

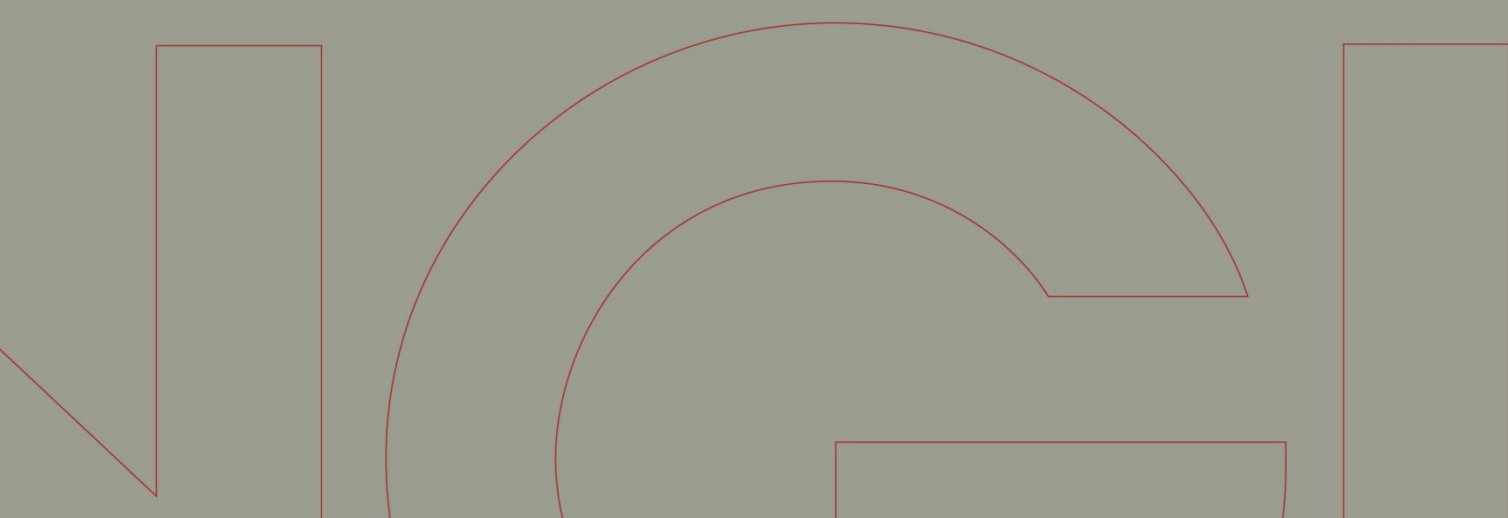


# Rapport / Report

## Kystverket sørøst - Undersøkelser i farlei til Kragerø

### Geofysisk og miljøteknisk undersøkelse

20091075-00-2-R  
10. juni 2009



Ved elektronisk overføring kan ikke konfidensialiteten eller autentisiteten av dette dokumentet garanteres. Adressaten bør vurdere denne risikoen og ta fullt ansvar for bruk av dette dokumentet.

Dokumentet skal ikke benyttes i utdrag eller til andre formål enn det dokumentet omhandler. Dokumentet må ikke reproduseres eller leveres til tredjemand uten eiers samtykke. Dokumentet må ikke endres uten samtykke fra NGL.

Neither the confidentiality nor the integrity of this document can be guaranteed following electronic transmission. The addressee should consider this risk and take full responsibility for use of this document.

This document shall not be used in parts, or for other purposes than the document was prepared for. The document shall not be copied, in parts or in whole, or be given to a third party without the owner's consent. No changes to the document shall be made without consent from NGL.



## Prosjekt

Prosjekt: Kystverket sørøst - Undersøkelser i farlei til Kragerø  
Dokumentnr.: 20091075-00-2-R  
Dokumenttittel: Geofysisk og miljøteknisk undersøkelse  
Dato: 10. juni 2009

Hovedkontor:  
Pb. 3930 Ullevål Stadion  
0806 Oslo

Avd Trondheim:  
Pb. 1230 Pircenteret  
7462 Trondheim

T 22 02 30 00  
F 22 23 04 48

Kontonr 5096 05 01281  
Org. nr 958 254 318 MVA

[ngi@ngi.no](mailto:ngi@ngi.no)  
[www.ngi.no](http://www.ngi.no)

## Oppdragsgiver

Oppdragsgiver: Kystverket Sørøst  
Oppdragsgivers  
kontaktperson: Frode Seiersnes  
Kontraktreferanse: Rammeavtale

## For NGI

Prosjektleder: Paul Cappelen  
Rapport utarbeidet av: Silje Nag

## Sammendrag

Kystverket Sørøst planlegger en alternativ farlei til Kragerø havn. Dette gjøres for å øke sikkerheten og for at større båter kan ferdes i leien. I leien er det tre grunnere områder nær Knubbehausen fyr og et grunnere område nærmere Kragerø sentrum (ved Øya). I disse områdene må det fjernes masser.

NGI og underleverandør GeoMap AS har utført en geofysisk og miljøteknisk undersøkelse av området. I undersøkelsen er det anvendt refraksjonsseismikk. Ved utdypning til kote – 15 (Knubbehausen fyr) og kote – 10 (ved Øya) kreves det sprengningsarbeid i de undersøkte områdene bortsett fra ved profil 5. Det er lite løsmasser over fjell i områdene som skal utdypes, og det vil derfor ikke være behov for miljøtekniske tiltak i forbindelse med utdypingene.

Den planlagte utdypingen vil medføre noe redusert strøm, spesielt ved Knubbehausen fyr.

BS EN ISO 9001  
Sertifisert av BSI  
Reg. No. FS 32989

# Innhold



Dokumentnr.: 20091075-00-2-R  
Dato: 2009-06-10  
Side: 4

<b>1</b>	<b>Innledning</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Områdebeskrivelse</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Undersøkelser</b>	<b>5</b>
	3.1 Geofysiske undersøkelser	5
	3.2 Miljøtekniske undersøkelser	5
<b>4</b>	<b>Resultater</b>	<b>6</b>
	4.1 Geofysisk undersøkelse – Massefordeling	6
	4.2 Miljøundersøkelse	7
<b>5</b>	<b>Vurdering</b>	<b>7</b>
	5.1 Geofysikk og miljø	7
	5.2 Vurdering av strøm	7

## Figurer:

- Figur 1 Oversiktskart  
Figur 2 Kart som viser grabbprøver

## Vedlegg:

- Vedlegg A Rapport fra GeoMap AS  
Vedlegg B Notat fra SINTEF – Vurdering av strømforhold

## Kontroll- og referanseside



## **1 Innledning**

Kystverket Sørøst planlegger en alternativ farlei til Kragerø havn. Dette gjøres for å øke sikkerheten og for at større båter kan ferdes i leien.

NGI og underleverandør GeoMap har utført en geofysisk og miljøteknisk undersøkelse. Hensikten med undersøkelsen er å undersøke mektighet og kvalitet på løsmasser over fjell i utdypingsområdet, som grunnlag for videre prosjektering. Løsmasser er forsøkt prøvetatt for kjemiske analyser, for å dokumentere massenes miljømessige kvalitet. Videre har NGIs underleverandør, SINTEF Marin miljøteknologi, vurdert effekten av utdypingen på strømningsmønsteret i området.

Oppdraget er utført innenfor rammeavtale mellom Kystverket og Dr. techn. Olav Olsen AS, der NGI er leverandør på geoteknikk og miljø.

## **2 Områdebeskrivelse**

Alternativ farlei til Kragerø havn er planlagt utdypet til kote – 15 m (LAT) ved Knubbehausen fyr og kote – 10 m (LAT) lenger inn ved Kragerø havn. I leien er det tre grunnere områder nær Knubbehausen fyr og et grunnere område nærmere Kragerø sentrum (ved Øya) der det må fjernes masser. Disse områdene ble undersøkt i forbindelse med feltarbeidet (figur 1).

## **3 Undersøkelser**

### **3.1 Geofysiske undersøkelser**

GeoMap AS har som underleverandør til NGI utført geofysiske undersøkelser. Hensikten med undersøkelsen var å kartlegge dybden til fjell, mektigheten og type løsmasser over fjell, og eventuell lagdeling av disse. Feltarbeidet ble utført i uke 12, 2009.

GeoMap har anvendt refraksjonsseismikk, der seismikk skytes fra en sjøbunns-kabel og registreres i hydrofoner. Ulike typer løsmasser / sedimenter og fjell har ulik seismisk hastighet. Dette gjør det mulig å bestemme sjøbunnens geologi.

Ved Kragerø er det foretatt fem seismiske profiler fordelt på de fire grunnere områdene langs den alternative farleien.

### **3.2 Miljøtekniske undersøkelser**

Den miljøtekniske undersøkelsen ble utført like etter de seismiske undersøkelsene. Det ble tatt grabbprøver i ti punkter fordelt over de fem profilene. Grabben var tom i samtlige prøvepunkter, noe som indikerer sjøbunn

bestående av fjell, stein eller harde løsmasser (morene). Koordinater og kommentarer i forbindelse med prøvetakingen er vist i tabell 1.

Tabell 1 Koordinater og kommentarer fra grabbprøvetakning

Profil og prøvenr.	Koordinater (Eur89, sone 32)		Prøvenavn	Beskrivelse
	N	E		
P1/134	6525546,157	524545,454	Profil 1-1	Tom grabb
P1/135	6525515,650	524512,434	Profil 1-2	Tom grabb
P2/83	6520007,408	527656,361	Profil 2-1	Tom grabb
P2/84	6520085,101	527640,408	Profil 2-2	Tom grabb
P3/79	6519511,366	527639,010	Profil 3-1	Tom grabb
P3/80	6519528,448	527696,611	Profil 3-2	Tom grabb
P4/81	6519541,199	527747,476	Profil 4-1	Tom grabb (litt tang)
P4/82	6519554,482	527802,396	Profil 4-2	Tom grabb (litt tang)
P5/77	6519226,752	527822,372	Profil 5-1	Tom grabb
P5/78	6519204,527	527751,329	Profil 5-2	Tom grabb

## 4 Resultater

### 4.1 Geofysisk undersøkelse – Massefordeling

Resultater fra den geofysiske undersøkelsen er vurdert og rapportert av GeoMap AS. Rapporten inkludert kart og seismiske profiler er gitt i sin helhet i vedlegg A. Alle henvisninger til dybder er knyttet til Statens sjøkart null (LAT).

Resultatene viser at sjøbunnen stort sett består av fjell. I enkelte områder er det påvist løsmasser med mektighet opp til fire meter. Ut i fra seismisk hastighet i løsmassene (2000 – 2500 m/s) er disse antatt å være morene. Resultatene er oppsummert i tabell 2.

