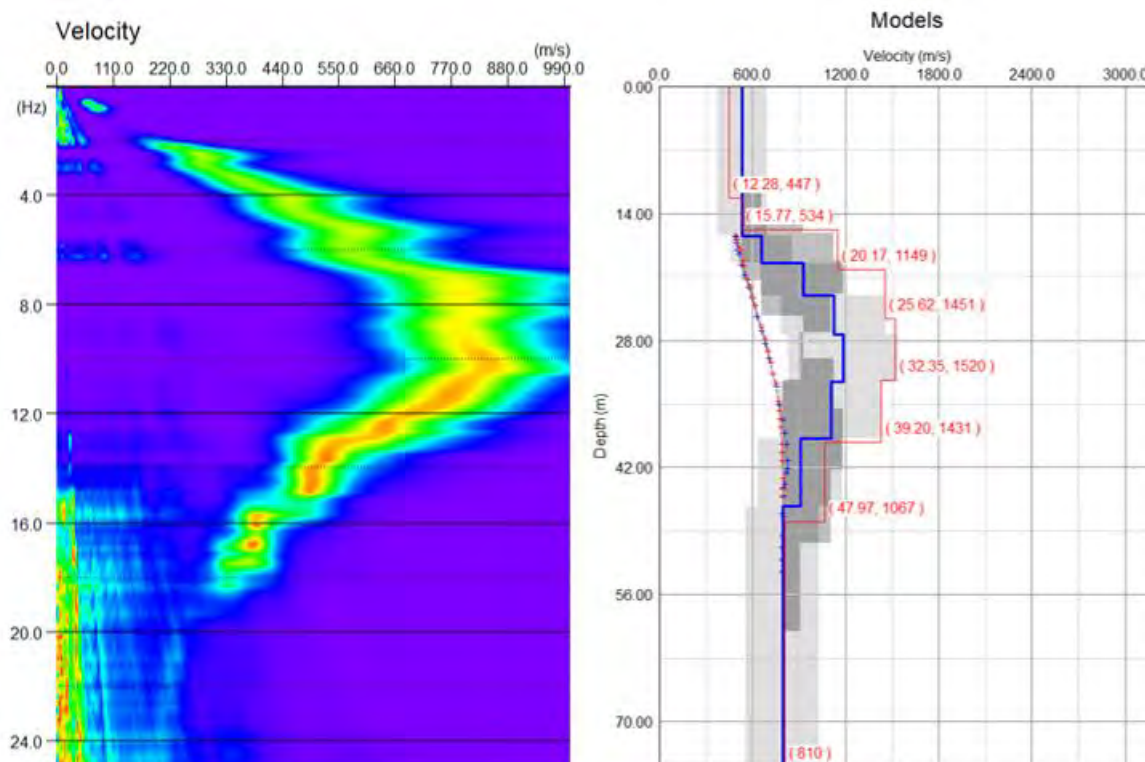
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	v	ρ (t/m ³)
1	16,37	525	30	0,25	2,42
2	19,37	643	30	0,25	2,42
3	22,97	904	30	0,25	2,42
4	27,29	1099	30	0,25	2,42
5	32,47	1186	30	0,25	2,42
6	38,69	1112	30	0,25	2,42
7	46,15	910	30	0,25	2,42
8	70	821	30	0,25	2,42

Figur 214 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Rec2 med inaktiverad mittgeofon för stor cirkel i Tornhill, Circle and Center.

1.5.1.2 Rec4 – inaktiverad mittgeofon



Figur 215 Seismiska data för Rec4 med inaktiverad mittgeofon för stor cirkel i Tornhill, Circle and Center. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.



Figur 216 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec4 med inaktiverad mittgeofon för stor cirkel i Tornhill, Circle and Center. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	ν	ρ (t/m ³)
1	16,43	534	30	0,25	2,42
2	19,43	657	30	0,25	2,42
3	23,03	929	30	0,25	2,42
4	27,35	1122	30	0,25	2,42
5	32,53	1184	30	0,25	2,42
6	38,75	1105	30	0,25	2,42
7	46,21	908	30	0,25	2,42
8	75	793	30	0,25	2,42

Figur 217 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, med manuellt ifyllda värden för densitet och tvärkontraktionstalet. Tillhör Rec4 med inaktiverad mittgeofon för stor cirkel i Tornhill, Circle and Center.

1.5.2 Tornhill – Liten cirkel

För den mindre cirkeluppställningen i Tornhill fanns ingen mittgeofon inkopplad, och vidare analyser har därför inte kunnat ske.

1.5.3 Tornhill – Triangel

Då seismiska data för triangeluppställningen i Tornhill tidigare bedömts vara av för låg kvalitet har inga studier av inaktivering av mittgeofon skett.

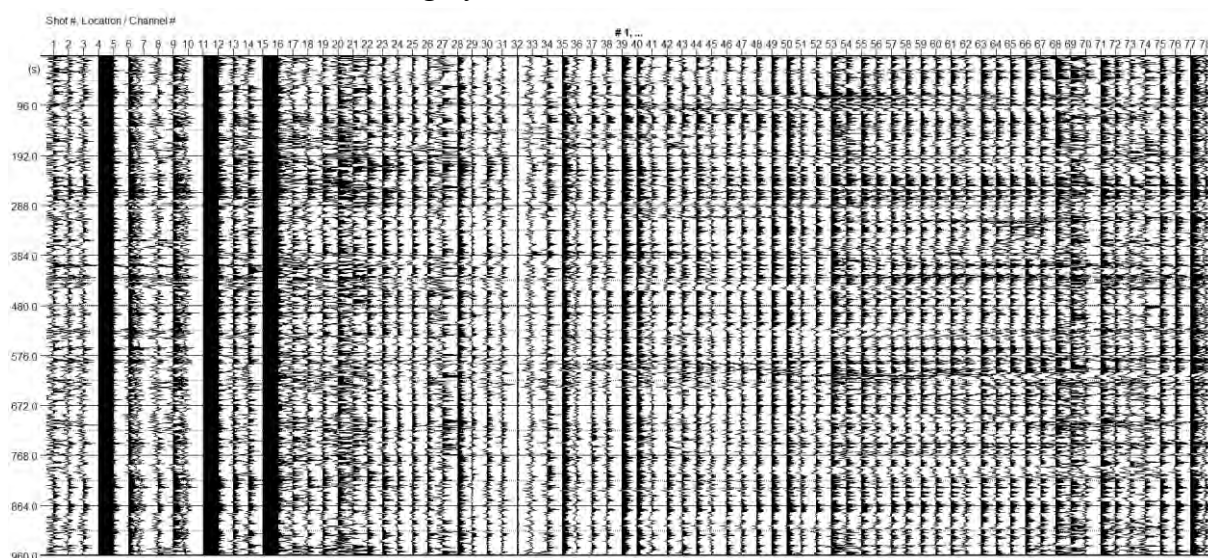
1.5.4 Grevie – Stor cirkel

Inaktivering av mittgeofonen i den stora cirkeluppställningen i Grevie har skett för samtliga mätningar och en sammanfattning visas nedan i Tabell 18.

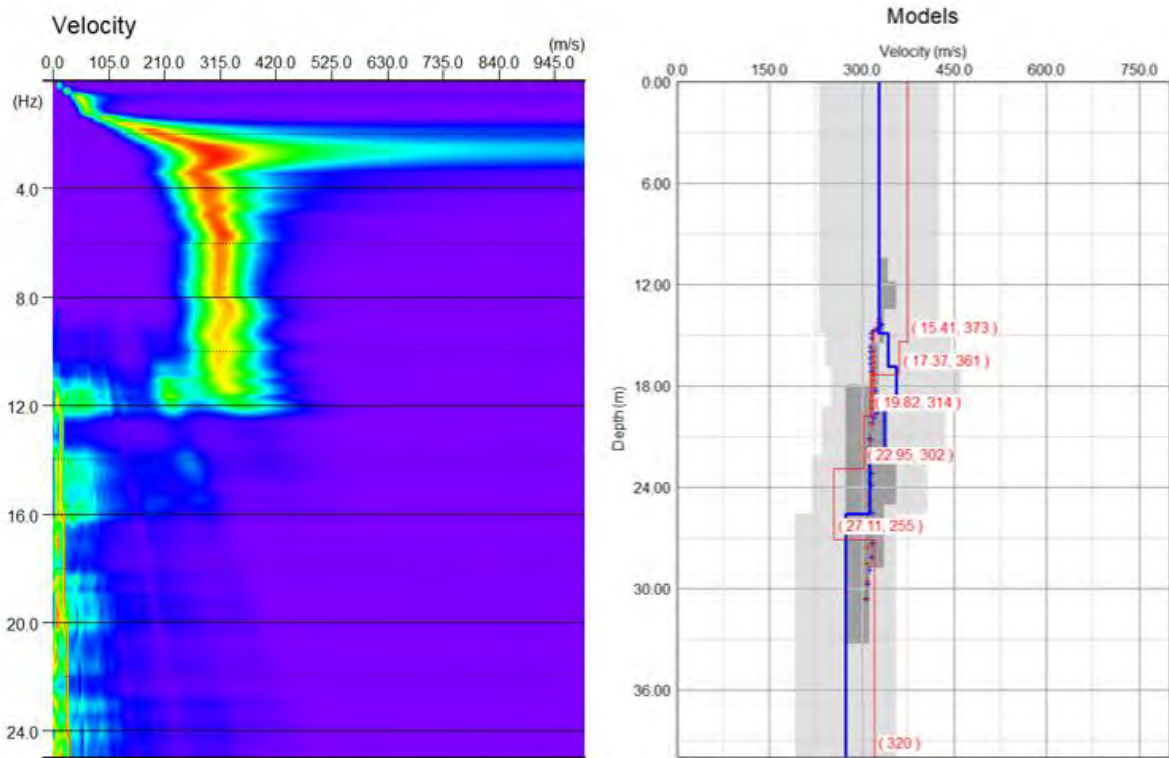
Tabell 18 Sammanfattning av mätningarnas resultat. Samplingsintervall och mättid för mätningarna beskrivs. Startdjup är det första djup som anges i siffror i den inversa modellen. I inversionsprocessen testades flera kombinationer av upplösning för hastighet och djup, och den som gav lägst misfit valdes.

MÄTNINGENS NAMN	SAMPLINGSINTERVALL [ms]	MÄTTID [ms]	STARTDJUP [m]	UPPLÖSNING HASTIGHET [m/s]	UPPLÖSNING DJUP [m]	MISFIT [%]
Rec1						
Inaktiverad mittgeofon	8	960 000	15,41	4,0	0,1	1,31
Rec2						
Inaktiverad mittgeofon	8	960 000	17,40	4,0	0,2	1,96
Rec3						
Inaktiverad mittgeofon	4	480 000	10,74	4,0	0,2	1,49
Rec4						
Inaktiverad mittgeofon	4	480 000	16,53	2,0	0,1	1,37

1.5.4.1 Rec1 – inaktiverad mittgeofon



Figur 218 Seismiska data för Rec1 med inaktiverad mittgeofon för stor cirkel Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

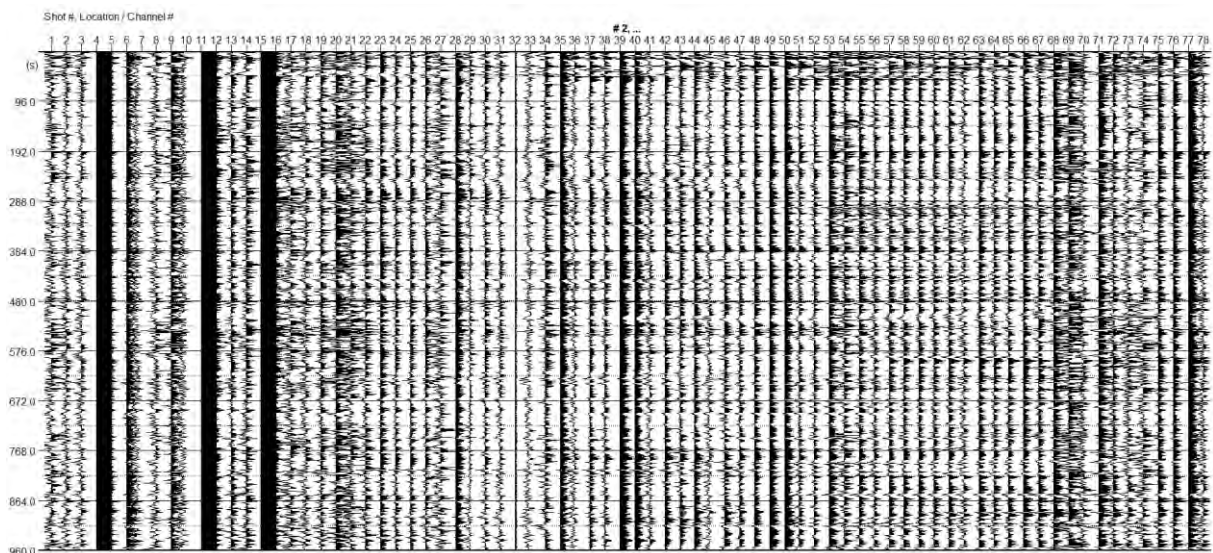


Figur 219 Till vänster: Frekvens-fashastighetspektrum för Rec1 med inaktiverad mittgeofon för stor cirkel Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

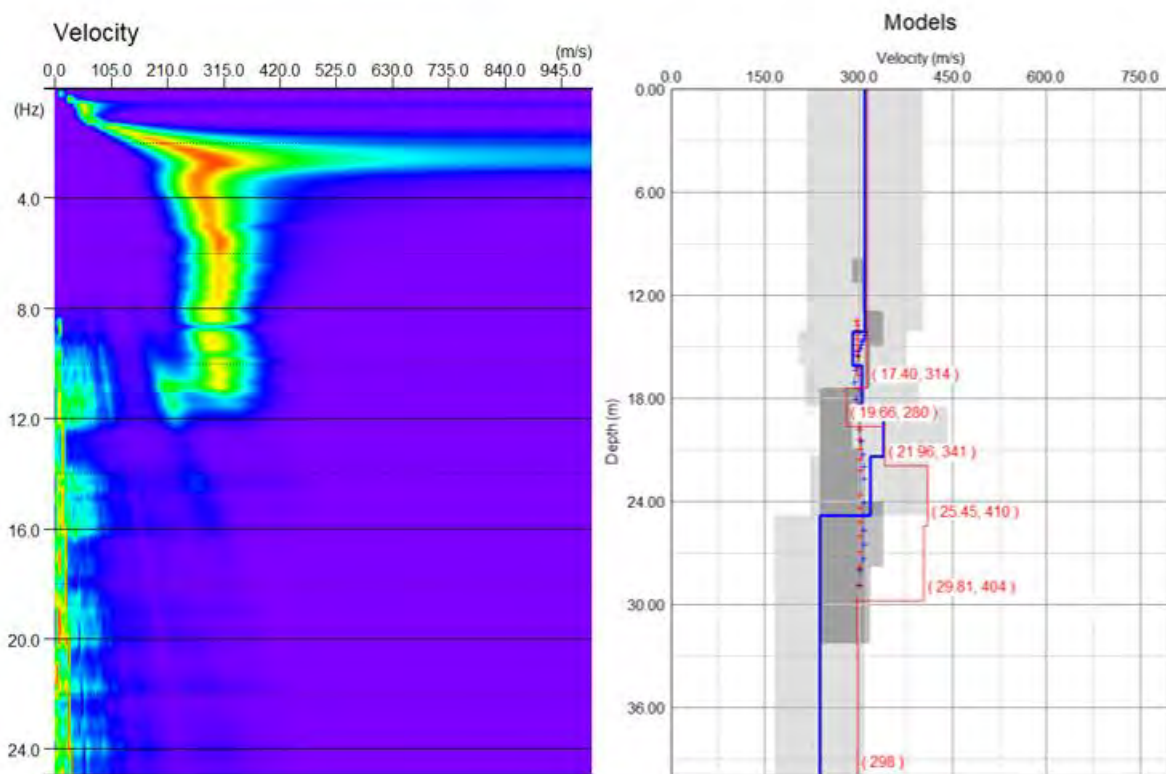
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	v	ρ (t/m ³)
1	14,88	328	30	0,35	2
2	16,88	343	30	0,35	2
3	19,28	356	30	0,35	2
4	22,16	336	30	0,35	2
5	25,62	313	30	0,35	2
6	40	274	30	0,35	2

Figur 220 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec1 med inaktiverad mittgeofon för stor cirkel i Grevie.