Profil	Vanndybde (m)	Kommentar
P1	6 – 15	Det er påvist løsmasser med en mektighet på ca. 2 m i en dypål midt i profilet, ellers er det kun påvist fjell. Grunnere enn 10 m i begge ender av profilet, d.v.s. behov for utdyping.
P2	13 – 28	Det er påvist et lite parti med løsmasser, ellers er det kun påvist fjell. Grunnere enn 15 m i begge ender av profilet, d.v.s. behov for utdyping.
P3/P4	7 – 22	Det er påvist løsmasser med en mektighet på ca. 3 m i midtre del av P3, samt et lite parti løsmasser i midtre del av P4, ellers er det kun påvist fjell. Grunnere enn 15 m i vestre del P3 og i store deler av P4, d.v.s. behov for utdyping.
P5	16 – 25	Det er påvist løsmasser med mektighet inntil 4 m i vestre del av profilet, ellers er det kun påvist fjell. Dypere enn 15 m. dvs ingen behov for utdyping.

Ved utdyping til kote – 10 ved profil 1 må det sprenges opptil 4 m ned. Ved profil 2 og 3 / 4 må det sprenges henholdsvis 2 og 8 m ned. Ved profil 5 er det ikke nødvendig med utdyping.

#### 4.2 Miljøundersøkelse

Miljøprøvetakingen viste at det ikke var finkornige løsmasser på sjøbunnen i undersøkelsesområdet. Observasjoner fra miljøprøvetakingen samsvarer med den geofysiske undersøkelsen.

### 5 Vurdering

#### 5.1 Geofysikk og miljø

Ved utdyping til kote – 10 m ved Kragerø havn og utdyping til kote – 15 m ved Knubbehausen fyr, må det sprenges bort henholdsvis opp til 4 m og 8 m fjell i de undersøkte områdene. Det er lite løsmasser over fjell i begge områdene, og det vil ikke være behov for miljøtekniske tiltak i forbindelse med utdypingene.

#### 5.2 Vurdering av strøm

SINTEF har vurdert hvilke konsekvenser utdypingen av ny farlei til Kragerø vil forårsake på strømforholdene i området (vedlegg B). Den planlagte utdypingen ved Knubbehausen fyr (pos. 2 / profil 3 og 4) vil medføre at strømmen blir mer rettlinjet og avtar med opp mot 15 % lokalt ved utdypingspunktet. Ved de andre to utdypingene ved Knubbehausen fyr (pos. 1 og 3 / profil 2 og 5) er de forventede endringene i strømforholdene neglisjerbare. Utdypingen lenger inn ved Kragerø havn (pos 4 / profil 1) vil medføre en beregnet strømreduksjon lokalt på 5 %.



**KYSTVERKET SØRØST**

Farlei til Kragerø. Oversiktskart. Målestokk på figur

Rapport nr.  
20091075-00-2-R

Figur nr.  
1

Tegner  
SNa

Dato  
2009-06-10







**KYSTVERKET SØRØST**

Farlei til Kragerø. Miljøprøver

Rapport nr.  
20091075-00-2-R

Figur nr.  
2

Tegner  
SNa

Dato  
2009-06-10





Dokumentnr.: 20091075-00-2-R  
Dato: 2009-06-10  
Side: A1

Vedlegg A - Geofysiske  
undersøkelser —  
Rapport fra GeoMap AS

Stikkord:      Refraksjonsseismikk (sjø) , grabb prøvetaking		
<p>Oppdragsnr.:    <b>292102</b></p> <p>Rapportnr.:    <b>1</b></p> <p>Oppdrags- Giver:          <b>NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT</b></p> <p>Oppdrag/ Rapport:        <b><u>FARLED KRAGERØ</u></b></p> <p style="padding-left: 40px;"><b>Refraksjonsseismiske grunnundersøkelser og grabb prøvetaking</b></p> <p>Dato:            <b>31. mars 2009</b></p>		
<p>Rapport-utdrag:</p> <p>I forbindelse med Kystverkets planer om utvidelse av farleder på sørøstlandet, har Geomap a.s blitt engasjert av Norges Geotekniske Institutt (NGI) til å utføre refraksjonsseismiske grunnundersøkelser og foreta grabb prøvetaking. De seismiske undersøkelsene er tolket og rapportert av Geomap a.s, mens prøvetakingen er rapportert av NGI. Hensikten med de seismiske målingene er å kartlegge dybden til fjell og type løsmasse (sorterte masser/morene).</p> <p>Det er foretatt målinger på følgende steder :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Farled Kragerø</li> <li>• Farled Gåsøyrenna (Oslofjorden)</li> </ul> <p>Måleresultatene er presentert i separate rapporter for hvert alternativ.</p> <p style="text-align: center;"><b><u>Denne rapporten omhandler farled Kragerø.</u></b></p>		
Land/Fylke: Telemark	Kommune: Kragerø	Sted: Innseilingsleden til Kragerø



<b>INNHold :</b>	<b>SIDE</b>
RAPPORTUTDRAG	1
1. INNLEDNING	3
2. DATABEARBEIDELSE/TOLKNING	4
2.1 Generelt	4
2.2 Refraksjonsseismikk	4
3. RESULTATER	5
4. NØYAKTIGHET I DYBDEBEREGNINGENE	6
5. FELTARBEID	6
6. TEKNISK DOKUMENTASJON	7

**VEDLEGG:**

G1	Beskrivelse av refraksjonsseismiske målinger
G2	Feltprosedyre sjøseismikk
H1	HYDLOC – Metode for posisjonering av hydrofoner
V1	Koordinatliste for grabb prøvetaking
V2	Feltlogg oppsummering

**TEGNINGER:****FARLED GRENLAND:**

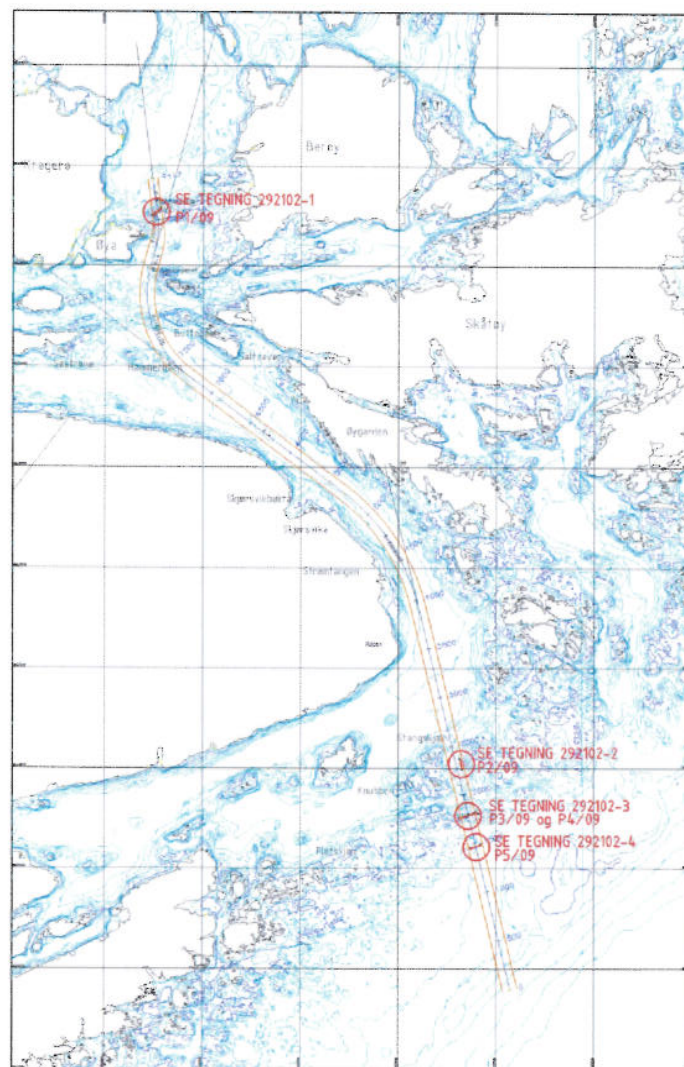
292102-A	Oversiktskart
292102-1	Plan og seismisk seksjon P1/09
292102-2	Plan og seismisk seksjon P2/09
292102-3	Plan og seismiske seksjoner P3/09 og P4/09
292102-4	Plan og seismisk seksjon P5/09



## 1. INNLEDNING

I forbindelse med Kystverkets planer om utvidelse av farled Kragerø, har Geomap a.s blitt engasjert av Norges Geotekniske Institutt (NGI) til å utføre refraksjonsseismiske grunnundersøkelser og foreta grabb prøvetaking. Det er foretatt undersøkelser på 4 aktuelle inngrepsområder. De seismiske undersøkelsene er tolket og rapportert av Geomap a.s, mens prøvetakingen er rapportert av NGI. Hensikten med de seismiske målingene er å kartlegge dybden til fjell og type løsmasse (sorterte masser/morene).

Undersøkelsesområdene er vist på kartutsnittet under, og på tegning 292102-A, samt i detalj på tegningene 292102-1 til -4.



*Farled Kragerø. Det er foretatt målinger på 4 lokaliteter.*

## 2. DATABEARBEIDELSE/TOLKNING

### 2.1 Generelt

De seismiske målingene er utført på steder angitt med koordinater oversendt fra Asplan Viak AS. Det er lagt et seismisk profil på 115m med senter ca. midt på oppgitt koordinatpunkt, og det er foretatt grabb prøvetaking. Plasseringen av grabb prøve lokasjonene er inntegnet på plankartet og på de seismiske seksjonene, og angitt med koordinater. En koordinatliste er også vedlagt (Vedlegg1).

### 2.2 Refraksjonsseismikk

Som plantegning er benyttet kartgrunnlag oversendt fra Asplan Viak AS. Det ble målt 5 profiler i sjøen. Det er målt to profiler på en lokalitet P3 og P4 og, et på hver av de andre. Profilene er målt med en 115m lang sjøbunnskabel med 5m hydrofon avstand. Måleresultatene er opptegnet som seismiske seksjoner på tegning 292102-1 til -4.

Følgende informasjon er gitt på seksjonene:

- **Bunnprofil** (referanse høyde sjøkartnull)
- **Tykkelse av løsmasselag**
- **Grenseflater mellom løsmasser** med forskjellig seismisk hastighet
- **Øvre del av berggrunnen** (overflateforvitring) der det finnes
- **Seismisk hastighet i berggrunnen.** Lavhastighetssoner, dvs. områder med seismisk hastighet mindre eller lik 4000m/s er uthevet.

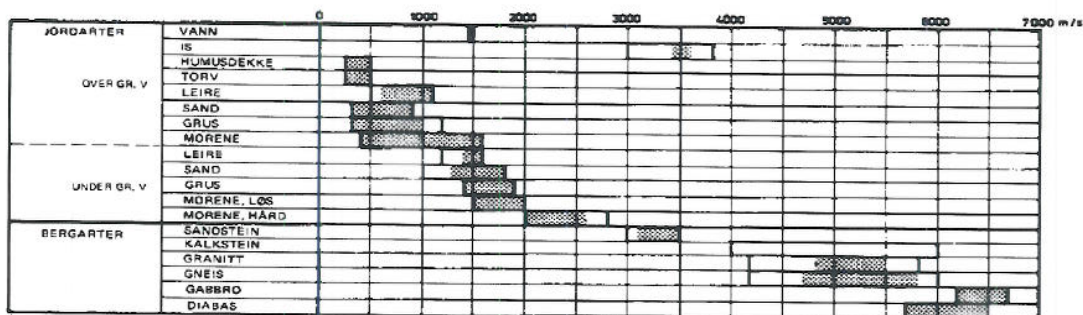
I tillegg er planlagt seilingsdyp på 10 og 15m angitt med stiplet strek på seksjonene.

#### *Seismiske hastigheter (generelt)*

Seismisk hastighet i løsmassene er angitt på seksjonene, og gjenspeiler vannmetningsgrad, masstype og pakningsgrad. Løsmasser med seismisk hastighet over ca. 1500m/s representerer vannmettede masser. Morene har vanligvis seismisk hastighet fra 1700-1800m/s og opp til ca. 2500m/s.

Seismiske hastigheter i løsmasser og fjell, som er representative for Skandinavia, er oppstilt nedenunder. Seismisk hastighet i berggrunnen (krystalline bergarter) lavere enn 4000m/s karakteriseres som lavhastighetssoner, og indikerer større oppknusningsgrad enn i bergarten for øvrig. Lavhastighetssoner opptrer der det er tektoniske og andre typer svakheter i berggrunnen.





*Seismiske hastigheter registrert i jord- og bergarter i Skandinavia*

I tillegg til at seismiske hastigheter i løsmasser og fjell er gitt i profilsesjonene, er også seismisk hastighet i berggrunnen angitt på plantegningen. På profilsesjonene er bergoverflaten angitt med strek for fjell signatur.

I svakhetssonene må det generelt forventes en viss overfordypning, på grunn av gradvis overgang fra løsmasse til fjell, og ved spesielt lave hastigheter kan det dreie seg om åpne kløftdannelser.

### 3. RESULTATER

Resultatene er som tidligere nevnt vist på oversiktskart tegning 292102-A og detaljert i plan og snitt på tegningene 292102-1 til -4. Det bemerkes generelt at det kan forekomme tynt løsmasseoverdekke i områder som er rapportert som blottet fjell. Dette kommenteres for hvert enkelt profil basert på resultater fra prøvetakingen.

#### Profil P1/09, tegning 292102-1

Vanndybdene varierer fra ca. 6m til ca. 15m langs profilet. Det er ca. 2m løsmasse i en dypål midt i profilet. I resten av profilet er det registrert blottet fjell. Grabb prøvetakingen viser tom prøve, som er i overensstemmelse med de seismiske tolkningene.

#### Profil P2/09, tegning 292102-2

Vanndybden langs profilet er fra ca. 13m til ca. 28m, og det er påvist et lite parti med antatt morene (1-2m mektighet). Det ble ikke funnet løsmasse ved grabb prøvetakingen.

#### Profil P3 og P4/09, tegning 292102-3

Vanndybden langs profilene varierer mellom ca. 7m og nesten 22m. I midtre del av P3 er det antatt fast morene (2500m/s) med mektighet inntil ca. 3m. Det er også en liten moreneforekomst morene (2300m/s) ca. midt i P4. Det ble ikke funnet løsmasse ved grabb prøvetakingen.

### Profil P5/09, tegning 292102-4

Vanndybdene er fra 16m til ca. 25m. Det er morene (2000m/s) med mektighet inntil 4m i starten av profilet, ellers er det blottet fjell. Prøvetakingen viser tom prøvetaker i begge prøvene, også den som er tatt i området med morene. Dette indikerer faste morenemasser.

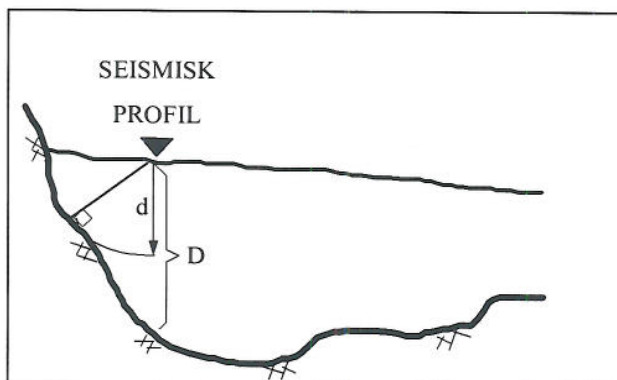
### 3. NØYAKTIGHET I DYBDEBEREGNINGENE (refraksjonsseismikk)

Ved bruk av 5m geofon-/hydrofonavstand er nøyaktigheten i beregnet dybde til fjell normalt angitt ved følgende erfaringstall:

- dyp mindre enn 10m, standardavvik +/-1m
- dyp større enn 10m, standardavvik +/- 10% av beregnet dyp

Ut fra datakvaliteten på de innsamlede data vil dette også være representative anslag for disse målingene.

Seismiske refraksjonsmålinger viser seismisk hastighet i det øvre parti av berggrunnen, og lavhastighetssonenes utbredelse mot dypet kan variere fra sted til sted. I mange tilfeller har erfaring fra tunneldrift vist at sonebredden avtar mot dypet, mens det i andre tilfeller har vist seg at sonene er forholdsvis jevntykkede fra utgående og ned til tunnelnivå. Dette er forhold som må vurderes spesielt i hvert enkelt tilfelle der det har betydning for prosjektet.



Ved seismiske undersøkelser er beregningene basert på den bølgebanen som gir raskest gangvei mellom skudd og mottaker. Dvs. at i områder hvor bergoverflaten står med helning langs profilet vil seismikken gi normaldybden til fjell (sidepåvirkning), se illustrasjonen.

*Skrånende fjell kan føre til siderefraksjon*

### 4. FELTARBEID

Målingene ble utført uke 12, 2009, se Feltlogg oppsummering i vedlegg 2.

Målingene forløp uten uhell av noen art verken på personell eller utstyr.



Båtene "Øyen" (17 fot) og båt innleid fra Kragerø havn ble brukt som henholdsvis kabelbåt og instrumentbåt. Det er benyttet differensiell GPS ved utlegging av sjøbunnskabelen (styrmannsinformasjon) og ved hydrofonposisjoneringen (Hydloc).

Det ble målt 5 refraksjonsseismiske profiler. Det er benyttet en 115m sjøbunnskabel med 5m hydrofonavstand (24 kanaler). Avstanden mellom skuddpunktene er 25m i tillegg er ytter-skudd droppet utenfor hver ende av kabelen. Dataene er registrert på en 24 kanalers ABEM Terraloc MK6 seismograf.

Informasjon om tekniske detaljer vedrørende datainnsamlingsutstyr og posisjonering er i kapittel 5, "Teknisk dokumentasjon". I vedlegg 1 er grabb prøvelokasjonene listet.


"Beskrivelse av refraksjonsseismiske målinger" og "Feltprosedyre sjøseismikk" er gitt i Vedleggene G1 og G2. Vedlegget "Hydloc" beskriver metoden som benyttes for å måle inn kabelens posisjon på bunnen.

Under feltarbeidet ble det foretatt fortløpende kontroll og tolkning av dataene.

## 5. TEKNISK DOKUMENTASJON

Oppdragsgiver	NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT (NGI)	
Kontaktperson	Audun Hauge	
Feltpersonell	Ole Chr. Pedersen, Arild Hegland og Olav Berg. Innleid instrumentbåt med skipper	
Måleperiode	Uke 12, 2009	
Fartøy	"ØYEN" pluss innleid båt	
Bunnkartlegging	Atlas Deso 14 m/ 2.7 graders 210 KHz svinger	
Tidevann	Fra observerte verdier fra Helgeroa målestasjon x 0.98 (referanse sjøkartnull). Faktor oppgitt av A. Barstad, Kystverket	
Lydhastighet i vann	Benyttet verdier kalibrert ved håndlodding på flat bunn	
Løsmasse- og fjellkvalitets kartlegging (refraksjonsseismikk)	ABEM Mark 6, 115m sjøbunnskabel med 5m hydrofonavstand Hydloc posisjonering.	
Posisjonering/korreksjonssignal	Differensiell GPS, Trimble 12 / Starfix	
Kalibrering	Mot karakteristisk punkt på kai	
Horisontalt datum	Euref 89	
Projeksjon	Sone 32	
Bunnkartlegging, høydegrunnlag	Sjøkartnull	

**GEOMAP a.s**

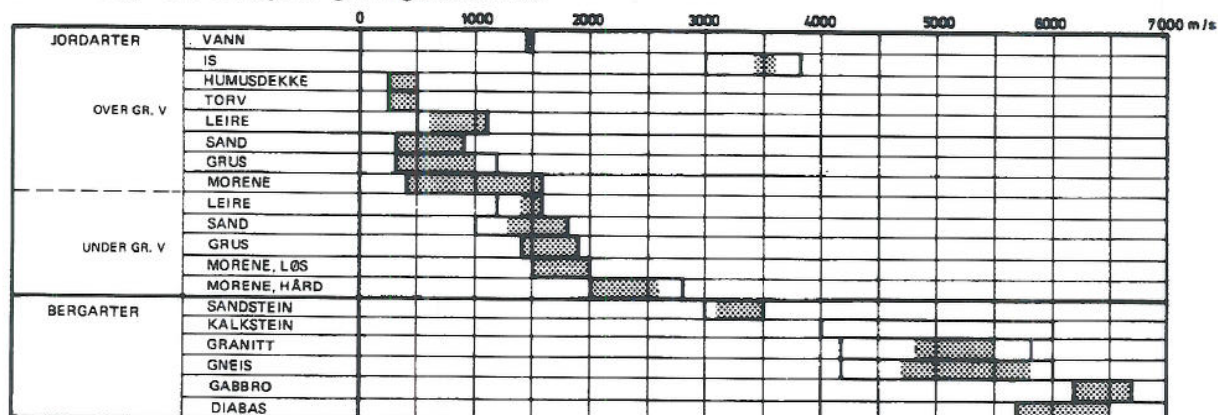
  
Ole Chr. Pedersen



## BESKRIVELSE AV REFRAKSJON- SEISMISKE MÅLINGER.

Metoden bygger på registrering av seismiske bølger som refrakteres (brytes) fra geologiske laggrenser med forskjellige hastigheter. En forutsetning for anvendelse av metoden er at de seismiske hastighetene øker mot dypet. Den seismiske hastigheten i ett vertikalt snitt øker normalt mot dypet fordi sammenpakking og konsolidering av materialer gir høyere hastigheter.