1.5.4.2 Rec2 – inaktiverad mittgeofon



Figur 221 Seismiska data för Rec2 med inaktiverad mittgeofon för stor cirkel Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

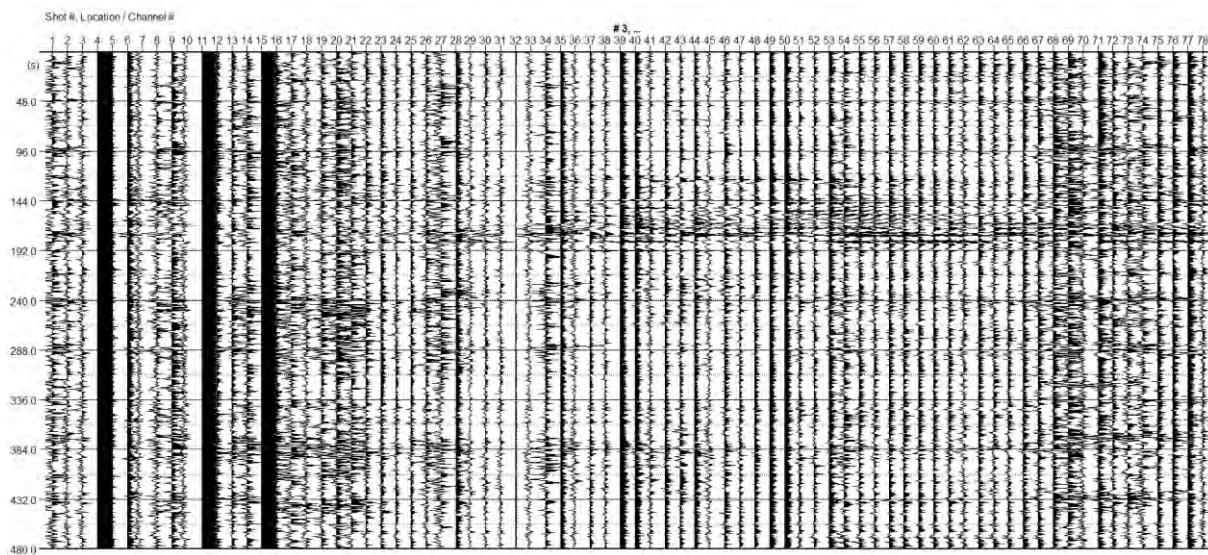


Figur 222 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec2 med inaktiverad mittgeofon för stor cirkel Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inverteringsprocessen.

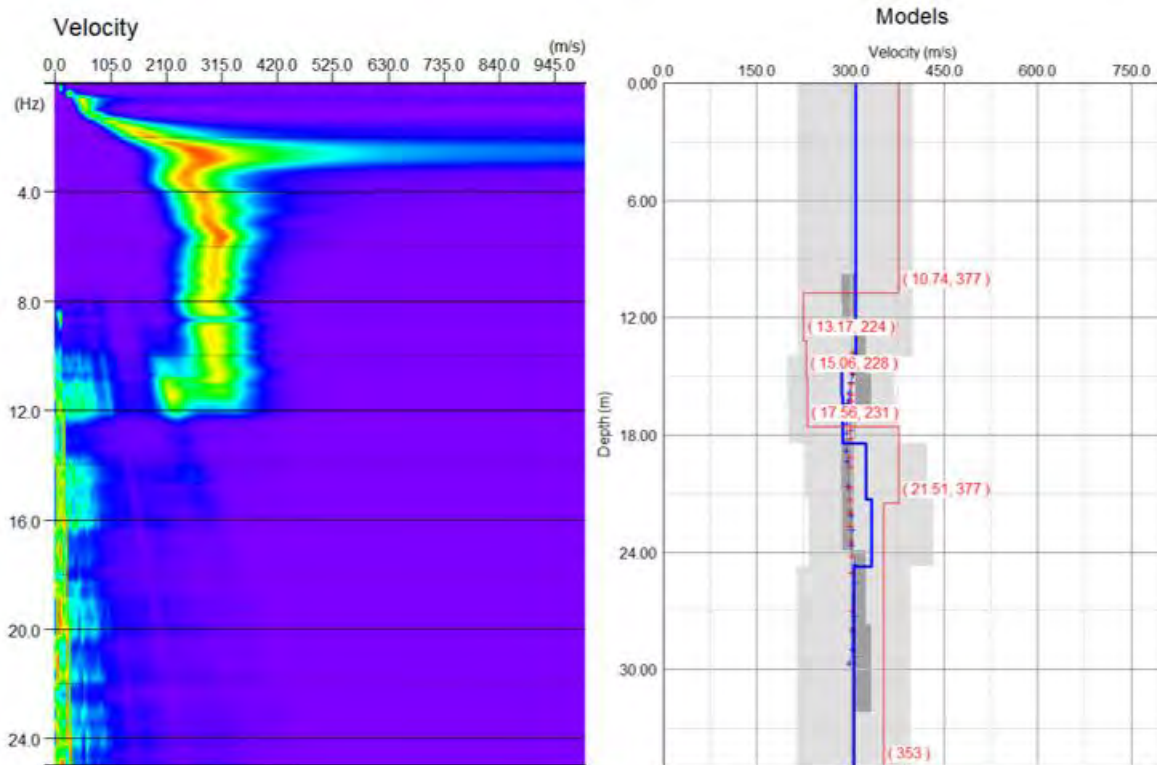
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	v	ρ (t/m ³)
1	14,11	310	30	0,35	2
2	16,11	290	30	0,35	2
3	18,51	305	30	0,35	2
4	21,39	340	30	0,35	2
5	24,85	318	30	0,35	2
6	40	238	30	0,35	2

Figur 223 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec2 med inaktiverad mittgeofon för stor cirkel i Greve.

1.5.4.3 Rec3 – inaktiverad mittgeofon



Figur 224 Seismiska data för Rec3 med inaktiverad mittgeofon för stor cirkel Greve. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

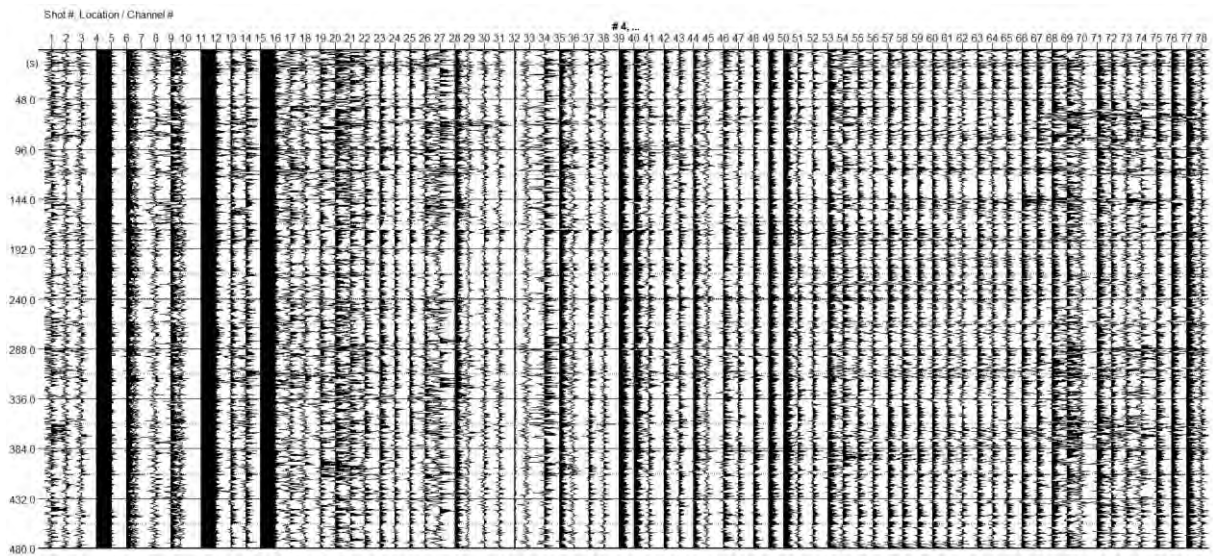


Figur 225 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec3 med inaktiverad mittgeofon för stor cirkel Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

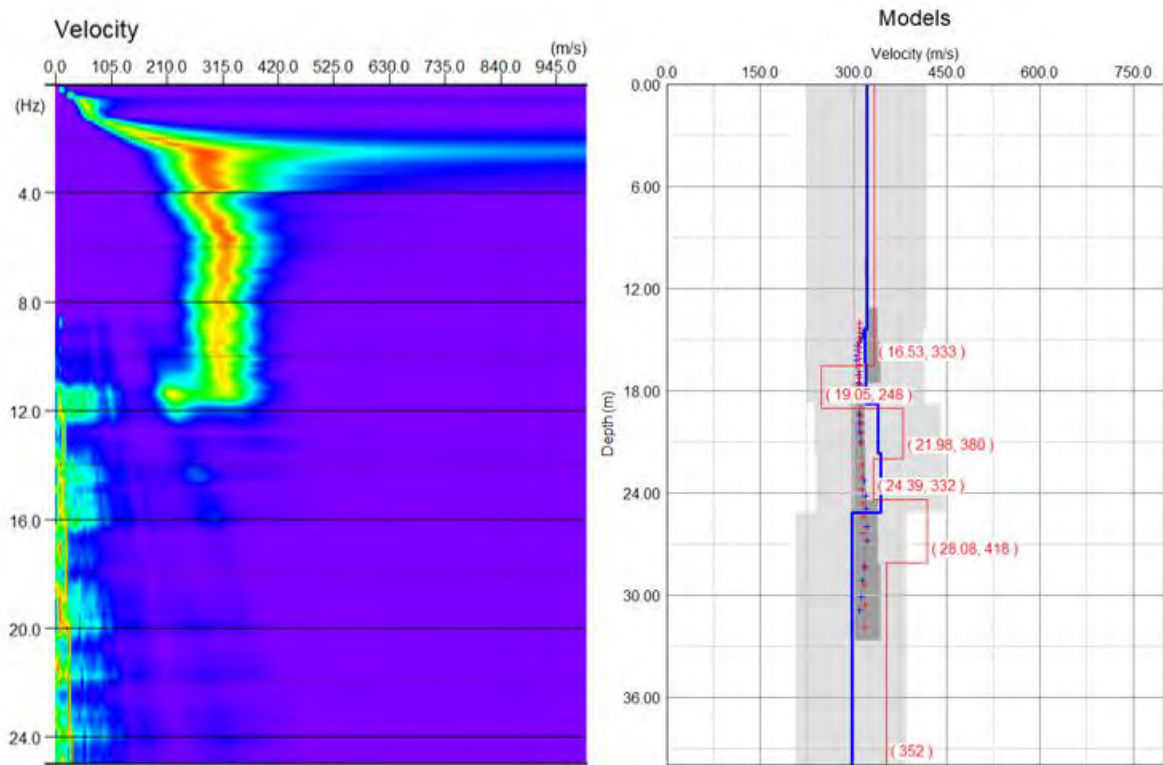
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	v	ρ (t/m ³)
1	14,01	308	30	0,35	2
2	16,01	285	30	0,35	2
3	18,41	287	30	0,35	2
4	21,29	325	30	0,35	2
5	24,75	334	30	0,35	2
6	35	305	30	0,35	2

Figur 226 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllits i manuellt. Tillhör Rec3 med inaktiverad mittgeofon för stor cirkel i Grevie.

1.5.4.4 Rec4 – inaktiverad mittgeofon



Figur 227 Seismiska data för Rec4 med inaktiverad mittgeofon för stor cirkel Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.



Figur 228 Till vänster: Frekvens-fashastighetspektrum för Rec4 med inaktiverad mittgeofon för stor cirkel Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	ν	ρ (t/m ³)
1	14,39	322	30	0,35	2
2	16,39	318	30	0,35	2
3	18,79	320	30	0,35	2
4	21,67	339	30	0,35	2
5	25,13	344	30	0,35	2
6	40	297	30	0,35	2

Figur 229 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec4 med inaktiverad mittgeofon för stor cirkel i Greive.

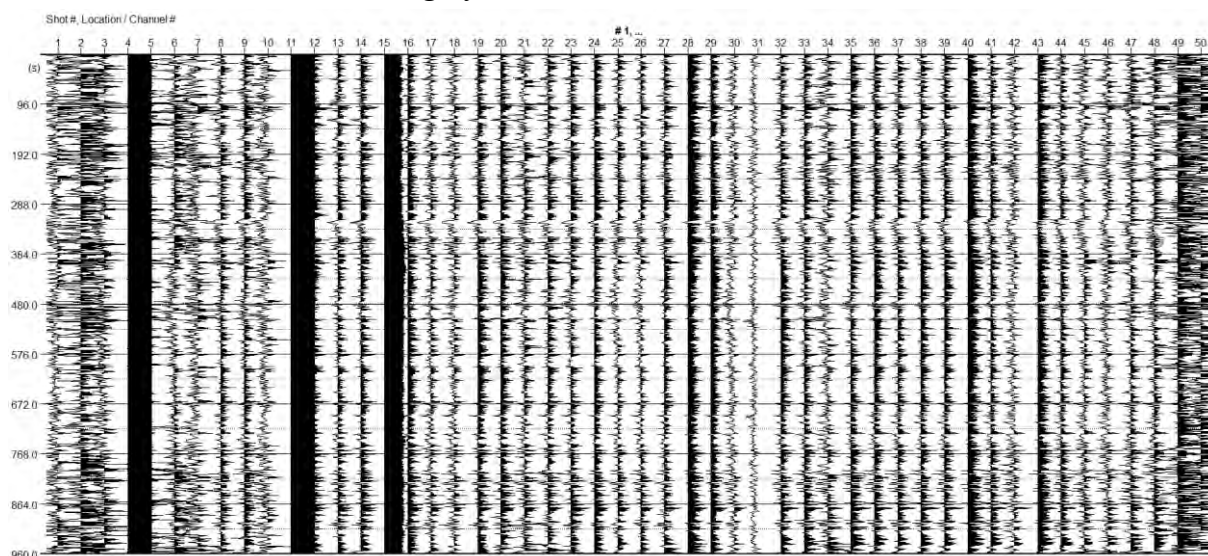
1.5.5 Greive – Liten cirkel

För den mindre cirkeluppställningen i Greive har inaktivering av mittgeofonen skett för alla mätningarna. Se Tabell 19 nedan för en sammanfattning.

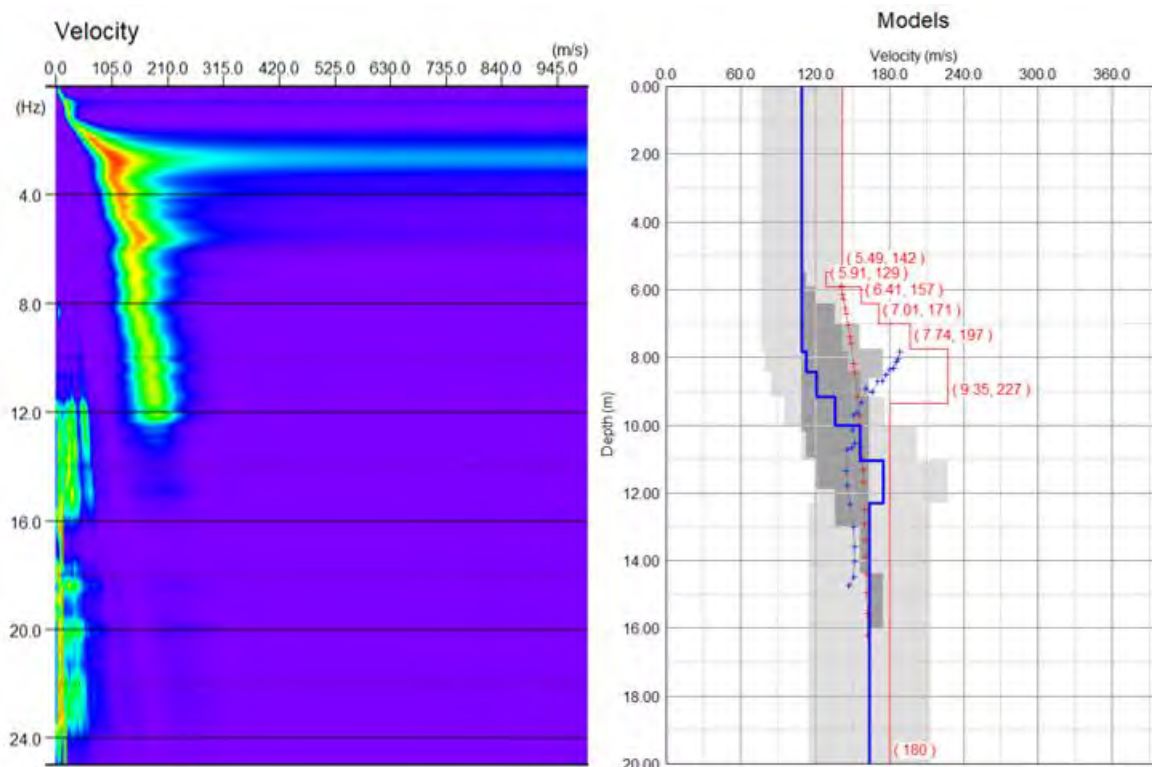
Tabell 19 Sammanfattning av mätningarnas resultat. Samplingsintervall och mättid för mätningarna beskrivs. Startdjup är det första djup som anges i siffror i den inversa modellen. I inversionsprocessen testades flera kombinationer av upplösning för hastighet och djup, och den som gav lägst misfit valdes.