De seismiske hastighetene varierer fra 400m/s i løst lagret tørr sand opp til 6500m/s i uforvitret diabas/gabbro. En oversikt over vanlige seismiske hastigheter i Norge er gitt i figuren under.



Målingene utføres normalt langs rette linjer med faste avstander mellom sensorer for registrering av bølgene fra skuddpunkter i samme linje.

På land benyttes geofoner og 24 kanalers digital seismograf. Den vanligste geofonavstanden for ingeniørgeofysiske målinger er 5 meter som gir utlegg på 115 meter. Ved måling av flere utlegg etter hverandre knyttes utleggene sammen ved hjelp av overlappende geofoner. Store løsmassemektheter krever lengre utlegg og da benyttes 10 eller 20 meters geofonavstand. Normalt er avstand mellom skuddpunkter 5 ganger geofonavstanden.

Til sjømålinger benyttes spesielle bunnkabler med hydrofoner og uttak for preladede skudd. Ved rolig sjø og små vandyp og moderate løsmassemektheter brukes kabel med aktiv lengde på 115 meter og 5 meters hydrofonavstand.

Til mer krevende målinger benyttes kabel med aktiv lengde på 235 eller 475 meters aktiv lengde.

Det benyttes også spesielle teknikker for å gjøre målinger fra islagte vann, for kryssing av elver, i urmasser og i gater/byer.

Prinsippet bak en seismisk måling er å generere en elastisk bølge (sjokk bølge) i et punkt og i et antall andre punkter ankomsttiden for bølgefronten som har beveget seg gjennom de forskjellige lag i grunnen. Ved hjelp av geometriske beregninger er det mulig å bestemme den seismiske hastigheten og tykkelsen av de forskjellige lag. Ved refraksjonsseismikk er det ankomsttiden for den første delen av bølgefronten som har størst interesse.



De seismiske hastighetene brukes til å bestemme materialtyper og egenskaper slik som:

- ✓ Løsmassefordeling
- ✓ Grunnvannsnivå
- ✓ Svakhetsoner
- ✓ Bergkvalitet
- ✓ Sprengbarhet
- ✓ Gravbarhet

For kartlegging av svakhetsoner i fjell vil orientering av profilene i forhold til sonene samt geofon/hydrofon-avstand ha betydning for målingene. Seismikken registrerer svakhetsoner i fjelloverflaten og gir ikke informasjon om sonens fallvinkel.

To mulige feilkilder ved refraksjonseismiske målinger er lavhastighetslag og blindsonelag.

Lavhastighetslag er lag som bryter forutsetningen om økende hastighet mot dypet. Eksempler på slike lavhastighetslag er

- Tele
- Overflatedekke
- Blokkrike lag over finkornige.

Blindsonelag er lag med for liten mektighet til at de først ankomende bølger fra dette laget kan registreres før bølgen fra dypere liggende lag. Eksempler på blindsonelag er:

- Morene over fjell
- Vannmettet sand under tørr sand
- Dagfjell før fast fjell

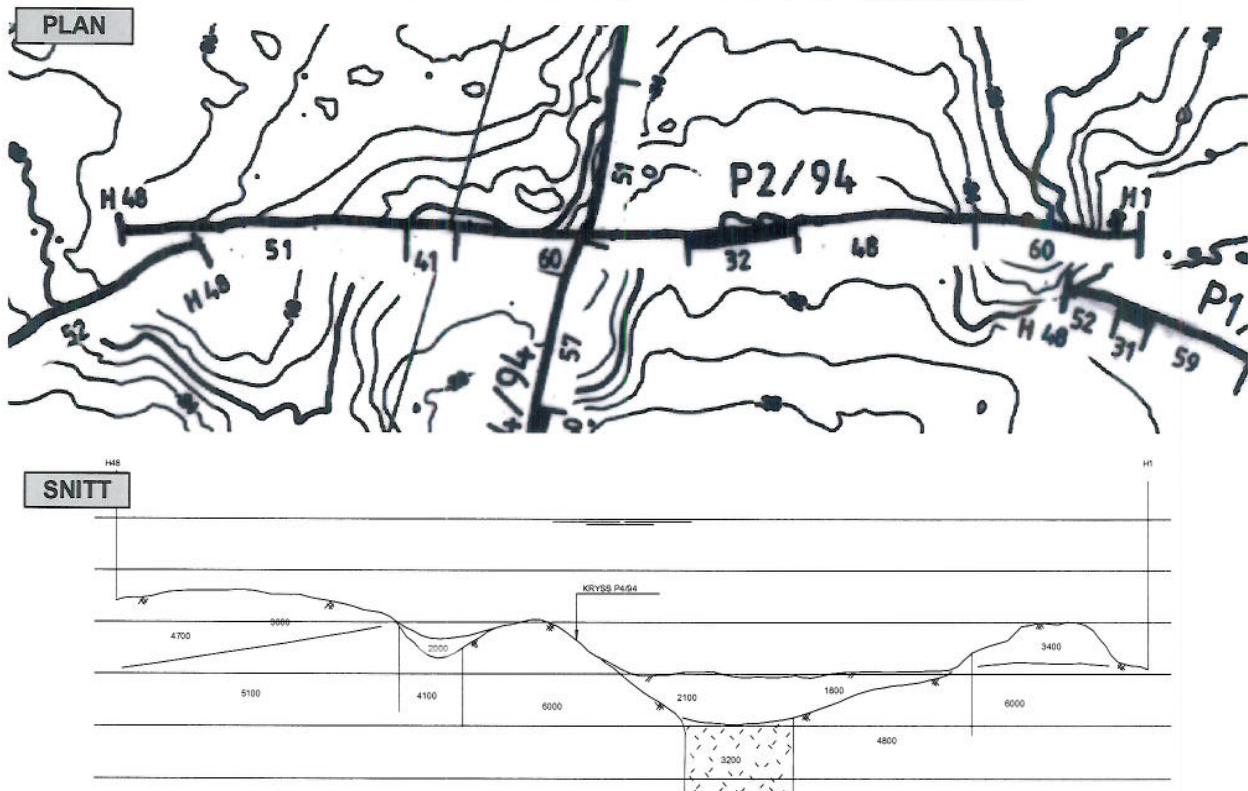
Digitale seismografer kan avsløre blindsonelag ved analyse av senere ankomende bølger

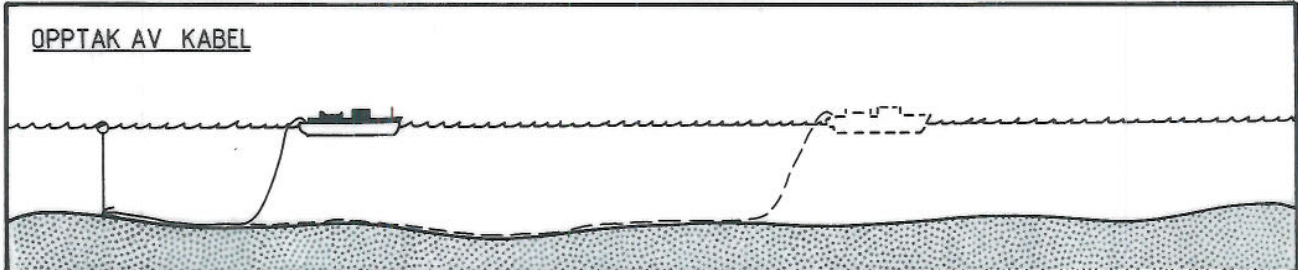
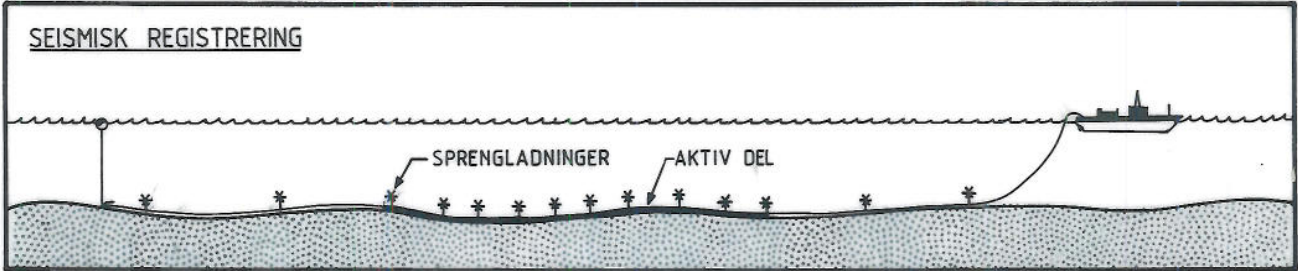
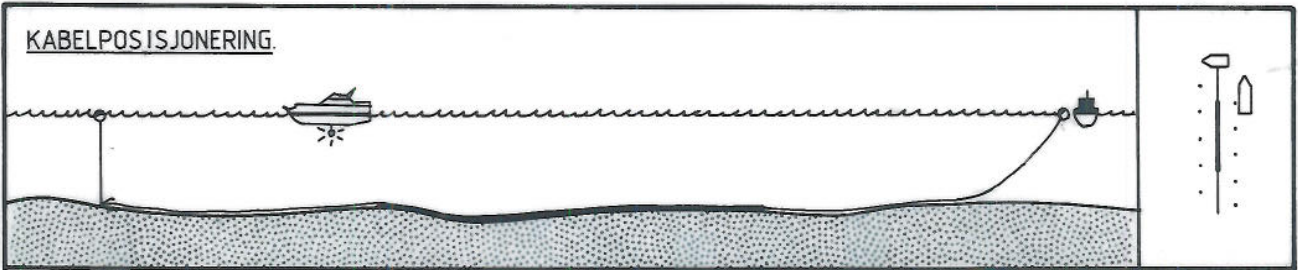
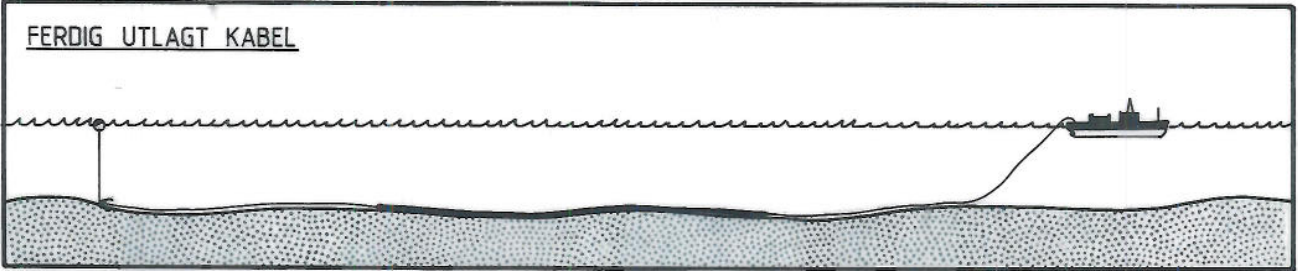
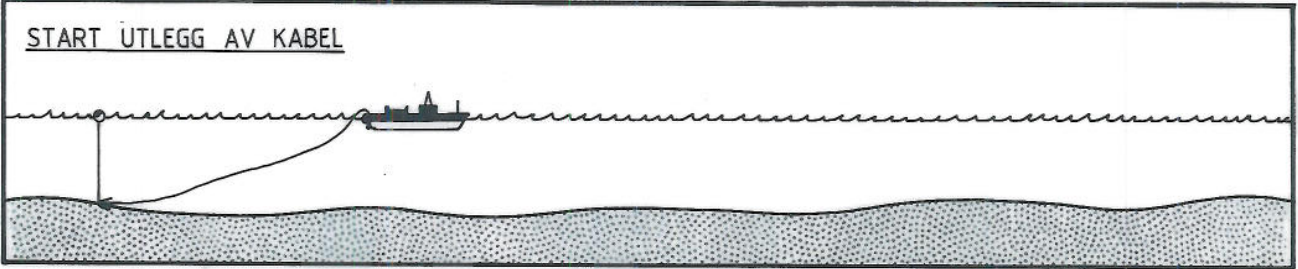
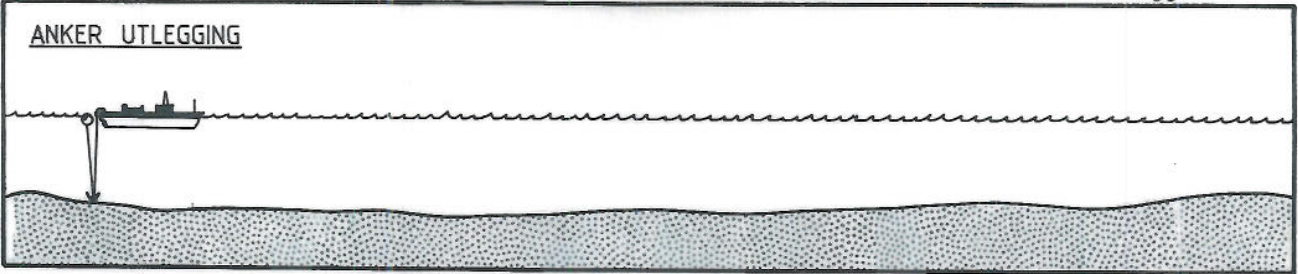
Lavhastighetslag vil gi for store dyp til fjell og blindsonelag for små dyp til fjell. Målingene vil i de fleste tilfeller gi indikasjoner på disse feilkildene slik at usikkerhet i beregningene kan angis.

Erfaringsmessig er standardavviket i fjelldybdebestemmelsen:

- Dyp mindre enn 10 meter  $\pm$  1 meter
- Dyp større enn 10 meter  $\pm$  10% av beregnet dyp.

#### EKSEMPEL PÅ PRESENTASJON AV MÅLERESULTATER





**GEOFYSISK BILAG**  
**FELTPROSEDYRE SJØSEISMIKK**

MÅLESTOKK

TEGNET

REV.

KONTR.

KONTR.

DATO

DATO

OPPDRAK NR.

TEGN. NR.

REV.

SIDE



# HYDLOC

## «HYDROPHONE LOCATION METHOD»

Ved refraksjonsseismiske målinger i sjø og vann er det ikke alltid at målekabelen blir liggende på bunnen i forutsatt posisjon. Dette kan skyldes avdrift grunnet vind, strøm, ujevn topografi, fremmede objekter ol. Dersom det ikke tæes hensyn til dette kan man risikere at resultatene plasseres på galt sted.

HYDLOC er en videreutvikling av en teknikk som gjør det mulig å bestemme hver hydrofons posisjon på bunnen i alle tre retninger (XYZ).

Metoden går ut på at det like under vannflaten genereres en lydimpuls. Ved å gjenta dette i forskjellige posisjoner på overflaten får man flere tidsmålinger til samme hydrofon og posisjonen kan beregnes.

Fordi posisjonen skal bestemmes i tre retninger kreves det minst tre målinger til hver hydrofon. Det er imidlertid helt nødvendig med flere målinger for å få tilfredsstillende nøyaktighet. For få, eller dårlige målinger vil først og fremst gi utslag i unøyaktig Z-verdi (dybde) på hydrofonen.

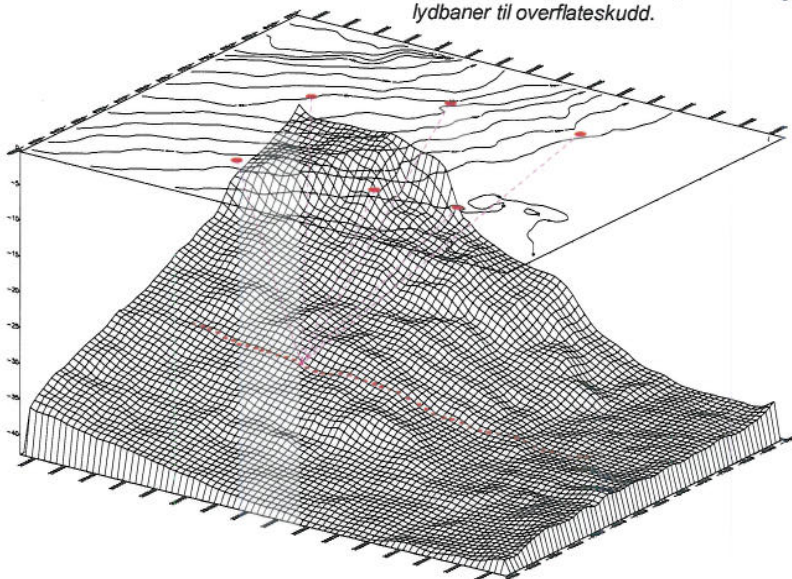
For å få et godt resultat er det viktig at det måles slik at det blir god geometri i beregningen. Dette er spesielt viktig ved måling i områder hvor sjøbunnen er kupert.

Selve prosedyren ved posisjonering med HYDLOC metoden er delt i en måledel og en beregningsdel. I navigasjonsprogramet som benyttes er det flere spesielle rutiner for å optimalisere den viktigste delen av prosessen som er selve tidsmålingen.

I korte trekk går dette ut på at det i navigasjonscomputeren legges inn en beskrivelse av dybdeforholdene langs profilet. Programmet beregner deretter optimale posisjoner hvor skuddene skal avfyres.

Når skuddet avfyres, beregnes posisjonen på skuddet ved hjelp av navigasjonssystemet.

Figuren viser hydrofoner på sjøbunnen og lydbaner til overflateskudd.



Samtidig overføres et startsignal via en radiolink til registreringsinstrumentene i kabelbåten som starter tidsmålingen.

De registrerte tidene lagres digitalt på diskett i seismografene for hvert skudd. Etter hvert skudd foretas en kvalitetsvurdering av de registrerte tider og posisjon slik at omskudd kan utføres umiddelbart. For å kunne regne om tidsavstand til avstand i meter, må lydshastigheten i vann måles.

Programmet har følgende muligheter:

- ✓ Beregner posisjon for inntil 96 hydrofoner.
- ✓ Tidsdelay for triggesignal.
- ✓ Tider fra inntil 30 skudd og 96 hydrofoner.
- ✓ Beregning etter minste kvadrats metode.(P. A. Cross)
- ✓ Korrigering av lydbane for målt lydshastighet.
- ✓ Hvert skudd kan vektas:
- ✓ Plott av beregnede posisjoner i plan.
- ✓ Utskrift av restfeil for hvert skudd til hver hydrofon, standardavvik for X, Y og Z og sum av restfeil.
- ✓ Lagrer beregning på diskett for senere utplotting.
- ✓ Delta avstand mellom hver hydrofon.
- ✓ Total lengde av aktiv seksjon.

## FELTLOGG OPPSUMMERING

### UNDERSØKELSER I FARLEDER PÅ SØRØSTLANDET

- Farled Kragerø
- Farled Gåsøyrenna (Oslofjorden)

### REFRAKSJONSSEISMISKE MÅLINGER OG GRABB PRØVETAKING

#### FREMDRIFTSOVERSIKT

Ukedag	Dato	Aktivitet
Mandag	16.03.09	Forberedelser og klargjøring av utstyr.
Tirsdag	17.03.09	Kjøring til Kragerø, sjøsetting av båt og rigging av utstyr . Ferdig rigget kl 1400. Mye vind og bølger. Stand-by fra 1400
Onsdag	18.03.09	Kragerø Målte P3, P4 og P5
Torsdag	19.03.09	Kragerø Målte P1 og P2 Hjemreise
		Grabb prøvetaking i totalt 10 lokasjoner
Fredag	20.03.09	Kontorarbeid
Lørdag	21.03.09	Fri
Søndag	22.03.09	Fri
Mandag	23.03.09	Gåsøyrenna Mobilisering på Sjursøya. Sjøsetting av båt og rigging av utstyr i Oslo havnevesens båt. Mob/demob
Tirsdag	24.03.09	Gåsøyrenna Målte P14, P15, P16 og P17
Onsdag	25.03.09	Gåsøyrenna Målte P10, P1, P12 og P13 Blåste opp standby fra 1430 Standby
Torsdag	26.03.09	Gåsøyrenna Grabb prøvetaking og demobilisering
		Grabb prøvetaking i totalt 16 lokasjoner