MÄTNINGENS NAMN	SAMPLINGSINTERVALL [ms]	MÄTTID [ms]	STARTDJUP P [m]	UPPLÖSNING HASTIGHET [m/s]	UPPLÖSNING DJUP [m]	MISFIT [%]
Rec1						
Inaktiverad mittgeofon	8	960 000	5,49	6,0	0,3	16,49
Rec2						
Inaktiverad mittgeofon	8	960 000	5,18	2,0	0,2	6,13
Rec3						
Inaktiverad mittgeofon	4	480 000	6,51	8,0	0,4	9,84
Rec4						
Inaktiverad mittgeofon	4	480 000	6,07	2,0	0,1	6,05

1.5.5.1 Rec1 – inaktiverad mittgeofon



Figur 230 Seismiska data för Rec1 med inaktiverad mittgeofon för liten cirkel Greive. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

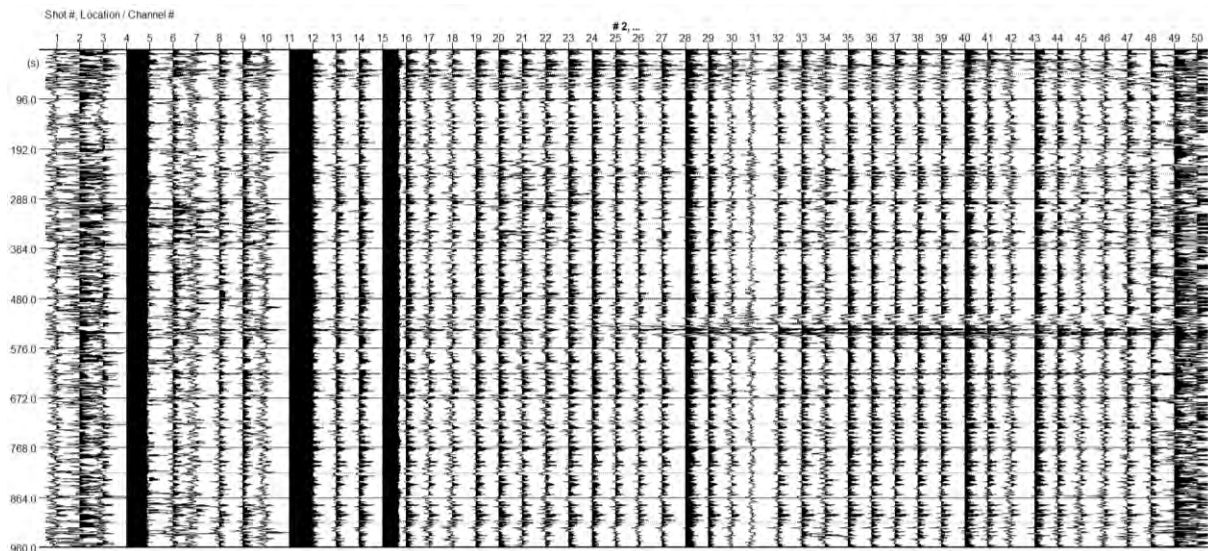


Figur 231 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec1 med inaktiverad mittgeofon för liten cirkel Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuv vågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

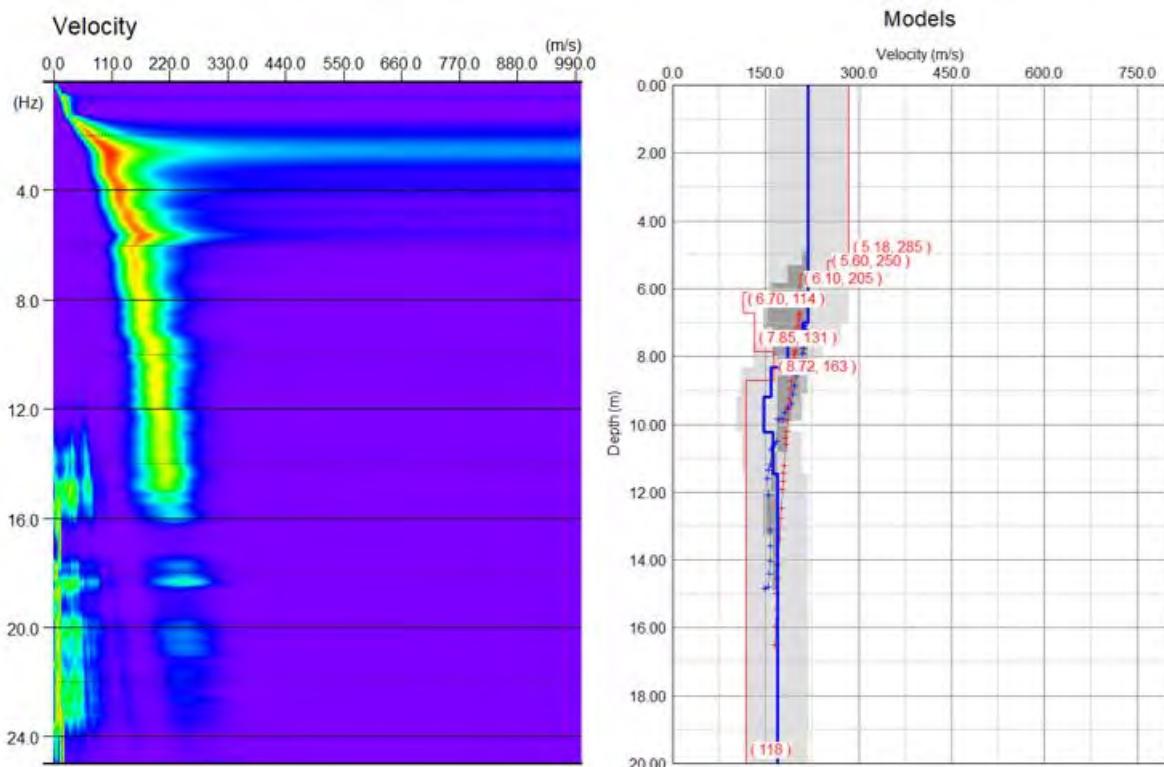
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	v	ρ (t/m ³)
1	7,84	109	30	0,35	2
2	8,44	113	30	0,35	2
3	9,16	121	30	0,35	2
4	10,02	136	30	0,35	2
5	11,06	156	30	0,35	2
6	12,3	175	30	0,35	2
7	20	164	30	0,35	2

Figur 232 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec1 med inaktiverad mittgeofon för liten cirkel i Grevie.

1.5.5.2 Rec2 – inaktiverad mittgeofon



Figur 233 Seismiska data för Rec2 med inaktiverad mittgeofon för liten cirkel Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

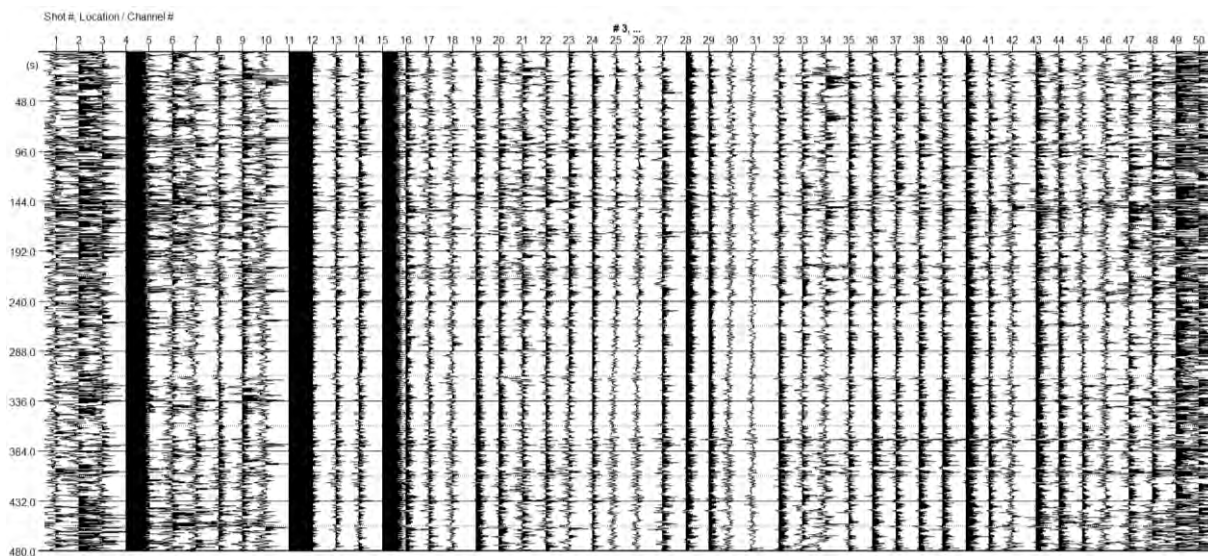


Figur 234 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec2 med inaktiverad mittgeofon för liten cirkel Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

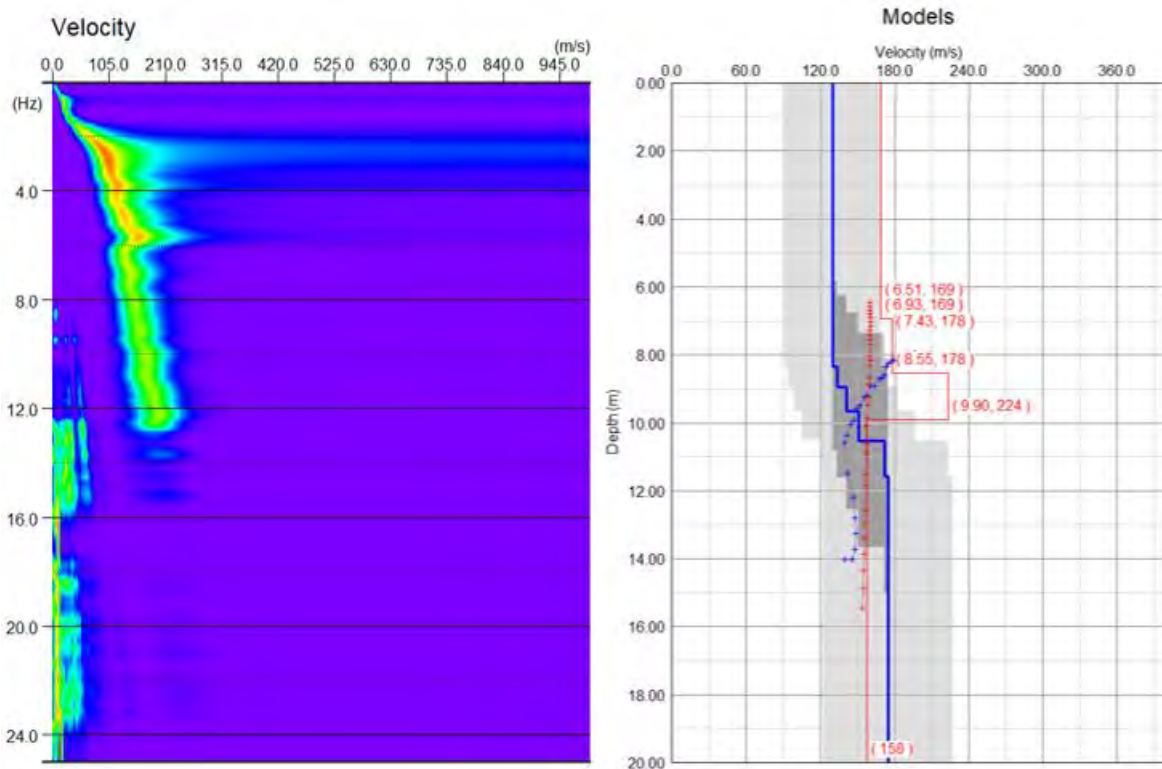
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	v	ρ (t/m ³)
1	7,01	219	30	0,35	2
2	7,61	209	30	0,35	2
3	8,33	186	30	0,35	2
4	9,19	158	30	0,35	2
5	10,23	147	30	0,35	2
6	11,47	161	30	0,35	2
7	20	169	30	0,35	2

Figur 235 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec2 med inaktiverad mittgeofon för liten cirkel i Grevie.

1.5.5.3 Rec3 – inaktiverad mittgeofon



Figur 236 Seismiska data för Rec3 med inaktiverad mittgeofon för liten cirkel Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

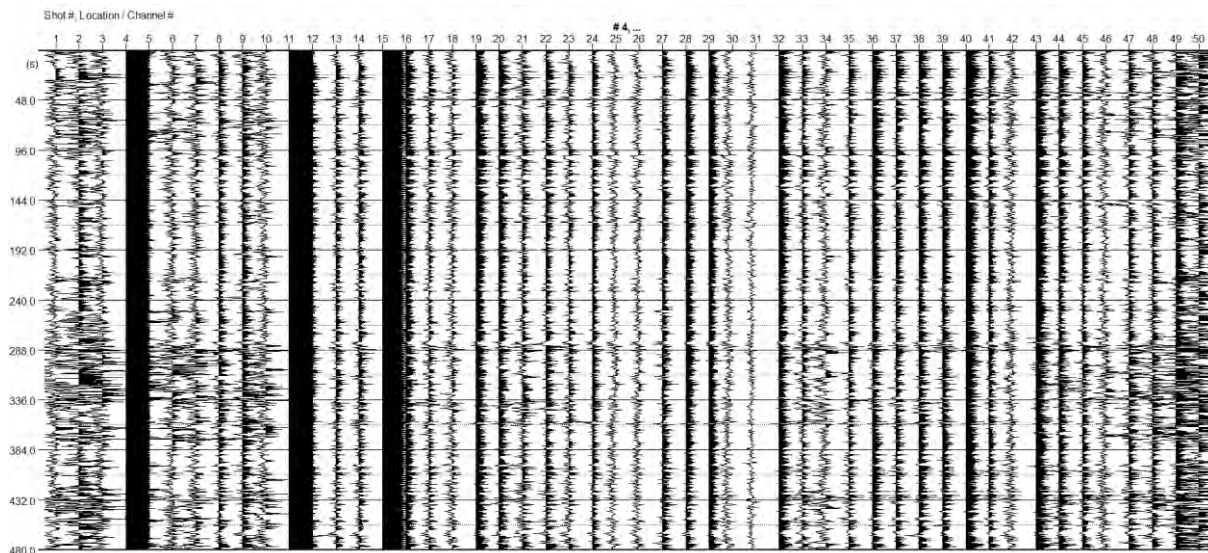


Figur 237 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec3 med inaktiverad mittgeofon för liten cirkel Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

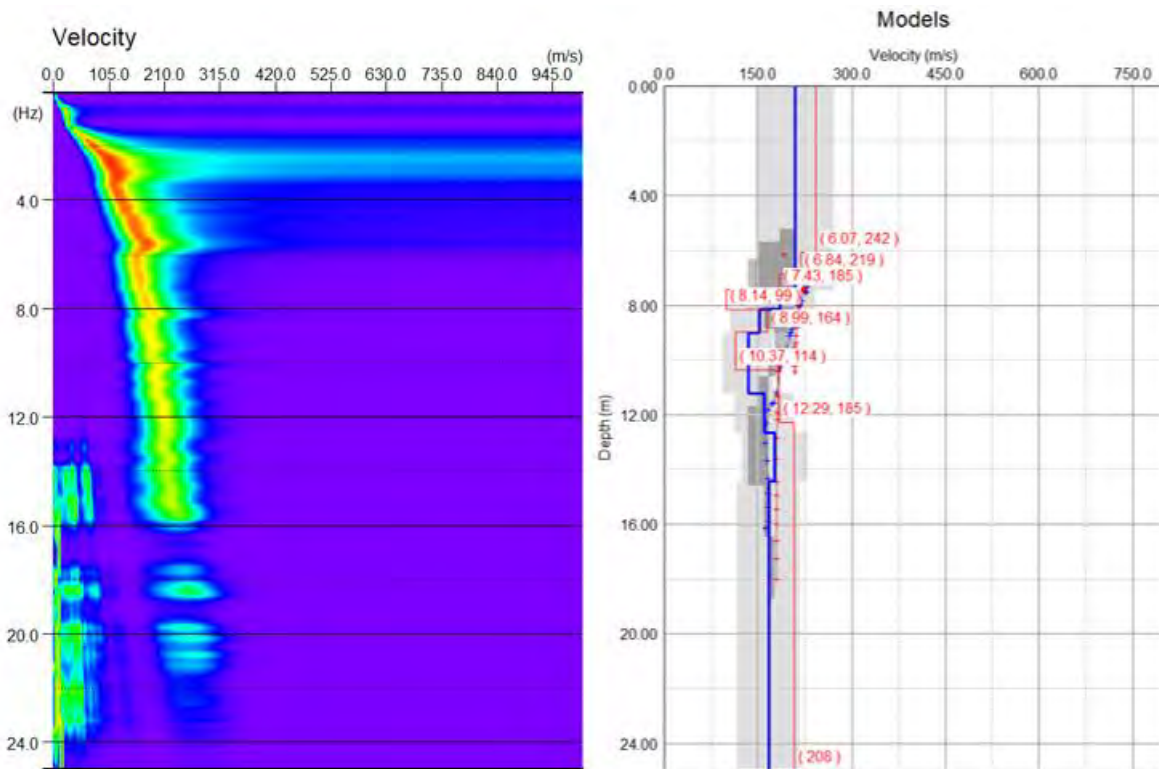
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	ν	ρ (t/m ³)
1	8,34	130	30	0,35	2
2	8,94	134	30	0,35	2
3	9,66	141	30	0,35	2
4	10,52	151	30	0,35	2
5	11,56	172	30	0,35	2
6	20	175	30	0,35	2

Figur 238 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec3 med inaktiverad mittgeofon för liten cirkel i Grevie.

1.5.5.4 Rec4 – inaktiverad mittgeofon



Figur 239 Seismiska data för Rec4 med inaktiverad mittgeofon för liten cirkel Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.



Figur 240 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec4 med inaktiverad mittgeofon för liten cirkel Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	ν	ρ (t/m ³)
1	7,46	209	30	0,35	2
2	8,16	186	30	0,35	2
3	9	152	30	0,35	2
4	10,01	134	30	0,35	2
5	11,22	135	30	0,35	2
6	12,67	160	30	0,35	2
7	14,41	177	30	0,35	2
8	25	167	30	0,35	2

Figur 241 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec4 med inaktiverad mittgeofon för liten cirkel i Grevie.

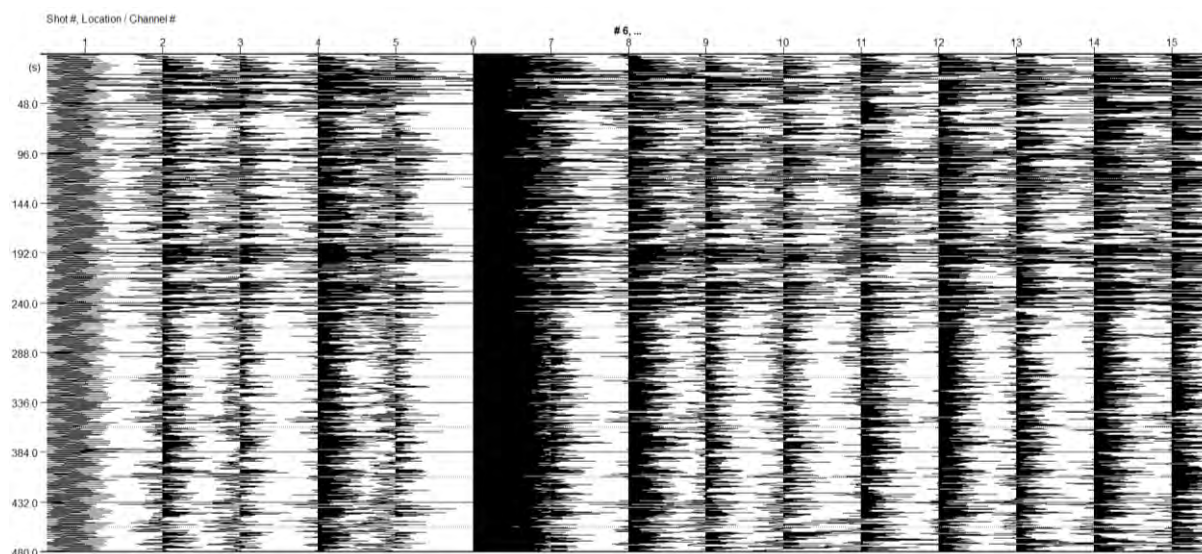
1.5.6 Grevie – Triangel

Inaktivering av mittgeofonen för triangeluppställningen i Grevie utfördes för två mätningar med låg respektive hög *misfit*. Mätningarna sammanfattas i Tabell 20.

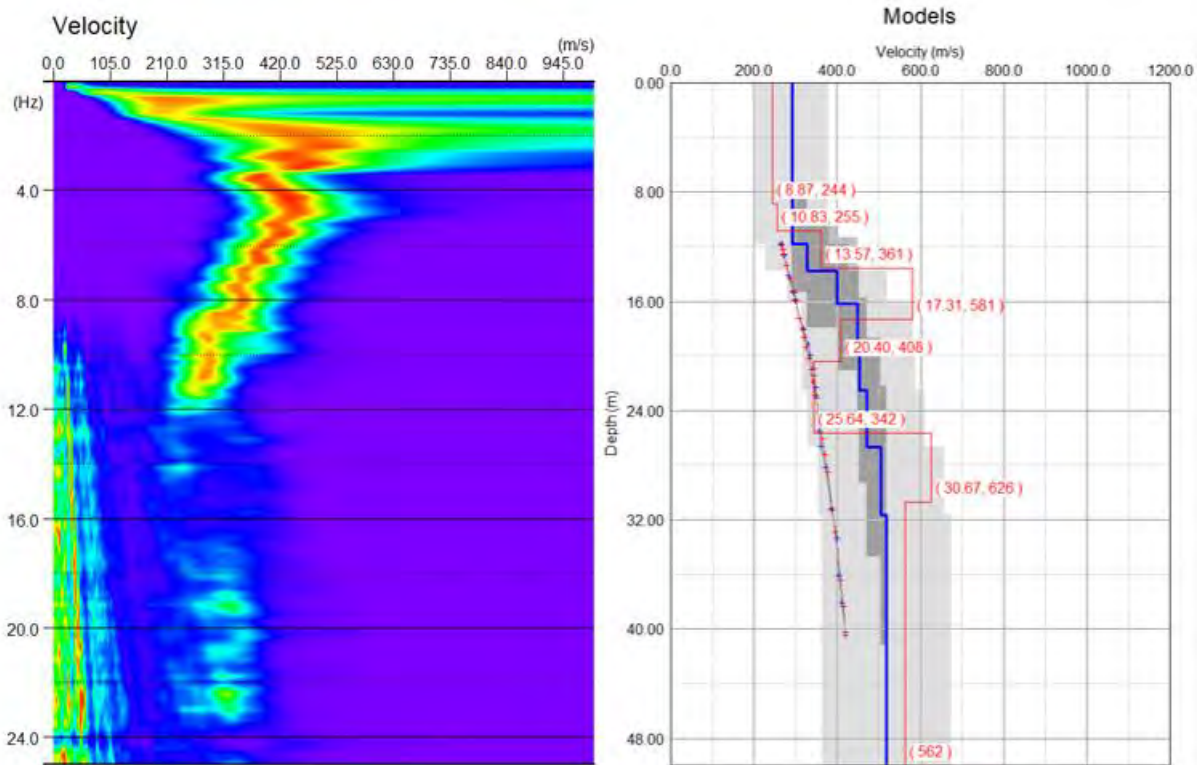
Tabell 20 Sammanfattning av mätningarnas resultat. Samplingsintervall och mättid för mätningarna beskrivs. Startdjup är det första djup som anges i siffror i den inversa modellen. I inversionsprocessen testades flera kombinationer av upplösning för hastighet och djup, och den som gav lägst misfit valdes.

MÄTNINGENS NAMN	SAMPLINGSINTERVALL [ms]	MÄTTID [ms]	STARTDJUP [m]	UPPLÖSNING HASTIGHET [m/s]	UPPLÖSNING DJUP [m]	MISFIT [%]
Rec6						
Inaktiverad mittgeofon	4	480 000	8,87	2,0	0,1	1,37
Rec8						
Inaktiverad mittgeofon	8	960 000	10,91	2,0	0,2	2,04

1.5.6.1 Rec6 – inaktiverad mittgeofon



Figur 242 Seismiska data för Rec6 med inaktiverad mittgeofon för triangel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.

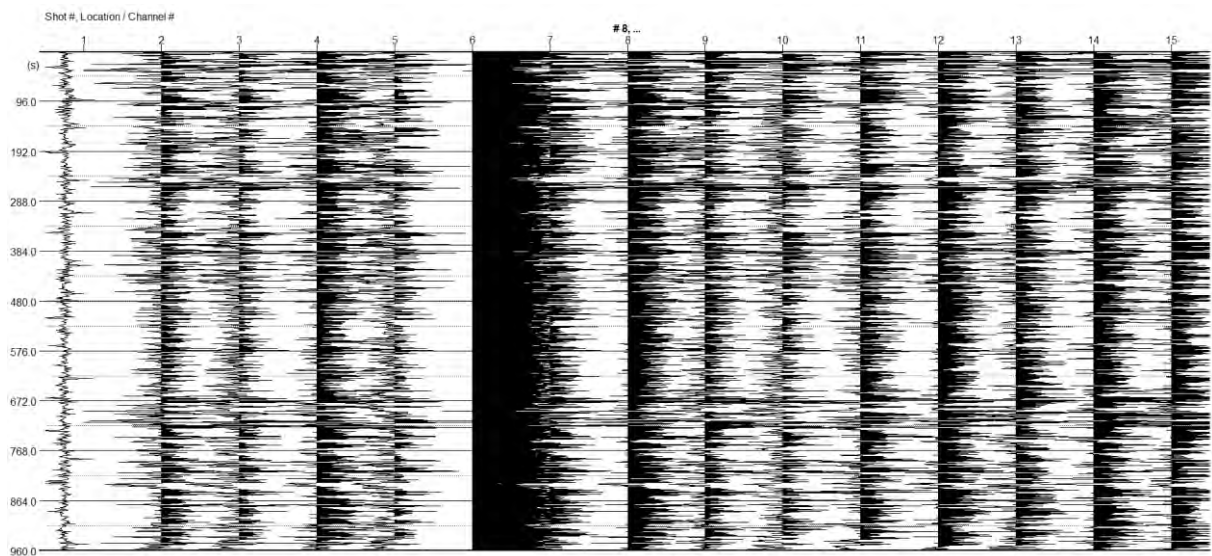


Figur 243 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec6 med inaktiverad mittgeofon för triangel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

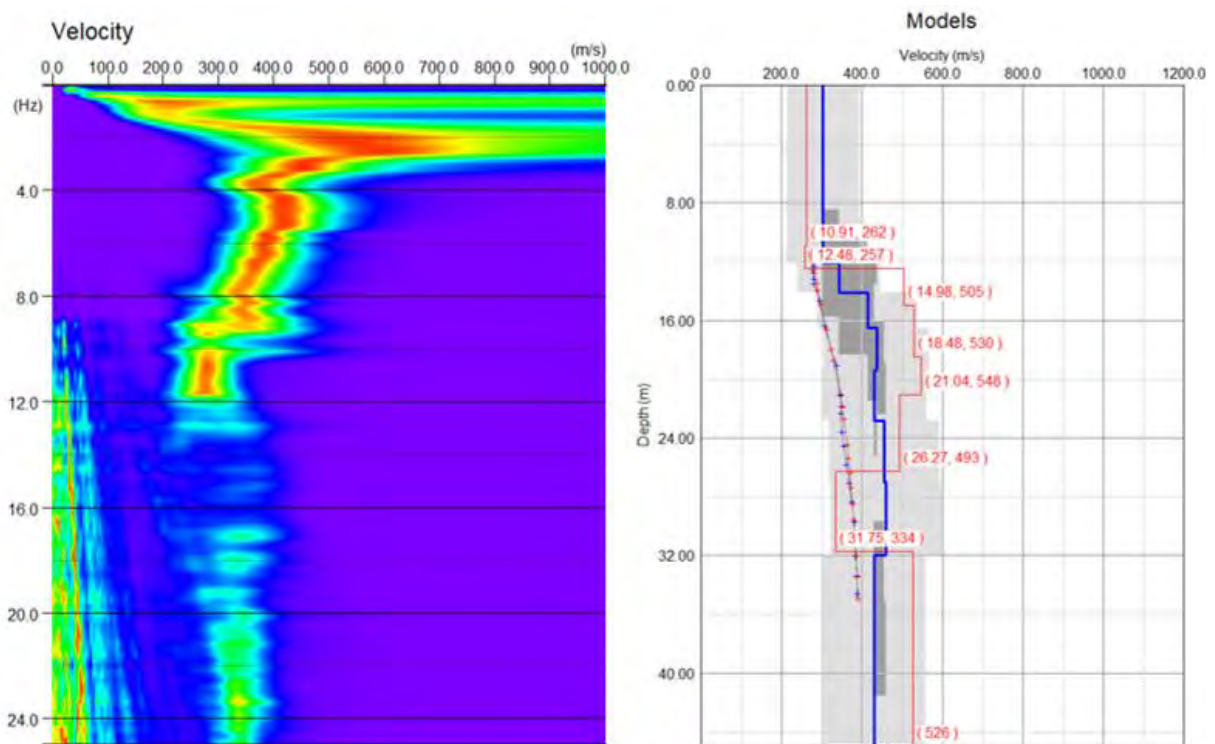
Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	ν	ρ (t/m ³)
1	11,8	292	30	0,35	2
2	13,8	327	30	0,35	2
3	16,2	400	30	0,35	2
4	19,08	448	30	0,35	2
5	22,54	452	30	0,35	2
6	26,69	470	30	0,35	2
7	31,67	505	30	0,35	2
8	50	519	30	0,35	2

Figur 244 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec6 med inaktiverad mittgeofon för triangel i Grevie.

1.5.6.2 Rec8 – inaktiverad mittgeofon



Figur 245 Seismiska data för Rec8 med med inaktiverad mittgeofon för triangel i Grevie. Numrering av geofoner på x-axeln och tid i sekunder på y-axeln.



Figur 246 Till vänster: Frekvens-fashastighetsspektrum för Rec8 med inaktiverad mittgeofon för triangel i Grevie. Hastighet på x-axeln och frekvens på y-axeln. Till höger: Modell över skjuvvågshastigheten i förhållande till djupet. Blå linje visar modellen skapad med de manuellt valda punkterna och den röda linjen visar modellen som skapats av inversionsprocessen.

Initial Model					
	Depth (m)	Vs (m/s)	Range (%)	v	ρ (t/m ³)
1	12,12	303	30	0,35	2
2	14,12	344	30	0,35	2
3	16,52	414	30	0,35	2
4	19,4	437	30	0,35	2
5	22,86	431	30	0,35	2
6	27,01	456	30	0,35	2
7	31,99	460	30	0,35	2
8	45	430	30	0,35	2

Figur 247 Parametrar för den skapade modellen från de manuellt valda punkterna, observera att inga värden har fyllts i manuellt. Tillhör Rec8 med inaktiverad mittgeofon för triangel i Grevie.

Bilaga B - Manual för SUMMIT X One, passiv ytvågsseismik

Nedan följer en kort manual för hur SUMMIT X One kan hanteras under mätningar med passiv ytvågsseismik. Manualen har skapats av Anna Snellman i samband med fältarbetet i oktober 2022.

Förberedelser

Kom ihåg att koppla in kablarna till den seismografen SUMMIT X One och fältdatorn INNAN man sätter på alla klämmor till geofonerna. Ethernet-kabeln ska även kopplas till fältdatorn, som i sin tur är kopplad till ett batteri som strömkälla. Starta programmet SUMMIT X One på fältdatorn. Om programmet krånglar och det står *disconnected* eller lyser orange kan man testa att byta vilken *line* (t.ex. A eller B) som kabeln är ansluten till boxen. Det ska lysa grönt och stå *online* i programmet om allt fungerar. När man sedan kopplar in geofonerna till kabeln med klämmorna börjar klämman blinka rött om den är rätt inkopplad (testa annars att flytta kabeln lite eller byta håll) och geofonen ska då dyka upp i på fältdatorns skärm i programmet.