## Koordinatliste grabb prøver

## Vedlegg V2 Side 1 av 1

## Kragerø Eur89,sone32

Prøve	N	E	Masse	Dybde	Lok.	NGI profilnr.
nr. 134	6525546,157	524545,454	Tom	kote-08.1	v/P1/09	P1-1
nr.135	6525515,650	524512,434	Tom	kote-08.8	v/P1/09	P1-2
nr.83	6520007,408	527656,361	Tom	kote-23.7	v/P2/09	P2-1
nr.84	6520085,101	527640,408	Tom	kote-16.7	v/P2/09	P2-2
nr.79	6519511,366	527639,010	Tom	kote-12.7	v/ P3/09	P3-1
nr.80	6519528,448	527696,611	Tom	kote-22.7	v/ P3/09	P3-2
nr.81	6519541,199	527747,476	Tom (litt tang)	kote-09.7	v/ P4/09	P4-1
nr.82	6519554,482	527802,396	Tom (litt tang)	kote-10.7	v/ P4/09	P4-2
nr.77	6519226,752	527822,372	Tom	kote-20.8	v/ P5/09	P5-1
nr.78	6519204,527	527751,329	Tom	kote-16.7	v/ P5/09	P5-2

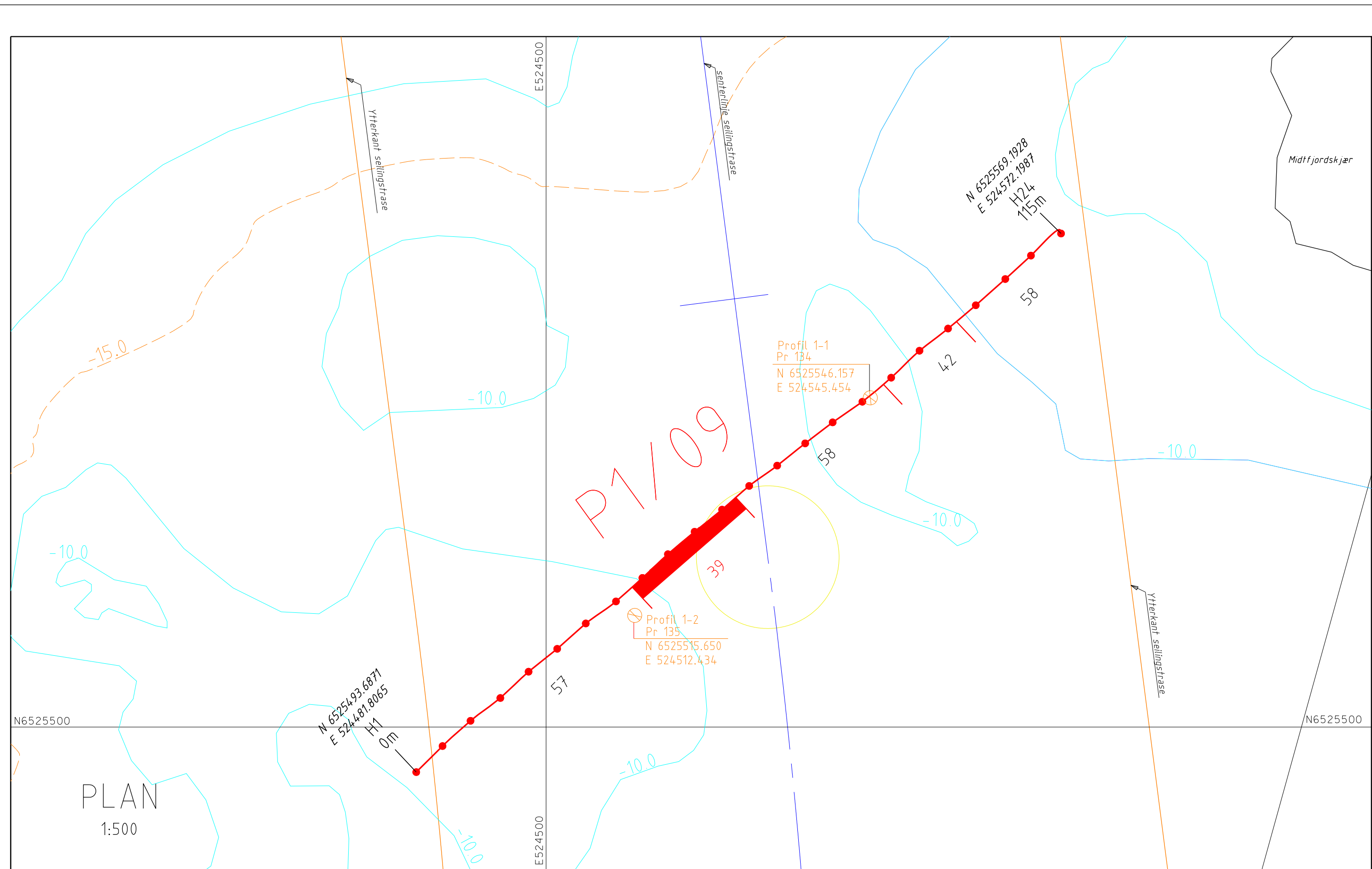
## Gåsøyrenna Eur89,sone32

Prøve	N	E	Masse	Dybde	Lok.	NGI profilnr.
nr.307	6632350,558	588501,044	Tom	kote-14.6	v/ P10/09	P10-1
nr.308	6632406,976	588513,742	Tom	kote-18.1	v/ P10/09	P10-2
nr.309	6632859,427	589097,056	Tom	kote-17.5	v/ P11/09	P11-1
nr.310	6632919,308	589113,522	Tom	kote-16.7	v/ P11/09	P11-2
nr.311	6634246,254	588294,691	Dynn,sand,små-stein	kote-18.9	v/ P12/09	P12-1
nr.312	6634304,174	588309,415	Tom	kote-15.7	v/ P12/09	P12-2
nr.313	6634511,336	589648,601	Tom	kote-15.2	v/ P13/09	P13-1
nr.314	6634562,420	589674,247	Tom	kote-12.2	v/ P13/09	P13-2
nr.315	6634711,810	589742,616	Tom	kote-20.3	v/ P14/09	P14-1
nr.316	6634764,040	589771,784	Tom	kote-14.3	v/ P14/09	P14-2
nr.317	6637064,990	590311,654	Dynn,sand,små-stein	kote-18.8	v/ P15/09	P15-1
nr.318	6637103,068	590351,874	Tom	kote-16.5	v/ P15/09	P15-2
nr.320	6637209,101	590650,948	Tom	kote-13.1	v/ P16/09	P16-1
nr.321	6637253,975	590679,306	Tom	kote-12.6	v/ P16/09	P16-2
nr.322	6637570,742	591190,316	Tom	kote-14.6	v/ P17/09	P17-1
nr.323	6637618,970	591229,487	Tom	kote-14.8	v/ P17/09	P17-2