Handhavande i programmet

1. *File* → *Create new survey*. Fyll i *survey name* och *project name* (kan vara samma), resten lämnas tomt. Kom ihåg var filen sparas någonstans på själva fältdatorn. Välj *Seg 2-format*.
2. Klicka på *next* och välj *Simple geometry 2D*.
3. Klicka på *next* och markera linjen så att den blir blå (annars sparas inte ändringarna). Fyll i *Line description* (förslagsvis 1) och fyll i *stations per line* (det vill säga hur många geofoner man ska använda, t.ex. 78). Låt resten stå på 1. Klicka sedan på *Finish*.
4. *File* → *Survey overview* → välj det *survey*-namn i listan som du valde i steg 1. Klicka på *Set Active* så att den blir grönmarkerad i listan.
5. Under *Network plan* kan man högerklicka på ena änden av linjen med punkter och välja *Assign from here*. Den blir då grönmarkerad. Klicka sedan på andra änden av linjen och välj *Assign to here*. Den får då en svart-vit målflagga. Det dyker sedan upp en ruta som heter *Assign line*, och då väljer man *Station 1* och *ascending*. Det handlar alltså om varifrån mätningen ska ske och att geofonnumret ökar från den första geofonen. Om du inte får upp alla geofoner på linjen där man ska välja *Assign from/to here* så kan man testa att klicka på *Refresh*.
6. Fortsätt sedan under fliken *Network plan*. Dra upp det nedre fönstret, så bör man se lika många runda blå prickar som antalet inkopplade geofoner. Om du inte ser alla på en gång kan du testa att dra fönstret åt sidan. Se till att alla är just blå, så att ingen geofon saknas eller inte fungerar.

7. Klicka sedan på fliken *Measurement*. Välj *sampling interval* ur en rullista och *recording time*. Titta i manualen för SUMMIT X One för instruktioner om hur många *samples* som kan göras. Utifrån den informationen kan du välja värden för *sampling interval* och *recording time* som passar din mätning. Resten fylls inte i.
8. Klicka sedan på fliken *Aquisition* och på knappen *Start measurement*. Rulla ner i fönstret och fyll i antal geofoner som ska användas. Kontrollera att de blåa prickarna nu blir gröna. Man kan sedan testa att knacka på den första geofonen. Det ska då blinka på den pricken på skärmen, vilket är ett sätt att se om det stämmer att den geofonen är just den första (och inte sista, om man har kopplat kabeln fel eller angett fel startgeofon i programmet).
9. Klicka sedan på *Trigger enable* och sedan *Trigger force*. Nu har mätningen startat och man kan se att det står *Pending* och ett procentantal, så att man får en uppfattning om hur lång tid av mätningen som har passerat. Det finns ett fönster till höger som man kan dra ut där man sedan får fram resultatet i form av seismiska data. Testa att klicka på *Gain - trace normalize* under *Filter settings* för att förändra utseendet på grafen. Om man är osäker på om ens uppställning är rätt inkopplad kan man starta med en kort mätning och därefter se om det finns signal från alla geofoner i resultatet.
10. När mätningen är klar kan man sätta igång en ny direkt enligt steg 9. Om man vill ändra *sampling interval* och *recording time* behöver man klicka på *Stop measurement*. Därefter går man tillbaka till Steg 7 i manualen, men hoppar sedan över steg 8 och går istället direkt till steg 9.
11. Om man vill göra en helt ny *line*, till exempel om man har gjort en stor cirkel och sedan vill göra en liten, måste man gå tillbaka till steg 1 i manualen igen.
12. När man är helt färdig stänger man av programmet och stänger av datorn. Klicka gärna på *disconnect* där det står *online* så att det blir orange istället för grönt innan du stänger av programmet. Kom som sagt ihåg var filen sparades någonstans. Sedan kan geofonerna kopplas ur etc.

Bilaga C

```
%Cirkel koordinater för geofonplacering
clear all
X_start=387920.0; %startkoordinat, x
Y_start=6165243.1; %startkoordinat, y
%Startkoordinaterna markerar cirkelns mitt
r=25; %cirkelns radie [m]
n=79; %antal geofoner, exkl. mittgeofon
o=2.*pi.*r; %cirkelns omkrets [m]
d_o=o/n; %avstånd på cirkelns omkrets mellan geofonerna [m]
dv=360/n; %vinkel mellan geofoner i grader

G_kum=(dv:dv:360).'; %grader, kumulativt. Vektor.
x_koordinater=r.*cosd(G_kum)+X_start; %geofonernas x-
koordinater
y_koordinater=r.*sind(G_kum)+Y_start; %geofonernas y-
koordinater

Tabell=[G_kum x_koordinater y_koordinater]; %Tabell över
koordinater
t=array2table(Tabell, 'VariableNames', {'Grader', 'X', 'Y'})

figure(1)
plot(x_koordinater, y_koordinater, 'x')
hold on
plot(X_start, Y_start, 'd')
xlim([X_start-3*r/2 X_start+r*3/2])
ylim([Y_start-3*r/2 Y_start+r*3/2])
grid on
axis equal
title('Geofoner i cirkeluppställning')

ax=gca(); % Hämta axlarnas egenskaper och lagra i 'ax'

% Axelmärkningarna finns i ax._Axis.TickValues(:)
% Gör axelmärkningarna till heltal round(),
% sedan till textsträngar num2str()
ax.XAxis.TickLabels=num2str(round(ax.XAxis.TickValues(:)));
ax.YAxis.TickLabels=num2str(round(ax.YAxis.TickValues(:)));

% Sätt axeletiketter
ylabel('N');
```

```
xlabel('E');
```

```
s=[x_koordinater y_koordinater]'; %Skapar koordinater i  
lämpligt format  
fprintf("%f;%f\n",s)
```

Bilaga D

```
%Cirkel Grevie koordinater för geofonplacering, stor och
liten cirkel
clear all
X_start=387920.0; %startkoordinat, x
Y_start=6165243.1; %startkoordinat, y
%Startkoordinaterna markerar cirkelns mitt

%STOR CIRKEL
r_1=15; %cirkelns radie [m]
n_1=78; %antal geofoner exkl. mittgeofon
o_1=2.*pi.*r_1; %cirkelns omkrets [m]
d_o_1=o_1/n_1; %avstånd på cirkelns omkrets mellan
geofonerna [m]
dv_1=360/n_1; %vinkel mellan geofoner

G_kum=(dv_1:dv_1:360).'; %grader, kumulativt. Vektor.
x_koordinater_1=r_1.*cosd(G_kum)+X_start;
y_koordinater_1=r_1.*sind(G_kum)+Y_start;

Tabell_1=[G_kum x_koordinater_1 y_koordinater_1]; %Tabell
över koordinater
t_1=array2table(Tabell_1, 'VariableNames', {'Grader', 'X', 'Y'})

figure(1)
plot(x_koordinater_1, y_koordinater_1, 'x')
hold on
plot(X_start, Y_start, 'd')
xlim([X_start-r_1*6/5 X_start+r_1*6/5])
ylim([Y_start-r_1*6/5 Y_start+r_1*6/5])
grid on
axis equal
title('Koordinater för geofoner för stor cirkel')

ax=gca(); % Hämta axlarnas egenskaper och lagra i 'ax'

% Axelmarkeringarna finns i ax._Axis.TickValues(:)
% Gör axelmarkeringarna till heltal round(),
% sedan till textsträngar num2str()
ax.XAxis.TickLabels=num2str(round(ax.XAxis.TickValues(:)));
ax.YAxis.TickLabels=num2str(round(ax.YAxis.TickValues(:)));
```

```

% Sätt axeletiketter
ylabel('N');
xlabel('E');

s_1=[x_koordinater_1 y_koordinater_1]'; %Skapar koordinater
i lämpligt format
fprintf("%f;%f\n",s_1)

%LITEN CIRKEL
r_2=5; %cirkelns radie [m]
n_2=50; %antal geofoner, spara en geofon till cirkelns mitt
o_2=2.*pi.*r_2; %cirkelns omkrets [m]
d_o_2=o_2/n_2; %avstånd på cirkelns omkrets mellan
geofonerna [m]
dv_2=360/n_2; %vinkel mellan geofoner

G_kum=(dv_2:dv_2:360).'; %grader, kumulativt. Vektor.
x_koordinater_2=r_2.*cosd(G_kum)+X_start;
y_koordinater_2=r_2.*sind(G_kum)+Y_start;

Tabell_2=[G_kum x_koordinater_2 y_koordinater_2]; %Tabell
över koordinater
t_2=array2table(Tabell_2,'VariableNames',{'Grader','X','Y'})

figure(2)
plot(x_koordinater_2, y_koordinater_2,'s')
hold on
plot(X_start, Y_start, 'd')
xlim([X_start-r_2*6/5 X_start+r_2*6/5])
ylim([Y_start-r_2*6/5 Y_start+r_2*6/5])
grid on
axis equal
title('Koordinater för geofoner för liten cirkel')

ax=gca(); % Hämta axlarnas egenskaper och lagra i 'ax'

% Axelmarkeringarna finns i ax._Axis.TickValues(:)
% Gör axelmarkeringarna till heltal round(),
% sedan till textsträngar num2str()
ax.XAxis.TickLabels=num2str(round(ax.XAxis.TickValues(:)));
ax.YAxis.TickLabels=num2str(round(ax.YAxis.TickValues(:)));

% Sätt axeletiketter
ylabel('N');

```

```

xlabel('E');

s_2=[x_koordinater_2 y_koordinater_2]'; %Skapar koordinater
i lämpligt format
fprintf("%f;%f\n",s_2)

%STOR OCH LITEN CIRKEL
figure(3)
plot(x_koordinater_1, y_koordinater_1, 'x')
hold on
plot(x_koordinater_2, y_koordinater_2, 's')
hold on
plot(X_start, Y_start, 'd')
hold on
xlim([X_start-r_1*6/5 X_start+r_1*6/5])
ylim([Y_start-r_1*6/5 Y_start+r_1*6/5])
grid on
axis equal
legend('Stor cirkel', 'Liten cirkel', 'Mittpunkt')
title('Koordinater för geofoner för två cirklar i Greve')

ax=gca(); % Hämta axlarnas egenskaper och lagra i 'ax'

% Axelmarkeringarna finns i ax._Axis.TickValues(:)
% Gör axelmarkeringarna till heltal round(),
% sedan till textsträngar num2str()
ax.XAxis.TickLabels=num2str(round(ax.XAxis.TickValues(:)));
ax.YAxis.TickLabels=num2str(round(ax.YAxis.TickValues(:)));

% Sätt axeletiketter
ylabel('N');
xlabel('E');

```

Bilaga E

%Cirkel Grevie, jämförelse mellan förberäknade och inmätta
koordinater för
%stor och liten cirkel

%Förberäknade koordinater, stor cirkel

A=[387934.951360 6165244.306999

387934.805754 6165245.506169

387934.564127 6165246.689735

387934.228047 6165247.850020

387933.799692 6165248.979499

387933.281840 6165250.070848

387932.677851 6165251.116987

387931.991641 6165252.111134

387931.227661 6165253.046840

387930.390865 6165253.918037

387929.486681 6165254.719074

387928.520971 6165255.444758

387927.500000 6165256.090381

387926.430388 6165256.651757

387925.319073 6165257.125244

387924.173262 6165257.507772

387923.000385 6165257.796860

387921.808050 6165257.990633

387920.603989 6165258.087835

387919.396011 6165258.087835

387918.191950 6165257.990633

387916.999615 6165257.796860

387915.826738 6165257.507772

387914.680927 6165257.125244

387913.569612 6165256.651757

387912.500000 6165256.090381

387911.479029 6165255.444758

387910.513319 6165254.719074

387909.609135 6165253.918037

387908.772339 6165253.046840

387908.008359 6165252.111134

387907.322149 6165251.116987

387906.718160 6165250.070848

387906.200308 6165248.979499

387905.771953 6165247.850020

387905.435873 6165246.689735

387905.194246 6165245.506169
387905.048640 6165244.306999
387905.000000 6165243.100000
387905.048640 6165241.893001
387905.194246 6165240.693831
387905.435873 6165239.510265
387905.771953 6165238.349980
387906.200308 6165237.220501
387906.718160 6165236.129152
387907.322149 6165235.083013
387908.008359 6165234.088866
387908.772339 6165233.153160
387909.609135 6165232.281963
387910.513319 6165231.480926
387911.479029 6165230.755242
387912.500000 6165230.109619
387913.569612 6165229.548243
387914.680927 6165229.074756
387915.826738 6165228.692228
387916.999615 6165228.403140
387918.191950 6165228.209367
387919.396011 6165228.112165
387920.603989 6165228.112165
387921.808050 6165228.209367
387923.000385 6165228.403140
387924.173262 6165228.692228
387925.319073 6165229.074756
387926.430388 6165229.548243
387927.500000 6165230.109619
387928.520971 6165230.755242
387929.486681 6165231.480926
387930.390865 6165232.281963
387931.227661 6165233.153160
387931.991641 6165234.088866
387932.677851 6165235.083013
387933.281840 6165236.129152
387933.799692 6165237.220501
387934.228047 6165238.349980
387934.564127 6165239.510265
387934.805754 6165240.693831
387934.951360 6165241.893001
387935.000000 6165243.100000]

%Inmätta koordinater, stor cirkel

B=[387934.966 6165243.635
387934.764 6165244.941
387934.624 6165246.180
387934.375 6165247.239
387934.044 6165248.426
387933.589 6165249.496
387932.977 6165250.583
387932.356 6165251.709
387931.651 6165252.472
387930.813 6165253.537
387929.923 6165254.224
387928.920 6165255.169
387928.083 6165255.846
387927.010 6165256.559
387925.847 6165256.894
387924.694 6165257.236
387923.547 6165257.640
387922.372 6165257.835
387921.211 6165257.952
387919.885 6165258.068
387918.801 6165257.999
387917.665 6165257.917
387916.483 6165257.656
387915.297 6165257.286
387914.170 6165256.859
387913.037 6165256.335
387911.966 6165255.817
387911.015 6165255.131
387910.069 6165254.260
387909.249 6165253.492
387908.425 6165252.551
387907.752 6165251.636
387907.060 6165250.584
387906.521 6165249.531
387905.952 6165248.416
387905.643 6165247.292
387905.329 6165246.109
387905.105 6165244.857
387905.005 6165243.644
387905.038 6165242.507
387905.124 6165241.265
387905.329 6165240.090
387905.622 6165238.900
387906.011 6165237.772

387906.501	6165236.619
387907.068	6165235.547
387907.667	6165234.503
387908.424	6165233.561
387909.233	6165232.677
387910.087	6165231.812
387910.994	6165231.125
387912.017	6165230.382
387913.083	6165229.778
387914.149	6165229.294
387915.285	6165228.850
387916.403	6165228.519
387917.642	6165228.222
387918.829	6165228.155
387920.036	6165228.096
387921.233	6165228.168
387922.402	6165228.324
387923.634	6165228.538
387924.768	6165228.938
387925.920	6165229.328
387926.938	6165229.774
387928.000	6165230.471
387929.059	6165231.144
387929.981	6165231.820
387930.859	6165232.738
387931.691	6165233.600
387932.410	6165234.585
387933.099	6165235.573
387933.633	6165236.667
387934.113	6165237.721
387934.352	6165238.840
387934.733	6165240.103
387934.829	6165241.271
387934.990	6165242.451]

%Förberäknade koordinater, liten cirkel

```
C=[387924.960574 6165243.726666  
387924.842916 6165244.343449  
387924.648882 6165244.940623  
387924.381533 6165245.508768  
387924.045085 6165246.038926  
387923.644843 6165246.522736  
387923.187120 6165246.952566
```

387922.679134 6165247.321640
387922.128896 6165247.624135
387921.545085 6165247.855283
387920.936907 6165248.011436
387920.313953 6165248.090134
387919.686047 6165248.090134
387919.063093 6165248.011436
387918.454915 6165247.855283
387917.871104 6165247.624135
387917.320866 6165247.321640
387916.812880 6165246.952566
387916.355157 6165246.522736
387915.954915 6165246.038926
387915.618467 6165245.508768
387915.351118 6165244.940623
387915.157084 6165244.343449
387915.039426 6165243.726666
387915.000000 6165243.100000
387915.039426 6165242.473334
387915.157084 6165241.856551
387915.351118 6165241.259377
387915.618467 6165240.691232
387915.954915 6165240.161074
387916.355157 6165239.677264
387916.812880 6165239.247434
387917.320866 6165238.878360
387917.871104 6165238.575865
387918.454915 6165238.344717
387919.063093 6165238.188564
387919.686047 6165238.109866
387920.313953 6165238.109866
387920.936907 6165238.188564
387921.545085 6165238.344717
387922.128896 6165238.575865
387922.679134 6165238.878360
387923.187120 6165239.247434
387923.644843 6165239.677264
387924.045085 6165240.161074
387924.381533 6165240.691232
387924.648882 6165241.259377
387924.842916 6165241.856551
387924.960574 6165242.473334
387925.000000 6165243.100000]