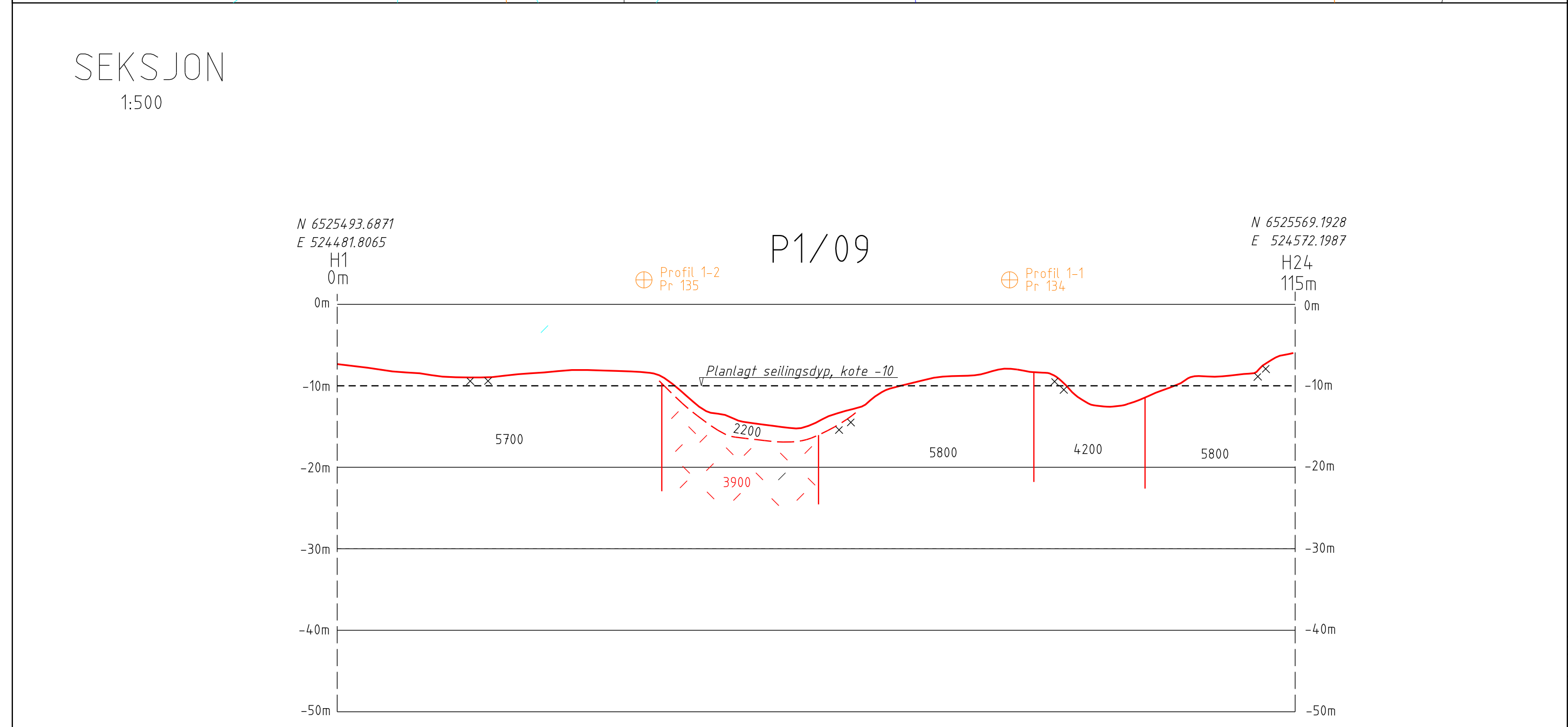




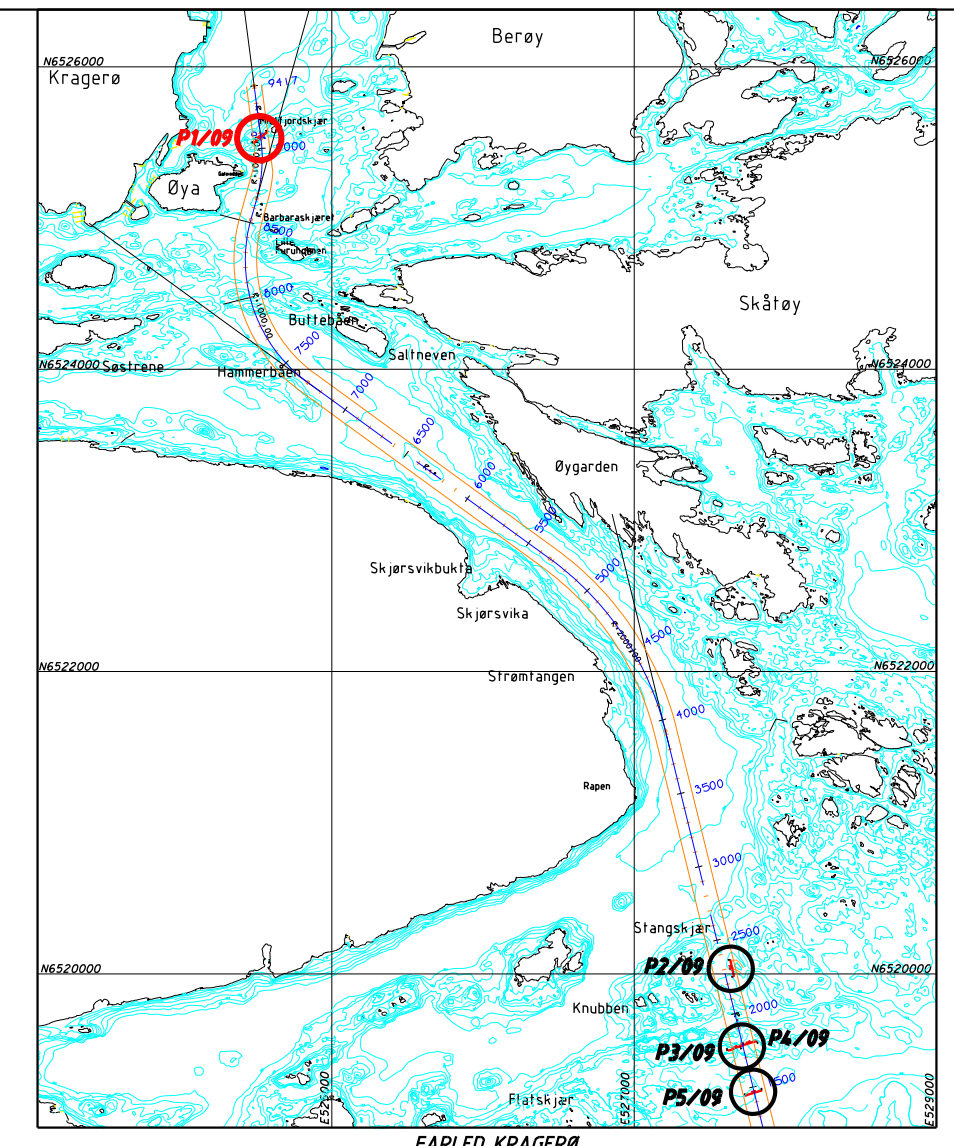




PLAN  
1:500



SEKSJON  
1:500



FARLED KRAGERØ  
Oversiktskart refraksjonsseismiske målinger  
P1-P5/09

TEGNFORKLARING PLAN

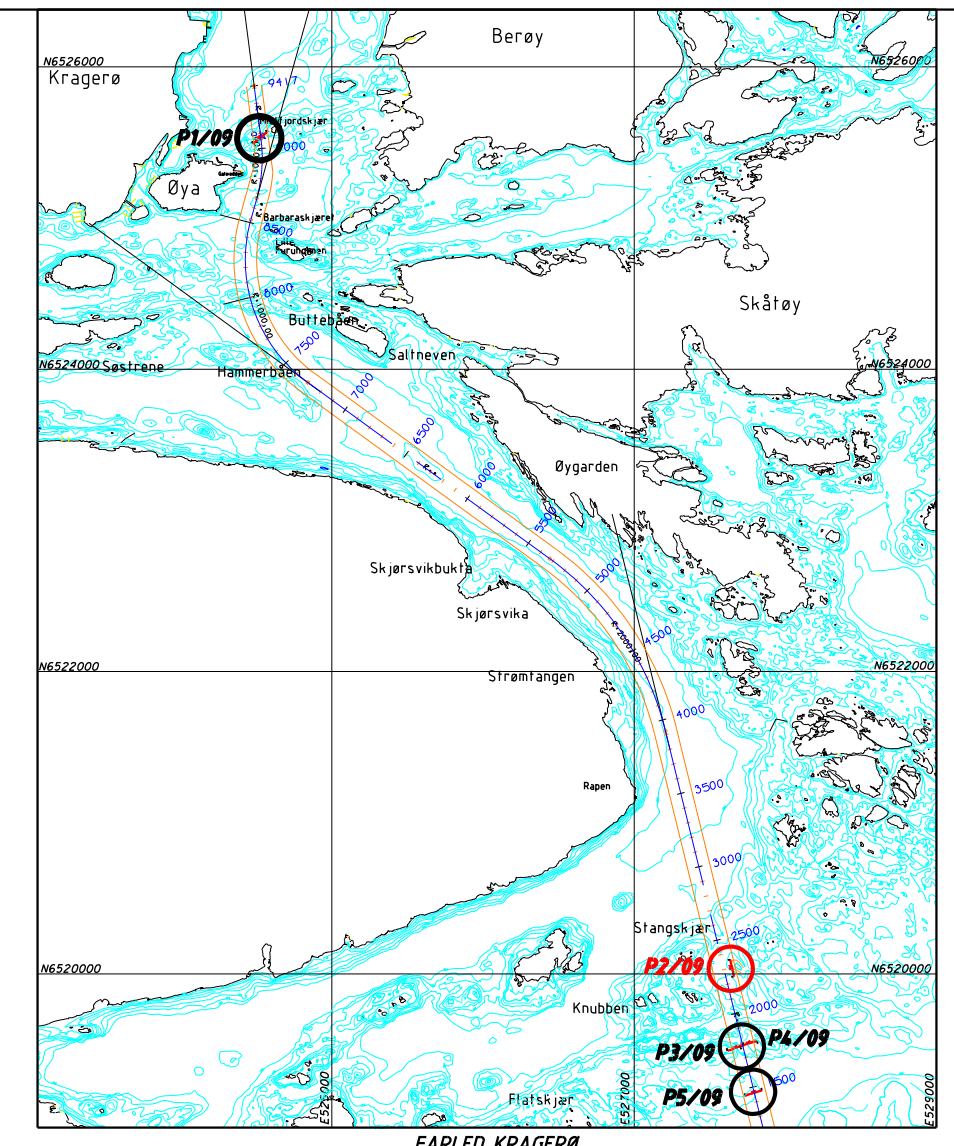
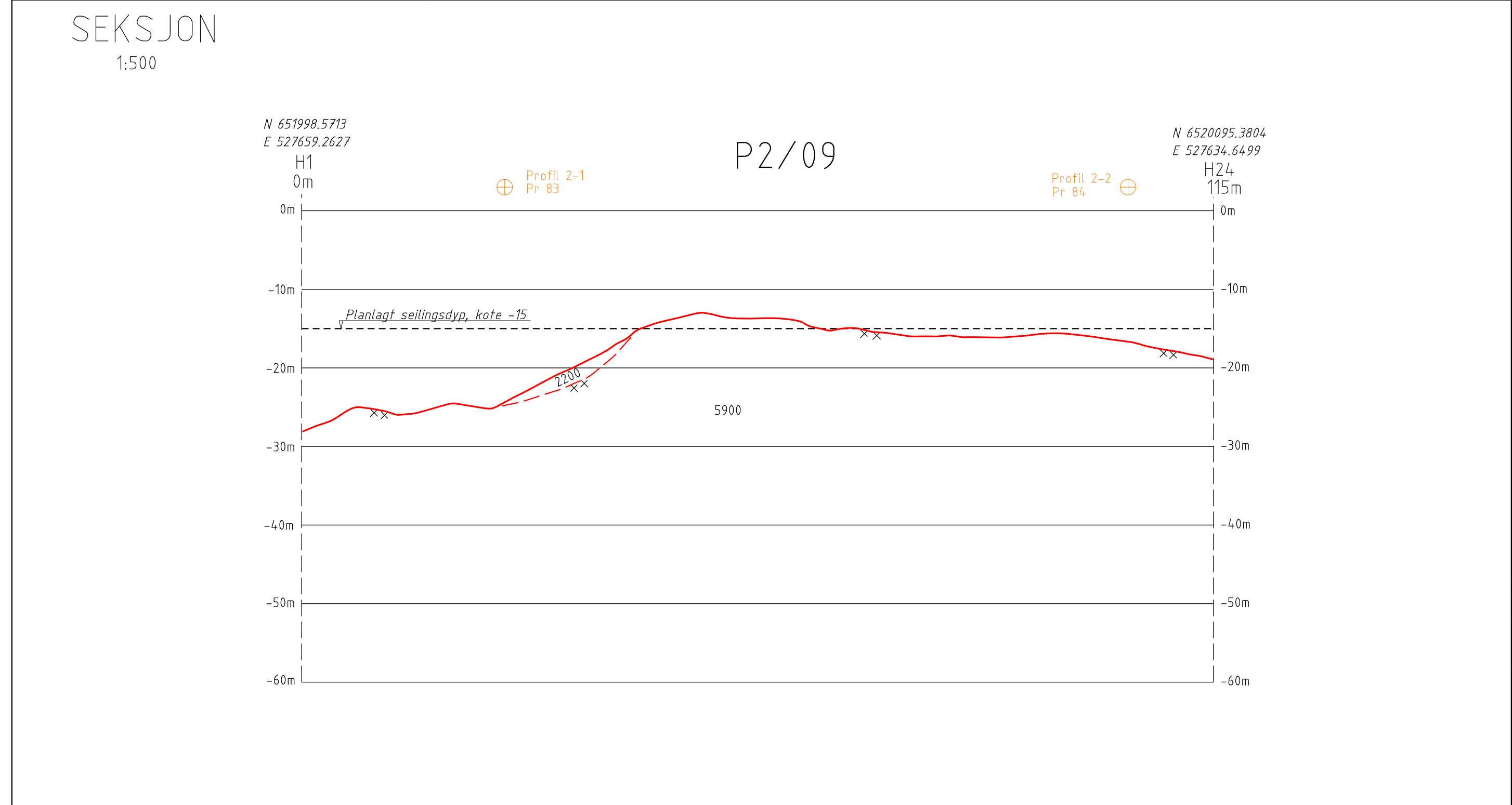
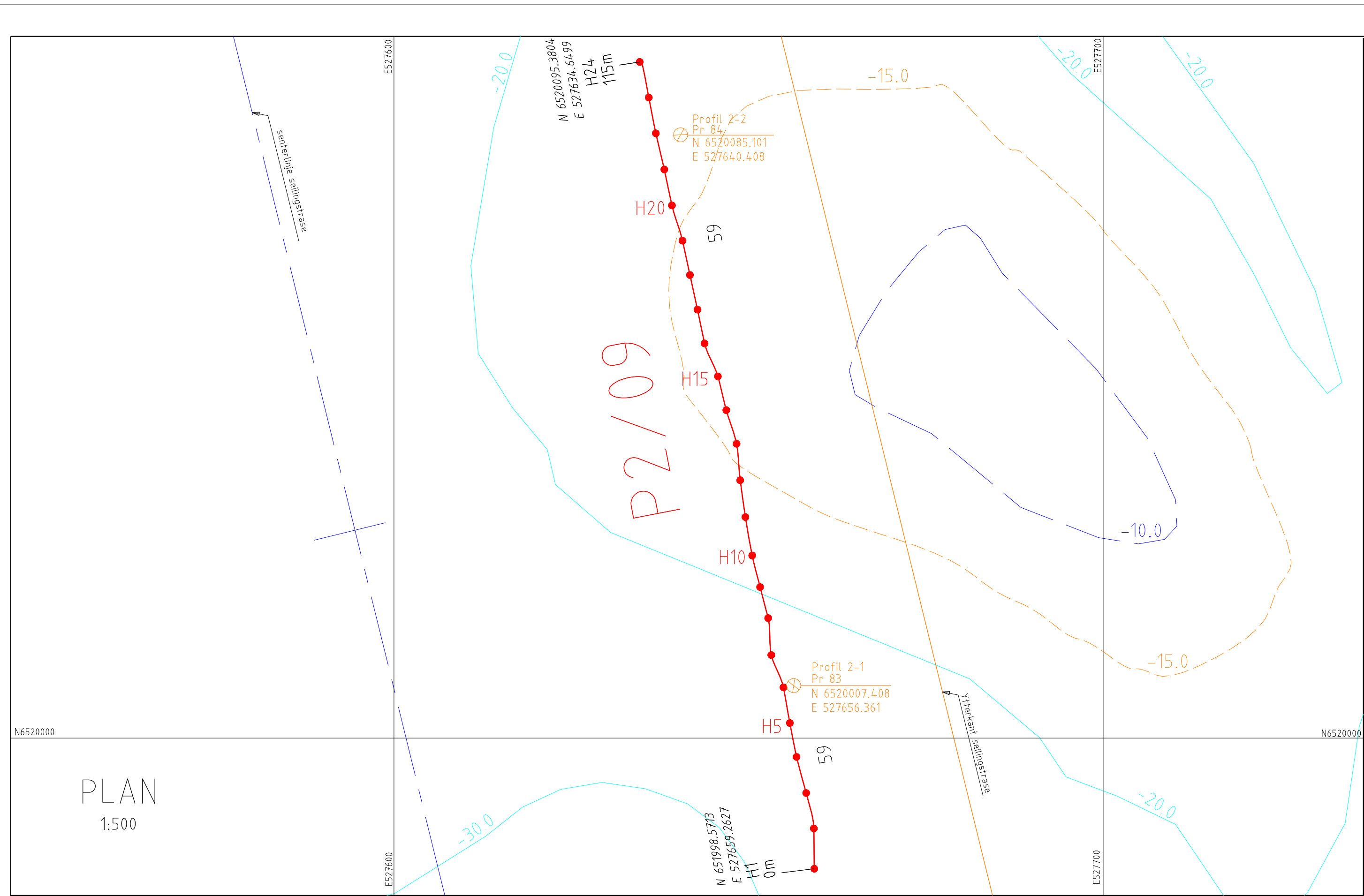
- P1/09 BELIGGENHET AV SEISMISK PROFIL
- GRABB PRØVETAKING
- BELIGGENHET AV HYDROFON 1 OG 24
- HORIZONTAL VARIASJONER I SEISMISK HASTIGHET I BERGRUNNEN, (49x100m/s)
- LAVHASTIGHETSSONE I BERGRUNNEN v < 40x100m/s