%Inmätta koordinater, liten cirkel

D=[387924.898 6165244.111

387924.767	6165244.591
387924.500	6165245.237
387924.249	6165245.722
387923.926	6165246.216
387923.440	6165246.764
387922.973	6165247.140
387922.388	6165247.461
387921.861	6165247.727
387921.260	6165247.937
387920.671	6165248.073
387920.034	6165248.074
387919.337	6165248.089
387918.799	6165248.074
387918.209	6165247.894
387917.651	6165247.632
387917.062	6165247.235
387916.562	6165246.815
387916.057	6165246.424
387915.801	6165245.937
387915.465	6165245.299
387915.272	6165244.750
387915.099	6165244.058
387915.037	6165243.508
387915.004	6165242.832
387915.039	6165242.273
387915.305	6165241.611
387915.429	6165241.017
387915.809	6165240.437
387916.201	6165239.950
387916.644	6165239.461
387917.018	6165238.995
387917.596	6165238.653
387918.186	6165238.394
387918.768	6165238.225
387919.403	6165238.090
387919.995	6165238.061
387920.614	6165238.060
387921.233	6165238.278
387921.837	6165238.416
387922.425	6165238.728
387922.990	6165238.982
387923.481	6165239.513

```
387923.862  6165239.921
387924.244  6165240.449
387924.544  6165240.998
387924.795  6165241.500
387924.973  6165242.144
387925.039  6165242.827
387924.999  6165243.422 ]
```

```
%Mittpunkten:
```

```
Startpunkt=[387920.0 6165243.1]; %Förbestämd
```

```
Center=[387920.010 6165243.134]; %Uppmätt
```

```
%STOR CIRKEL
```

```
figure(1)
```

```
plot(A(:,1), A(:,2), 's')
```

```
hold on
```

```
plot(B(:,1), B(:,2), 'd')
```

```
plot(Startpunkt(:,1), Startpunkt(:,2), '*')
```

```
plot(Center(:,1), Center(:,2), 'x')
```

```
grid on
```

```
axis equal
```

```
legend('Förberäknade koordinater', 'Inmätta  
koordinater', 'Förberäknad mittpunkt', 'Inmätt mittpunkt')
```

```
title('Förberäknade och inmätta koordinater, stor cirkel i  
Grevie')
```

```
ax=gca(); % Hämta axlarnas egenskaper och lagra i 'ax'
```

```
% Axelmarkeringarna finns i ax._Axis.TickValues(:)
```

```
% Gör axelmarkeringarna till heltal round(),
```

```
% sedan till textsträngar num2str()
```

```
ax.XAxis.TickLabels=num2str(round(ax.XAxis.TickValues(:)));
```

```
ax.YAxis.TickLabels=num2str(round(ax.YAxis.TickValues(:)));
```

```
% Sätt axeletiketter
```

```
ylabel('N');
```

```
xlabel('E');
```

```
%Skillnaden mellan de förberäknade koordinaterna och de  
inmätta i form av
```

```
%en hypotenusa (Pythagoras sats)
```

```
hyp_stor=sqrt(((B(:,1)-A(:,1)).^2)+((B(:,2)-A(:,2)).^2))
```

```
%Statistiska mått
```

```

Mean_stor=mean(hyp_stor) %Medelvärde
Median_stor=median(hyp_stor) %Median
Min_stor=min(hyp_stor) %Minimumvärde
Max_stor=max(hyp_stor) %Maximumvärde
Standardavvikelse_stor=std(hyp_stor) %Standardavvikelse

%LITEN CIRKEL
figure(2)
plot(C(:,1), C(:,2), 's')
hold on
plot(D(:,1), D(:,2), 'd')
plot(Startpunkt(:,1), Startpunkt(:,2), '*')
plot(Center(:,1), Center(:,2), 'x')
grid on
axis equal
legend('Förberäknade koordinater','Inmätta
koordinater','Förberäknad mittpunkt','Inmätt mittpunkt')
title('Förberäknade och inmätta koordinater, liten cirkel i
Grevie')

ax=gca(); % Hämta axlarnas egenskaper och lagra i 'ax'

% Axelmarkeringarna finns i ax._Axis.TickValues(:)
% Gör axelmarkeringarna till heltal round(),
% sedan till textsträngar num2str()
ax.XAxis.TickLabels=num2str(round(ax.XAxis.TickValues(:)));
ax.YAxis.TickLabels=num2str(round(ax.YAxis.TickValues(:)));

% Sätt axeletiketter
ylabel('N');
xlabel('E');

%Skillnaden mellan de förberäknade koordinaterna och de
inmätta i form av
%en hypotenus (Pythagoras sats)
hyp_liten=sqrt(((D(:,1)-C(:,1)).^2)+((D(:,2)-C(:,2)).^2))

%Statistiska mått
Mean_liten=mean(hyp_liten) %Medelvärde
Median_liten=median(hyp_liten) %Median
Min_liten=min(hyp_liten) %Minimumvärde
Max_liten=max(hyp_liten) %Maximumvärde
Standardavvikelse_liten=std(hyp_liten) %Standardavvikelse

```

```
%Skillnad mellan förberäknad och inmätt mittpunkt  
hyp_mitt=sqrt(((Center(:,1)-  
Startpunkt(:,1)).^2)+((Center(:,2)-Startpunkt(:,2)).^2))
```

Bilaga F

```
%Cirkel Tornhill, koordinater för geofonplacering för liten
cirkel samt
%jämförelse av förberäknade och inmätta koordinater
clear all
X_start=386672.775; %startkoordinat, x
Y_start=6177910.801; %startkoordinat, y
%Startkoordinaterna markerar cirkelns mitt
r_1=5; %cirkelns radie [m]
n_1=50; %antal geofoner exkl. mittgeofon
o_1=2.*pi.*r_1; %cirkelns omkrets [m]
d_o_1=o_1/n_1; %avstånd på cirkelns omkrets mellan
geofonerna [m]
dv_1=360/n_1; %vinkel mellan geofoner

G_kum=(dv_1:dv_1:360).'; %grader, kumulativt. Vektor.
x_koordinater_1=r_1.*cosd(G_kum)+X_start;
y_koordinater_1=r_1.*sind(G_kum)+Y_start;

Tabell_1=[G_kum x_koordinater_1 y_koordinater_1]; %Tabell
över koordinaterna
t_1=array2table(Tabell_1, 'VariableNames', {'Grader', 'X', 'Y'})

figure(1)
plot(x_koordinater_1, y_koordinater_1, 'x')
hold on
plot(X_start, Y_start, 'd')
xlim([X_start-r_1*6/5 X_start+r_1*6/5])
ylim([Y_start-r_1*6/5 Y_start+r_1*6/5])
grid on
axis equal
title('Förberäknade koordinater för liten cirkel i
Tornhilll')

ax=gca(); % Hämta axlarnas egenskaper och lagra i 'ax'

% Axelmarkeringarna finns i ax._Axis.TickValues(:)
% Gör axelmarkeringarna till heltal round(),
% sedan till textsträngar num2str()
ax.XAxis.TickLabels=num2str(round(ax.XAxis.TickValues(:)));
ax.YAxis.TickLabels=num2str(round(ax.YAxis.TickValues(:)));
```



```

% Sätt axeletiketter
ylabel('N');
xlabel('E');

s_1=[x_koordinater_1 y_koordinater_1]'; %Skapar koordinater
i lämpligt format
fprintf("%f;%f\n",s_1)

%Förberäknade koordinater
A=[386677.735574 6177911.427666
386677.617916 6177912.044449
386677.423882 6177912.641623
386677.156533 6177913.209768
386676.820085 6177913.739926
386676.419843 6177914.223736
386675.962120 6177914.653566
386675.454134 6177915.022640
386674.903896 6177915.325135
386674.320085 6177915.556283
386673.711907 6177915.712436
386673.088953 6177915.791134
386672.461047 6177915.791134
386671.838093 6177915.712436
386671.229915 6177915.556283
386670.646104 6177915.325135
386670.095866 6177915.022640
386669.587880 6177914.653566
386669.130157 6177914.223736
386668.729915 6177913.739926
386668.393467 6177913.209768
386668.126118 6177912.641623
386667.932084 6177912.044449
386667.814426 6177911.427666
386667.775000 6177910.801000
386667.814426 6177910.174334
386667.932084 6177909.557551
386668.126118 6177908.960377
386668.393467 6177908.392232
386668.729915 6177907.862074
386669.130157 6177907.378264
386669.587880 6177906.948434
386670.095866 6177906.579360
386670.646104 6177906.276865
386671.229915 6177906.045717

```

```
386671.838093 6177905.889564
386672.461047 6177905.810866
386673.088953 6177905.810866
386673.711907 6177905.889564
386674.320085 6177906.045717
386674.903896 6177906.276865
386675.454134 6177906.579360
386675.962120 6177906.948434
386676.419843 6177907.378264
386676.820085 6177907.862074
386677.156533 6177908.392232
386677.423882 6177908.960377
386677.617916 6177909.557551];
```

```
%Inmätta koordinater
```

```
B=[386677.760 6177911.560
386677.691 6177912.127
386677.504 6177912.674
386676.999 6177913.292
386676.772 6177913.797
386676.437 6177914.260
386675.869 6177914.681
386675.371 6177915.003
386674.828 6177915.380
386674.316 6177915.585
386673.759 6177915.868
386673.067 6177915.977
386672.579 6177915.779
386671.895 6177915.722
386671.304 6177915.617
386670.658 6177915.367
386670.066 6177915.030
386669.560 6177914.647
386669.048 6177914.334
386668.729 6177913.836
386668.339 6177913.343
386668.131 6177912.692
386667.884 6177912.191
386667.796 6177911.562
386667.698 6177910.915
386667.808 6177910.276
386667.945 6177909.566
386668.160 6177909.112
386668.315 6177908.516
```

```
386668.666 6177908.047
386669.123 6177907.500
386669.562 6177907.065
386670.026 6177906.624
386670.750 6177906.259
386671.342 6177906.034
386671.830 6177905.918
386672.428 6177905.770
386673.070 6177905.774
386673.844 6177905.767
386674.349 6177905.939
386674.939 6177906.168
386675.452 6177906.568
386675.997 6177906.750
386676.533 6177907.445
386676.991 6177907.883
386677.192 6177908.394
386677.462 6177909.001
386677.635 6177909.6540];
```

```
figure(2)
plot(A(:,1), A(:,2), 's')
hold on
plot(B(:,1), B(:,2), 'd')
plot(X_start, Y_start, 'x')
grid on
axis equal
legend('Förberäknade koordinater', 'Inmätta koordinater',
'Mittpunkt')
title('Förberäknade och inmätta koordinater, liten cirkel i
Tornhilll')
```

```
ax=gca(); % Hämta axlarnas egenskaper och lagra i 'ax'

% Axelmarkeringarna finns i ax._Axis.TickValues(:)
% Gör axelmarkeringarna till heltal round(),
% sedan till textsträngar num2str()
ax.XAxis.TickLabels=num2str(round(ax.XAxis.TickValues(:)));
ax.YAxis.TickLabels=num2str(round(ax.YAxis.TickValues(:)));

% Sätt axeletiketter
ylabel('N');
xlabel('E');
```

```
%Skillnaden mellan de förberäknade koordinaterna och de  
inmätta i form av  
%en hypotenusa (Pythagoras sats)  
hyp=sqrt(((B(:,1)-A(:,1)).^2)+((B(:,2)-A(:,2)).^2))
```

```
%Statistiska mått  
Mean=mean(hyp) %Medelvärde  
Median=median(hyp) %Median  
Min=min(hyp) %Minimumvärde  
Max=max(hyp) %Maximumvärde  
Standardavvikelse=std(hyp) %Standardavvikelse
```

Bilaga G

```
%Cirkel Tornhill, koordinater för geofonplacering för stor
cirkel samt
%jämförelse av hypotetiska och inmätta koordinater
clear all
X_start=386672.775; %startkoordinat, x
Y_start=6177910.801; %startkoordinat, y
%Startkoordinaterna markerar cirkelns mitt
r_1=25; %cirkelns radie [m]
n_1=79; %antal geofoner exkl. mittgeofon
o_1=2.*pi.*r_1; %cirkelns omkrets [m]
d_o_1=o_1/n_1; %avstånd på cirkelns omkrets mellan
geofonerna [m]
dv_1=360/n_1; %vinkel mellan geofoner

G_kum=(dv_1:dv_1:360).'; %grader, kumulativt. Vektor.
x_koordinater_1=r_1.*cosd(G_kum)+X_start;
y_koordinater_1=r_1.*sind(G_kum)+Y_start;

Tabell_1=[G_kum x_koordinater_1 y_koordinater_1]; %Tabell
över koordinaterna
t_1=array2table(Tabell_1,'VariableNames',{'Grader','X','Y'})

figure(1)
plot(x_koordinater_1, y_koordinater_1,'x')
hold on
plot(X_start, Y_start, 'd')
xlim([X_start-r_1*6/5 X_start+r_1*6/5])
ylim([Y_start-r_1*6/5 Y_start+r_1*6/5])
grid on
axis equal
title('Hypotetiska koordinater, stor cirkel i Tornhilll')

ax=gca(); % Hämta axlarnas egenskaper och lagra i 'ax'

% Axelmärkningarna finns i ax._Axis.TickValues(:)
% Gör axelmärkningarna till heltal round(),
% sedan till textsträngar num2str()
ax.XAxis.TickLabels=num2str(round(ax.XAxis.TickValues(:)));
ax.YAxis.TickLabels=num2str(round(ax.YAxis.TickValues(:)));

% Sätt axeletiketter
```

```
ylabel('N');
xlabel('E');

s_1=[x_koordinater_1 y_koordinater_1]'; %Skapar koordinater
i lämpligt format
fprintf("%f;%f\n",s_1)

%Hypotetiska koordinater
A=[386697.695971 6177912.787254
386697.459384 6177914.760951
386697.066734 6177916.709611
386696.520503 6177918.620915
386695.824146 6177920.482779
386694.982065 6177922.283432
386693.999584 6177924.011489
386692.882914 6177925.656026
386691.639116 6177927.206644
386690.276052 6177928.653540
386688.802341 6177929.987567
386687.227300 6177931.200290
386685.560887 6177932.284042
386683.813637 6177933.231972
386681.996598 6177934.038085
386680.121257 6177934.697287
386678.199470 6177935.205408
386676.243388 6177935.559237
386674.265378 6177935.756536
386672.277945 6177935.796058
386670.293655 6177935.677554
386668.325053 6177935.401772
386666.384584 6177934.970456
386664.484518 6177934.386332
386662.636867 6177933.653095
386660.853312 6177932.775380
386659.145131 6177931.758735
386657.523121 6177930.609589
386655.997539 6177929.335207
386654.578030 6177927.943645
386653.273567 6177926.443702
386652.092399 6177924.844861
386651.041993 6177923.157230
386650.128990 6177921.391479
386649.359163 6177919.558771
386648.737377 6177917.670694
```

386648.267566 6177915.739185
386647.952698 6177913.776455
386647.794765 6177911.794913
386647.794765 6177909.807087
386647.952698 6177907.825545
386648.267566 6177905.862815
386648.737377 6177903.931306
386649.359163 6177902.043229
386650.128990 6177900.210521
386651.041993 6177898.444770
386652.092399 6177896.757139
386653.273567 6177895.158298
386654.578030 6177893.658355
386655.997539 6177892.266793
386657.523121 6177890.992411
386659.145131 6177889.843265
386660.853312 6177888.826620
386662.636867 6177887.948905
386664.484518 6177887.215668
386666.384584 6177886.631544
386668.325053 6177886.200228
386670.293655 6177885.924446
386672.277945 6177885.805942
386674.265378 6177885.845464
386676.243388 6177886.042763
386678.199470 6177886.396592
386680.121257 6177886.904713
386681.996598 6177887.563915
386683.813637 6177888.370028
386685.560887 6177889.317958
386687.227300 6177890.401710
386688.802341 6177891.614433
386690.276052 6177892.948460
386691.639116 6177894.395356
386692.882914 6177895.945974
386693.999584 6177897.590511
386694.982065 6177899.318568
386695.824146 6177901.119221
386696.520503 6177902.981085
386697.066734 6177904.892389
386697.459384 6177906.841049
386697.695971 6177908.814746
386697.775000 6177910.801000];

%Inmätta koordinater

B=[386697.634 6177913.457

386697.380 6177915.447

386696.916 6177917.374

386696.335 6177919.217

386695.616 6177921.076

386694.698 6177922.839

386693.736 6177924.509

386692.566 6177926.115

386691.323 6177927.649

386689.927 6177929.046

386688.417 6177930.347

386686.831 6177931.532

386685.159 6177932.578

386683.367 6177933.522

386681.528 6177934.278

386679.671 6177934.913

386677.706 6177935.370

386675.798 6177935.651

386673.786 6177935.848

386671.783 6177935.780

386669.829 6177935.686

386667.865 6177935.386

386665.612 6177934.851

386663.752 6177934.136

386661.897 6177933.443

386660.171 6177932.399

386658.489 6177931.356

386656.841 6177930.188

386655.408 6177928.785

386653.991 6177927.410

386652.747 6177925.848

386651.629 6177924.241

386650.659 6177922.441

386649.810 6177920.653

386649.066 6177918.779

386648.546 6177916.903

386648.135 6177914.972

386647.876 6177913.016

386647.788 6177911.002

386647.829 6177909.013

386648.071 6177907.022

386648.457 6177905.102

386648.966 6177903.186


```
386649.680 6177901.278
386650.513 6177899.504
386651.446 6177897.787
386652.591 6177896.119
386653.784 6177894.600
386655.155 6177893.149
386656.576 6177891.762
386658.166 6177890.556
386659.797 6177889.473
386661.502 6177888.521
386663.272 6177887.640
386665.209 6177887.045
386667.090 6177886.481
386669.025 6177886.091
386671.005 6177885.856
386672.994 6177885.809
386674.949 6177885.869
386676.944 6177886.185
386678.884 6177886.588
386680.815 6177887.124
386682.710 6177887.839
386684.468 6177888.681
386686.224 6177889.664
386687.827 6177890.807
386689.378 6177892.080
386690.834 6177893.422
386692.127 6177894.902
386693.306 6177896.488
386694.412 6177898.154
386695.344 6177899.965
386696.124 6177901.741
386696.764 6177903.629
386697.243 6177905.511
386697.587 6177907.521
386697.770 6177909.513
386697.757 6177911.460 ];
```

```
figure(2)
plot(A(:,1), A(:,2), 's')
hold on
plot(B(:,1), B(:,2), 'd')
plot(X_start, Y_start, 'x')
grid on
axis equal
```

```

legend('Hypotetiska koordinater', 'Inmätta koordinater',
'Mittpunkt')
title('Hypotetiska och inmätta koordinater, stor cirkel i
Tornhilll')

ax=gca();      % Hämta axlarnas egenskaper och lagra i 'ax'

% Axelmarkeringarna finns i ax._Axis.TickValues(:)
% Gör axelmarkeringarna till heltal round(),
% sedan till textsträngar num2str()
ax.XAxis.TickLabels=num2str(round(ax.XAxis.TickValues(:)));
ax.YAxis.TickLabels=num2str(round(ax.YAxis.TickValues(:)));

% Sätt axeletiketter
ylabel('N');
xlabel('E');

%Skillnaden mellan de förberäknade koordinaterna och de
inmätta i form av
%en hypotenusa (Pythagoras sats)
hyp=sqrt(((B(:,1)-A(:,1)).^2)+((B(:,2)-A(:,2)).^2))

%Statistiska mått
Mean=mean(hyp) %Medelvärde
Median=median(hyp) %Median
Min=min(hyp) %Minimumvärde
Max=max(hyp) %Maximumvärde
Standardavvikelse=std(hyp) %Standardavvikelse

```

Bilaga H

```
%Triangel Geofonavstånd
clear all
X_start=0; %startkoordinat, x
Y_start=0; %startkoordinat, y
v=0; %rotation av triangeln i grader
Center=[X_start Y_start]; %Mittpunkten

%Allt är liksidiga trianglar, därför har alla samma vinkel
(60 grader)
%Sidorna på trianglarna namnges med bokstäver, där a
representerar den
%minsta triangeln och d den största
a=5; %Detta värde väljs utifrån hur grunt man vill nå med
vågorna
b=2*a;
c=2*b;
d=2*c;

%Hörnpunkter för den minsta triangeln a
P_1=[X_start+cosd(-150+v).*(a./sqrt(3)) Y_start+sind(-
150+v).*(a./sqrt(3))];
P_2=[P_1(:,1)+a.*cosd(60+v) P_1(:,2)+a.*sind(60+v)];
P_3=[P_1(:,1)+a.*cosd(v) P_1(:,2)+a.*sind(v)];

%Hörnpunkter för triangel b
P_4=[P_1(:,1)+a.*cosd(-60+v) P_1(:,2)+a.*sind(-60+v)];
P_5=[P_1(:,1)+a.*cosd(120+v) P_1(:,2)+a.*sind(120+v)];
P_6=[P_4(:,1)+b.*cosd(60+v) P_4(:,2)+b.*sind(60+v)];

%Hörnpunkter för triangel c
P_7=[P_4(:,1)+b.*cosd(180+v) P_4(:,2)+b.*sind(180+v)];
P_8=[P_7(:,1)+c.*cosd(60+v) P_7(:,2)+c.*sind(60+v)];
P_9=[P_7(:,1)+c.*cosd(v) P_7(:,2)+c.*sind(v)];

%Hörnpunkter för den största triangeln d
P_10=[P_7(:,1)+c.*cosd(-60+v) P_7(:,2)+c.*sind(-60+v)];
P_11=[P_7(:,1)+c.*cosd(120+v) P_7(:,2)+c.*sind(120+v)];
P_12=[P_10(:,1)+d.*cosd(60+v) P_10(:,2)+d.*sind(60+v)];

%Tillägg av mätpunkter på mitten av sidorna av den minsta
triangeln
```

```

n_a=1; %antal geofoner per varje sida mellan triangelns
ändpunkter

n_a_tot=3+3*n_a; %totalt antal geofoner i triangel a
n_b_tot=3;
n_c_tot=3;
n_d_tot=3;
n_tot=n_a_tot+n_b_tot+n_c_tot+n_d_tot+1 %för att se till att
totalantalet inte överstiger det
%antal geofoner som man faktiskt har tillgång till (inkl en
i mitten)

d_a=a./(n_a+1); %avstånd mellan geofonerna längs triangeln
sida i triangel a

%Här skapas i praktiken en ännu mindre triangel än triangel
a.
%Koordinater för geofonerna i triangel a
P_a_1=[P_1(:,1)+d_a.*cosd(60+v) P_1(:,2)+d_a.*sind(60+v)];
P_a_2=[P_3(:,1)+d_a.*cosd(120+v) P_3(:,2)+d_a.*sind(120+v)];
P_a_3=[P_1(:,1)+d_a.*cosd(v) P_1(:,2)+d_a.*sind(v)];

X_a=[P_1(:,1) P_a_1(:,1) P_2(:,1) P_a_2(:,1) P_3(:,1)
P_a_3(:,1)];
Y_a=[P_1(:,2) P_a_1(:,2) P_2(:,2) P_a_2(:,2) P_3(:,2)
P_a_3(:,2)];

%Koordinater för geofonerna i triangel b
X_b=[P_5(:,1) P_6(:,1) P_4(:,1)];
Y_b=[P_5(:,2) P_6(:,2) P_4(:,2)];

%Koordinater för geofonerna i triangel c
X_c=[P_7(:,1) P_8(:,1) P_9(:,1)];
Y_c=[P_7(:,2) P_8(:,2) P_9(:,2)];

%Koordinater för geofonerna i triangel d
X_d=[P_11(:,1) P_12(:,1) P_10(:,1)];
Y_d=[P_11(:,2) P_12(:,2) P_10(:,2)];

%Beräkning av geofonavstånd från hörnpunkter i trianglar
till mittgeofonen
G=[P_a_3-Center
P_2-Center
P_4-Center

```

```
P_8-Center  
P_10-Center]
```

```
Geofonavstand=abs(G(:,2))
```

Bilaga I

```
%Triangel Grevie, koordinater för geofonplacering
clear all
X_start=387920.0; %startkoordinat, x
Y_start=6165243.1; %startkoordinat, y
v=0; %rotation av triangeln i grader
Center=[X_start Y_start]; %Mittpunkten

%Allt är liksidiga trianglar, därför har alla samma vinkel
(60 grader)
%Sidorna på trianglarna namnges med bokstäver, där a
representerar den
%minsta triangeln och d den största
a=5; %Detta värde väljs utifrån hur grunt man vill nå med
vågorna
b=2*a;
c=2*b;
d=2*c;

%Hörnpunkter för den minsta triangeln a
P_1=[X_start+cosd(-150+v).*(a./sqrt(3)) Y_start+sind(-
150+v).*(a./sqrt(3))];
P_2=[P_1(:,1)+a.*cosd(60+v) P_1(:,2)+a.*sind(60+v)];
P_3=[P_1(:,1)+a.*cosd(v) P_1(:,2)+a.*sind(v)];

%Till att skapa figur
T_a=[P_1
      P_2
      P_3
      P_1];

%Hörnpunkter för triangel b
P_4=[P_1(:,1)+a.*cosd(-60+v) P_1(:,2)+a.*sind(-60+v)];
P_5=[P_1(:,1)+a.*cosd(120+v) P_1(:,2)+a.*sind(120+v)];
P_6=[P_4(:,1)+b.*cosd(60+v) P_4(:,2)+b.*sind(60+v)];

%Till att skapa figur
T_b=[P_4
      P_5
      P_6
      P_4];
```

```

%Hörnpunkter för triangel c
P_7=[P_4(:,1)+b.*cosd(180+v) P_4(:,2)+b.*sind(180+v)];
P_8=[P_7(:,1)+c.*cosd(60+v) P_7(:,2)+c.*sind(60+v)];
P_9=[P_7(:,1)+c.*cosd(v) P_7(:,2)+c.*sind(v)];

%Till att skapa figur
T_c=[P_7
      P_8
      P_9
      P_7];

%Hörnpunkter för den största triangeln d
P_10=[P_7(:,1)+c.*cosd(-60+v) P_7(:,2)+c.*sind(-60+v)];
P_11=[P_7(:,1)+c.*cosd(120+v) P_7(:,2)+c.*sind(120+v)];
P_12=[P_10(:,1)+d.*cosd(60+v) P_10(:,2)+d.*sind(60+v)];

%Till att skapa figur
T_d=[P_10
      P_11
      P_12
      P_10];

%Figur över de inskrivna trianglarna
figure(1)
plot(T_a(:,1),T_a(:,2))
hold on
plot(T_b(:,1),T_b(:,2))
hold on
plot(T_c(:,1),T_c(:,2))
hold on
plot(T_d(:,1),T_d(:,2))
plot(Center(:,1), Center(:,2), 'x')
hold on
grid on
xlim([P_1(:,1)-3.*d./4 P_1(:,1)+3.*d./4])
ylim([P_1(:,2)-3.*d./4 P_1(:,2)+3.*d./4])
axis equal
legend('Triangel a', 'Triangel b', 'Triangel c', 'Triangel
d', 'Center')
title('Trianglar i Grevie')

ax=gca(); % Hämta axlarnas egenskaper och lagra i 'ax'

% Axelmarkeringarna finns i ax._Axis.TickValues(:)

```

```

% Gör axelmarkeringarna till heltal round(),
% sedan till textsträngar num2str()
ax.XAxis.TickLabels=num2str(round(ax.XAxis.TickValues(:)));
ax.YAxis.TickLabels=num2str(round(ax.YAxis.TickValues(:)));

% Sätt axeletiketter
ylabel('N');
xlabel('E');

%Tillägg av mätpunkter på mitten av sidorna av den minsta
triangeln
n_a=1; %antal geofoner per varje sida mellan triangelns
ändpunkter

n_a_tot=3+3*n_a; %totalt antal geofoner i triangel a
n_b_tot=3;
n_c_tot=3;
n_d_tot=3;
n_tot=n_a_tot+n_b_tot+n_c_tot+n_d_tot+1 %för att se till att
totalantalet inte överstiger det
%antal geofoner som man faktiskt har tillgång till (inkl en
i mitten)

d_a=a./(n_a+1); %avstånd mellan geofonerna längs triangelns
sida i triangel a

%Här skapas i praktiken en ännu mindre triangel än triangel
a.
%Koordinater för geofonerna i triangel a
P_a_1=[P_1(:,1)+d_a.*cosd(60+v) P_1(:,2)+d_a.*sind(60+v)];
P_a_2=[P_3(:,1)+d_a.*cosd(120+v) P_3(:,2)+d_a.*sind(120+v)];
P_a_3=[P_1(:,1)+d_a.*cosd(v) P_1(:,2)+d_a.*sind(v)];

X_a=[P_1(:,1) P_a_1(:,1) P_2(:,1) P_a_2(:,1) P_3(:,1)
P_a_3(:,1)];
Y_a=[P_1(:,2) P_a_1(:,2) P_2(:,2) P_a_2(:,2) P_3(:,2)
P_a_3(:,2)];

%Koordinater för geofonerna i triangel b
X_b=[P_5(:,1) P_6(:,1) P_4(:,1)];
Y_b=[P_5(:,2) P_6(:,2) P_4(:,2)];

%Koordinater för geofonerna i triangel c
X_c=[P_7(:,1) P_8(:,1) P_9(:,1)];

```



```

Y_c=[P_7(:,2) P_8(:,2) P_9(:,2)];

%Koordinater för geofonerna i triangel d
X_d=[P_11(:,1) P_12(:,1) P_10(:,1)];
Y_d=[P_11(:,2) P_12(:,2) P_10(:,2)];

%Figur över geofonernas koordinater i trianglarna
figure(2)
plot(X_a, Y_a, '*')
hold on
plot(X_b, Y_b, '+')
hold on
plot(X_c, Y_c, '.')
hold on
plot(X_d, Y_d, 's')
hold on
plot(Center(:,1), Center(:,2), 'x')
hold on
grid on
xlim([P_1(:,1)-3.*d./4 P_1(:,1)+3.*d./4])
ylim([P_1(:,2)-3.*d./4 P_1(:,2)+3.*d./4])
axis equal
legend('Triangel a', 'Triangel b', 'Triangel c', 'Triangel
d', 'Center')
title('Koordinater för geofoner i trianglar')

ax=gca(); % Hämta axlarnas egenskaper och lagra i 'ax'

% Axelmarkeringarna finns i ax._Axis.TickValues(:)
% Gör axelmarkeringarna till heltal round(),
% sedan till textsträngar num2str()
ax.XAxis.TickLabels=num2str(round(ax.XAxis.TickValues(:)));
ax.YAxis.TickLabels=num2str(round(ax.YAxis.TickValues(:)));

% Sätt axeletiketter
ylabel('N');
xlabel('E');

%Tabell över alla koordinater
X_a_T=X_a.';
X_b_T=X_b.';
X_c_T=X_c.';
X_d_T=X_d.';
X_koordinater=[ X_start

```

```

X_a_T
X_b_T
X_c_T
X_d_T];

Y_a_T=Y_a.';
Y_b_T=Y_b.';
Y_c_T=Y_c.';
Y_d_T=Y_d.';
Y_koordinater=[ Y_start
    Y_a_T
    Y_b_T
    Y_c_T
    Y_d_T];

Table=[X_koordinater Y_koordinater]; %Tabell över
koordinater
T=array2table(Table, 'VariableNames', {'X', 'Y'})

s=[X_koordinater Y_koordinater]'; %Skapar koordinater i
lämpligt format
fprintf("%f;%f\n",s)

```

Bilaga J

```
%Triangel Grevie, jämförelse mellan förberäknade och inmätta koordinater
```

```
%Förberäknade koordinater
```

```
A=[387920.000    6165243.100  
387917.500    6165241.657  
387918.750    6165243.822  
387920.000    6165245.987  
387921.250    6165243.822  
387922.500    6165241.657  
387920.000    6165241.657  
387915.000    6165245.987  
387925.000    6165245.987  
387920.000    6165237.326  
387910.000    6165237.326  
387920.000    6165254.647  
387930.000    6165237.326  
387900.000    6165254.647  
387940.000    6165254.647  
387920.000    6165220.006];
```

```
%Inmätta koordinater
```

```
B=[387920.028    6165243.199  
387917.613    6165241.758  
387918.811    6165243.822  
387920.019    6165245.996  
387921.256    6165243.855  
387922.550    6165241.720  
387919.904    6165241.748  
387915.120    6165245.969  
387924.927    6165246.172  
387919.912    6165237.380  
387910.037    6165237.388  
387919.903    6165254.724  
387930.041    6165237.519  
387899.948    6165254.585  
387939.882    6165254.784  
387920.079    6165220.160];
```

```
plot(A(:,1), A(:,2), 's')  
hold on
```

```

plot(B(:,1), B(:,2), 'd')
grid on
axis equal
legend('Förberäknade koordinater', 'Inmätta koordinater')
title('Förberäknade och inmätta koordinater, triangel i Grevie')

ax=gca();      % Hämta axlarnas egenskaper och lagra i 'ax'

% Axelmarkeringarna finns i ax._Axis.TickValues(:)
% Gör axelmarkeringarna till heltal round(),
% sedan till textsträngar num2str()
ax.XAxis.TickLabels=num2str(round(ax.XAxis.TickValues(:)));
ax.YAxis.TickLabels=num2str(round(ax.YAxis.TickValues(:)));

% Sätt axeletiketter
ylabel('N');
xlabel('E');

%Skillnaden mellan de förberäknade koordinaterna och de
uppmätta i form av
%en hypotenus (Pythagoras sats)
hyp=sqrt(((B(:,1)-A(:,1)).^2)+((B(:,2)-A(:,2)).^2))

%Statistiska mått
Mean=mean(hyp) %Medelvärde
Median=median(hyp) %Median
Min=min(hyp) %Minimumvärde
Max=max(hyp) %Maximumvärde
Standardavvikelse=std(hyp) %Standardavvikelse

```

Bilaga K

```
%Triangel Tornhill, hypotetiska koordinater för
geofonplacering
clear all
X_start=386672.717; %startkoordinat, x
Y_start=6177911.044; %startkoordinat, y
v=11.4; %rotation av triangeln i grader
%Beräknas för hand utifrån valfria koordinater jämfört med
hypotetiska, för
%att komma fram till vilken vinkel som skiljer punkterna åt
i placering
Center=[X_start Y_start]; %Mittpunkten

%Allt är liksidiga trianglar, därför har alla samma vinkel
(60 grader)
%Sidorna på trianglarna namnges med bokstäver, där a
representerar den
%minsta triangeln och d den största
a=5; %Detta värde väljs utifrån hur grunt man vill nå med
vågorna
b=2*a;
c=2*b;
d=2*c;

%Hörnpunkter för den minsta triangeln a
P_1=[X_start+cosd(-150+v).*(a./sqrt(3)) Y_start+sind(-
150+v).*(a./sqrt(3))];
P_2=[P_1(:,1)+a.*cosd(60+v) P_1(:,2)+a.*sind(60+v)];
P_3=[P_1(:,1)+a.*cosd(v) P_1(:,2)+a.*sind(v)];

%Till att skapa figur
T_a=[P_1
      P_2
      P_3
      P_1];

%Hörnpunkter för triangel b
P_4=[P_1(:,1)+a.*cosd(-60+v) P_1(:,2)+a.*sind(-60+v)];
P_5=[P_1(:,1)+a.*cosd(120+v) P_1(:,2)+a.*sind(120+v)];
P_6=[P_4(:,1)+b.*cosd(60+v) P_4(:,2)+b.*sind(60+v)];

%Till att skapa figur
```

```

T_b=[P_4
      P_5
      P_6
      P_4];

%Hörnpunkter för triangel c
P_7=[P_4(:,1)+b.*cosd(180+v) P_4(:,2)+b.*sind(180+v)];
P_8=[P_7(:,1)+c.*cosd(60+v) P_7(:,2)+c.*sind(60+v)];
P_9=[P_7(:,1)+c.*cosd(v) P_7(:,2)+c.*sind(v)];

%Till att skapa figur
T_c=[P_7
      P_8
      P_9
      P_7];

%Hörnpunkter för den största triangeln d
P_10=[P_7(:,1)+c.*cosd(-60+v) P_7(:,2)+c.*sind(-60+v)];
P_11=[P_7(:,1)+c.*cosd(120+v) P_7(:,2)+c.*sind(120+v)];
P_12=[P_10(:,1)+d.*cosd(60+v) P_10(:,2)+d.*sind(60+v)];

%Till att skapa figur
T_d=[P_10
      P_11
      P_12
      P_10];

%Figur över de inskrivna trianglarna
figure(1)
plot(T_a(:,1),T_a(:,2))
hold on
plot(T_b(:,1),T_b(:,2))
hold on
plot(T_c(:,1),T_c(:,2))
hold on
plot(T_d(:,1),T_d(:,2))
plot(Center(:,1), Center(:,2), 'x')
hold on
grid on
xlim([P_1(:,1)-3.*d./4 P_1(:,1)+3.*d./4])
ylim([P_1(:,2)-3.*d./4 P_1(:,2)+3.*d./4])
axis equal
legend('Triangel a', 'Triangel b', 'Triangel c', 'Triangel
d', 'Center')

```

```

title('Trianglar i Grevie')
ax=gca(); % Hämta axlarnas egenskaper och lagra i 'ax'

% Axelmarkeringarna finns i ax._Axis.TickValues(:)
% Gör axelmarkeringarna till heltal round(),
% sedan till textsträngar num2str()
ax.XAxis.TickLabels=num2str(round(ax.XAxis.TickValues(:)));
ax.YAxis.TickLabels=num2str(round(ax.YAxis.TickValues(:)));

% Sätt axeletiketter
ylabel('N');
xlabel('E');

%Tilllägg av mätpunkter på mitten av sidorna av den minsta
triangeln
n_a=1; %antal geofoner per varje sida mellan triangelns
ändpunkter

n_a_tot=3+3*n_a; %totalt antal geofoner i triangel a
n_b_tot=3;
n_c_tot=3;
n_d_tot=3;
n_tot=n_a_tot+n_b_tot+n_c_tot+n_d_tot+1 %för att se till att
totalantalet inte överstiger det
%antal geofoner som man faktiskt har tillgång till (inkl en
i mitten)

d_a=a./(n_a+1); %avstånd mellan geofonerna längs triangelns
sida i triangel a

%Här skapas i praktiken en ännu mindre triangel än triangel
a.
%Koordinater för geofonerna i triangel a
P_a_1=[P_1(:,1)+d_a.*cosd(60+v) P_1(:,2)+d_a.*sind(60+v)];
P_a_2=[P_3(:,1)+d_a.*cosd(120+v) P_3(:,2)+d_a.*sind(120+v)];
P_a_3=[P_1(:,1)+d_a.*cosd(v) P_1(:,2)+d_a.*sind(v)];

X_a=[P_1(:,1) P_a_1(:,1) P_2(:,1) P_a_2(:,1) P_3(:,1)
P_a_3(:,1)];
Y_a=[P_1(:,2) P_a_1(:,2) P_2(:,2) P_a_2(:,2) P_3(:,2)
P_a_3(:,2)];

%Koordinater för geofonerna i triangel b
X_b=[P_5(:,1) P_6(:,1) P_4(:,1)];

```

```

Y_b=[P_5(:,2) P_6(:,2) P_4(:,2)];

%Koordinater för geofonerna i triangel c
X_c=[P_7(:,1) P_8(:,1) P_9(:,1)];
Y_c=[P_7(:,2) P_8(:,2) P_9(:,2)];

%Koordinater för geofonerna i triangel d
X_d=[P_11(:,1) P_12(:,1) P_10(:,1)];
Y_d=[P_11(:,2) P_12(:,2) P_10(:,2)];

%Figur över geofonernas koordinater i trianglarna
figure(2)
plot(X_a, Y_a, '*')
hold on
plot(X_b, Y_b, '+')
hold on
plot(X_c, Y_c, '.')
hold on
plot(X_d, Y_d, 's')
hold on
plot(Center(:,1), Center(:,2), 'x')
hold on
grid on
xlim([P_1(:,1)-3.*d./4 P_1(:,1)+3.*d./4])
ylim([P_1(:,2)-3.*d./4 P_1(:,2)+3.*d./4])
axis equal
legend('Triangel a', 'Triangel b', 'Triangel c', 'Triangel
d', 'Center')
title('Koordinater för geofoner i trianglar')

ax=gca(); % Hämta axlarnas egenskaper och lagra i 'ax'

% Axelmarkeringarna finns i ax._Axis.TickValues(:)
% Gör axelmarkeringarna till heltal round(),
% sedan till textsträngar num2str()
ax.XAxis.TickLabels=num2str(round(ax.XAxis.TickValues(:)));
ax.YAxis.TickLabels=num2str(round(ax.YAxis.TickValues(:)));

% Sätt axeletiketter
ylabel('N');
xlabel('E');

%Tabell över alla koordinater
X_a_T=X_a.';

```



```

X_b_T=X_b.';
X_c_T=X_c.';
X_d_T=X_d.';
X_koordinater=[ X_start
                 X_a_T
                 X_b_T
                 X_c_T
                 X_d_T];

Y_a_T=Y_a.';
Y_b_T=Y_b.';
Y_c_T=Y_c.';
Y_d_T=Y_d.';
Y_koordinater=[ Y_start
                 Y_a_T
                 Y_b_T
                 Y_c_T
                 Y_d_T];

Table=[X_koordinater Y_koordinater]; %Tabell över
koordinater
T=array2table(Table, 'VariableNames', {'X', 'Y'})

s=[X_koordinater Y_koordinater]'; %Skapar koordinater i
lämpligt format
fprintf("%f;%f\n",s)

```

Bilaga L

```
%Triangel Tornhill, beräkning av avstånd för geofonplacering
längs
%triangeluppställningens mittransekt
clear all

%Syftet är att lätt kunna generera avstånden mellan
geofonerna från den
%största triangelns spets längs en mittransekt samt att
testa om dessa
%punkter överlappar geofonplaceringarna (det vill säga att
beräkningarna
%stämmer överens).

%Allt är liksidiga trianglar, därför har alla samma vinkel
(60 grader)
%Sidorna på trianglarna namnges med bokstäver, där a
representerar den
%minsta triangeln och d den största
a=5; %Detta värde väljs utifrån hur grunt man vill nå med
vågorna
b=2*a;
c=2*b;
d=2*c;

X_start=0; %startkoordinat, x
Y_start=((2/sqrt(3))*d)/2; %startkoordinat, y
v=0; %rotation av triangeln i grader
Center=[X_start Y_start]; %Mittpunkten

%Hörnpunkter för den minsta triangeln a
P_1=[X_start+cosd(-150+v).*(a./sqrt(3)) Y_start+sind(-
150+v).*(a./sqrt(3))];
P_2=[P_1(:,1)+a.*cosd(60+v) P_1(:,2)+a.*sind(60+v)];
P_3=[P_1(:,1)+a.*cosd(v) P_1(:,2)+a.*sind(v)];

%Till att skapa figur
T_a=[P_1
      P_2
      P_3
      P_1];
```

```

%Hörnpunkter för triangel b
P_4=[P_1(:,1)+a.*cosd(-60+v) P_1(:,2)+a.*sind(-60+v)];
P_5=[P_1(:,1)+a.*cosd(120+v) P_1(:,2)+a.*sind(120+v)];
P_6=[P_4(:,1)+b.*cosd(60+v) P_4(:,2)+b.*sind(60+v)];

%Till att skapa figur
T_b=[P_4
      P_5
      P_6
      P_4];

%Hörnpunkter för triangel c
P_7=[P_4(:,1)+b.*cosd(180+v) P_4(:,2)+b.*sind(180+v)];
P_8=[P_7(:,1)+c.*cosd(60+v) P_7(:,2)+c.*sind(60+v)];
P_9=[P_7(:,1)+c.*cosd(v) P_7(:,2)+c.*sind(v)];

%Till att skapa figur
T_c=[P_7
      P_8
      P_9
      P_7];

%Hörnpunkter för den största triangeln d
P_10=[P_7(:,1)+c.*cosd(-60+v) P_7(:,2)+c.*sind(-60+v)];
P_11=[P_7(:,1)+c.*cosd(120+v) P_7(:,2)+c.*sind(120+v)];
P_12=[P_10(:,1)+d.*cosd(60+v) P_10(:,2)+d.*sind(60+v)];

%Till att skapa figur
T_d=[P_10
      P_11
      P_12
      P_10];

%Tillägg av mätpunkter på mitten av sidorna av den minsta
triangeln
n_a=1; %antal geofoner per varje sida mellan triangelns
ändpunkter

n_a_tot=3+3*n_a; %totalt antal geofoner i triangel a
n_b_tot=3;
n_c_tot=3;
n_d_tot=3;
n_tot=n_a_tot+n_b_tot+n_c_tot+n_d_tot+1 %för att se till att
totalantalet inte överstiger det

```

```
%antal geofoner som man faktiskt har tillgång till (inkl en i mitten)
```

```
d_a=a./(n_a+1); %avstånd mellan geofonerna längs triangelns sida i triangel a
```

```
%Här skapas i praktiken en ännu mindre triangel än triangel a.
```

```
%Koordinater för geofonerna i triangel a
```

```
P_a_1=[P_1(:,1)+d_a.*cosd(60+v) P_1(:,2)+d_a.*sind(60+v)];  
P_a_2=[P_3(:,1)+d_a.*cosd(120+v) P_3(:,2)+d_a.*sind(120+v)];  
P_a_3=[P_1(:,1)+d_a.*cosd(v) P_1(:,2)+d_a.*sind(v)];
```

```
X_a=[P_1(:,1) P_a_1(:,1) P_2(:,1) P_a_2(:,1) P_3(:,1)  
P_a_3(:,1)];  
Y_a=[P_1(:,2) P_a_1(:,2) P_2(:,2) P_a_2(:,2) P_3(:,2)  
P_a_3(:,2)];
```

```
%Koordinater för geofonerna i triangel b
```

```
X_b=[P_5(:,1) P_6(:,1) P_4(:,1)];  
Y_b=[P_5(:,2) P_6(:,2) P_4(:,2)];
```

```
%Koordinater för geofonerna i triangel c
```

```
X_c=[P_7(:,1) P_8(:,1) P_9(:,1)];  
Y_c=[P_7(:,2) P_8(:,2) P_9(:,2)];
```

```
%Koordinater för geofonerna i triangel d
```

```
X_d=[P_11(:,1) P_12(:,1) P_10(:,1)];  
Y_d=[P_11(:,2) P_12(:,2) P_10(:,2)];
```

```
%Geofonernas placering längs mittransekten
```

```
T_mitt=[P_10  
P_4  
P_a_3  
Center  
P_2  
P_8]
```

```
%Skapar figur för att se att T_mitt överlappar geofonernas koordinater
```

```
figure(1)  
plot(X_a, Y_a, '*')  
hold on
```

```

plot(X_b, Y_b, '+')
hold on
plot(X_c, Y_c, '.')
hold on
plot(X_d, Y_d, 's')
hold on
plot(Center(:,1), Center(:,2), 'x')
plot(T_mitt(:,1), T_mitt(:,2), 'd')
plot(T_mitt(:,1), T_mitt(:,2))
hold on
grid on
xlim([P_1(:,1)-3.*d./4 P_1(:,1)+3.*d./4])
ylim([P_1(:,2)-3.*d./4 P_1(:,2)+3.*d./4])
axis equal
legend('Triangel a', 'Triangel b', 'Triangel c', 'Triangel
d', 'Center', 'Mittransekt', 'Mittransekt, linje')
title('Koordinater för geofoner i trianglar')

ax=gca();      % Hämta axlarnas egenskaper och lagra i 'ax'

% Axelmarkeringarna finns i ax._Axis.TickValues(:)
% Gör axelmarkeringarna till heltal round(),
% sedan till textsträngar num2str()
ax.XAxis.TickLabels=num2str(round(ax.XAxis.TickValues(:)));
ax.YAxis.TickLabels=num2str(round(ax.YAxis.TickValues(:)));

% Sätt axeletiketter
ylabel('N');
xlabel('E');

```

Bilaga M

```
%Triangel Tornhill, jämförelse av hypotetiska och inmätta koordinater
```

```
%Hypotetiska koordinater
```

```
A=[386672.717000 6177911.044000  
386670.551616 6177909.134957  
386671.349014 6177911.504378  
386672.146412 6177913.873799  
386673.799692 6177911.998521  
386675.452972 6177910.123244  
386673.002294 6177909.629100  
386667.245057 6177912.885512  
386677.047768 6177914.862086  
386673.858175 6177905.384402  
386664.055463 6177903.407828  
386670.434650 6177922.363197  
386683.660887 6177907.360975  
386650.829226 6177918.410050  
386690.040073 6177926.316343  
386677.281701 6177888.405607];
```

```
%Inmätta koordinater
```

```
B=[386672.717 6177911.044  
386670.677 6177909.475  
386671.359 6177911.467  
386672.148 6177913.867  
386673.898 6177912.004  
386675.558 6177909.874  
386673.155 6177909.666  
386667.449 6177913.326  
386677.033 6177914.806  
386674.092 6177905.426  
386664.699 6177903.704  
386670.320 6177922.365  
386682.918 6177907.466  
386650.903 6177917.864  
386689.600 6177927.784  
386677.714 6177888.496];
```

```
plot(A(:,1), A(:,2), 's')  
hold on
```

```

plot(B(:,1), B(:,2), 'd')
grid on
axis equal
legend('Hypotetiska koordinater', 'Inmätta koordinater')
title('Hypotetiska och inmätta koordinater, triangel i
Tornhilll')

ax=gca();      % Hämta axlarnas egenskaper och lagra i 'ax'

% Axelmarkeringarna finns i ax._Axis.TickValues(:)
% Gör axelmarkeringarna till heltal round(),
% sedan till textsträngar num2str()
ax.XAxis.TickLabels=num2str(round(ax.XAxis.TickValues(:)));
ax.YAxis.TickLabels=num2str(round(ax.YAxis.TickValues(:)));

% Sätt axeletiketter
ylabel('N');
xlabel('E');

%Skillnaden mellan de förberäknade koordinaterna och de
inmätta i form av
%en hypotenusa (Pythagoras sats)
hyp=sqrt(((B(:,1)-A(:,1)).^2)+((B(:,2)-A(:,2)).^2))

%Statistiska mått
Mean=mean(hyp) %Medelvärde
Median=median(hyp) %Median
Min=min(hyp) %Minimumvärde
Max=max(hyp) %Maximumvärde
Standardavvikelse=std(hyp) %Standardavvikelse

```