I SVAKHETSSONENE MÅ DET GENERELT FORVENTES EN VISS OVERFORDYBNING PÅ GRUNN AV GRADVIS OVERGANG FRA LØSMASSE TIL FJELL. VED SPESELLE LAVHASTIGHETER (UNDER 25x100m/s) KAN DET DREIE SEG OM ÅPNE KLØFTDANNELSER.

TEGNFORKLARING SEKSJON

- SJØBUNN
- LØSMASSELAG MED ULIK SEISMISK HASTIGHET
- BEREGET FJELLOVERFLATE
- HORIZONTAL VARIASJONER I SEISMISK HASTIGHET I BERGRUNNEN
- LAVHASTIGHETSSONE I BERGRUNNEN v < 4000 m/s
- LAVHASTIGHETSSONE I BERGRUNNEN v < 2500 m/s
- USIKKERHET I BEREGNINGEN AV FJELLOVERFLATEN
- VERTIKALE VARIASJONER (I DAGFJELL) I SEISMISK HASTIGHET I BERGRUNNEN

REV.	BESKRIVELSEN GJELDER	SIGN.	DATE
	FARLED KRAGERØ: PLAN OG SEISMISK SEKSJON P1/09	ACL	
	NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT FARLED KRAGERØ (KYSTVERKET) REFRAKSJONSSEISMISKE GRUNNUNDERSØKELSER OG GRABB PRØVETAKING		
	OPPDRAG NR. 292102	TEGN. NR. 1	REV.



TEGNFORKLARING PLAN

- P2/09 BELIGENHET AV SEISMISK PROFIL
- GRABB PRØVETAKING
- BELIGENHET AV HYDROFON 1 OG 24
- HORIZONTAL VARIASJONER I SEISMISK HASTIGHET I BERGRUNNEN, (49x100m/s)
- LAVHASTIGHETSSONE I BERGRUNNEN v ≤ 40x100m/s

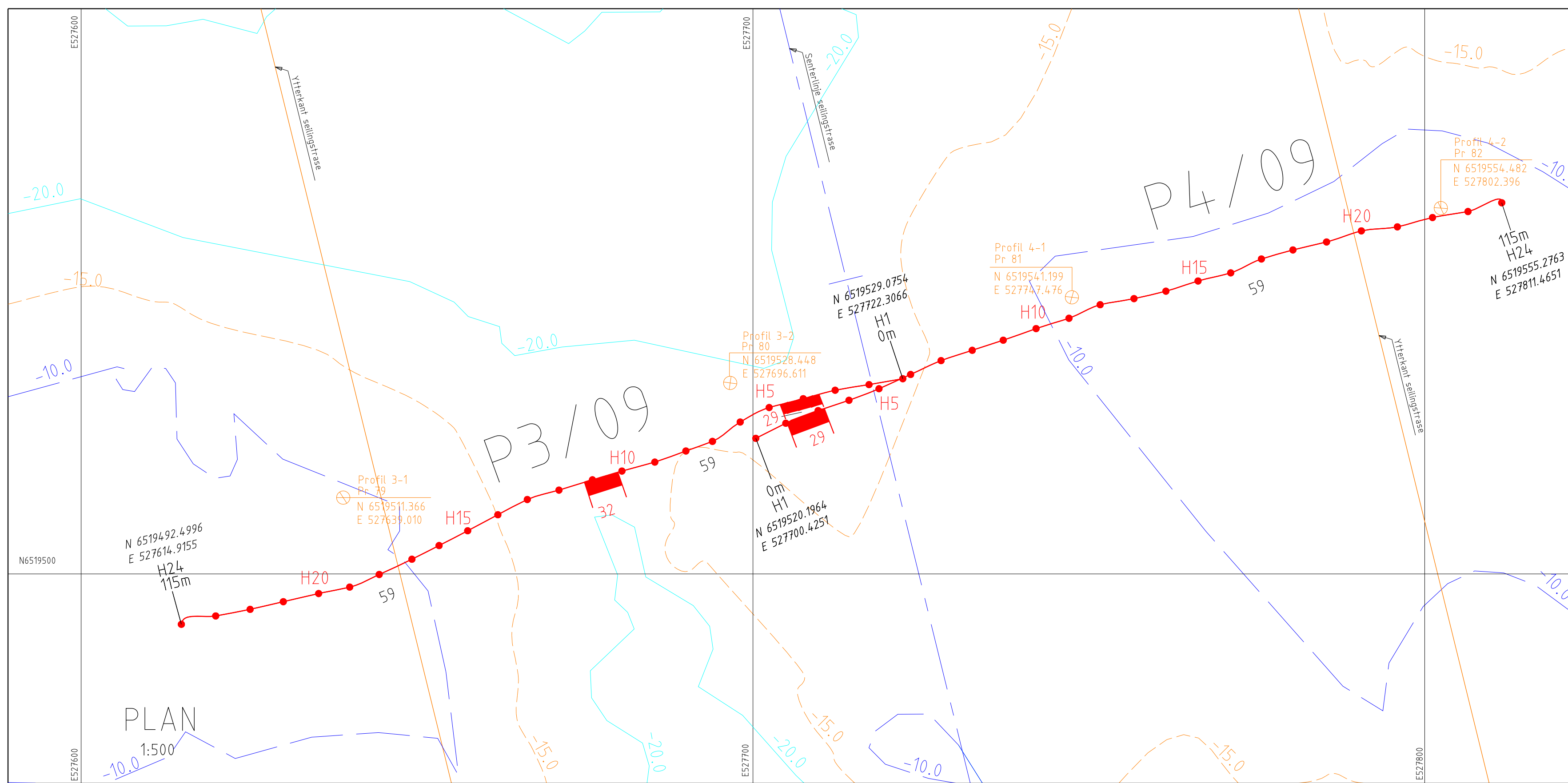
I SVAKHETSSONENE MÅ DET GENERELT FORVENTES EN VISS OVERFORDYBNING PÅ GRUNN AV GRADVIS OVERGANG FRA LØSMASSE TIL FJELL. VED SPEIELLE LAV HASTIGHETER (UNDER 25x100m/s) KAN DET DREIE SEG OM ÅPNE KLØFTDANNELSER.

TEGNFORKLARING SEKSJON

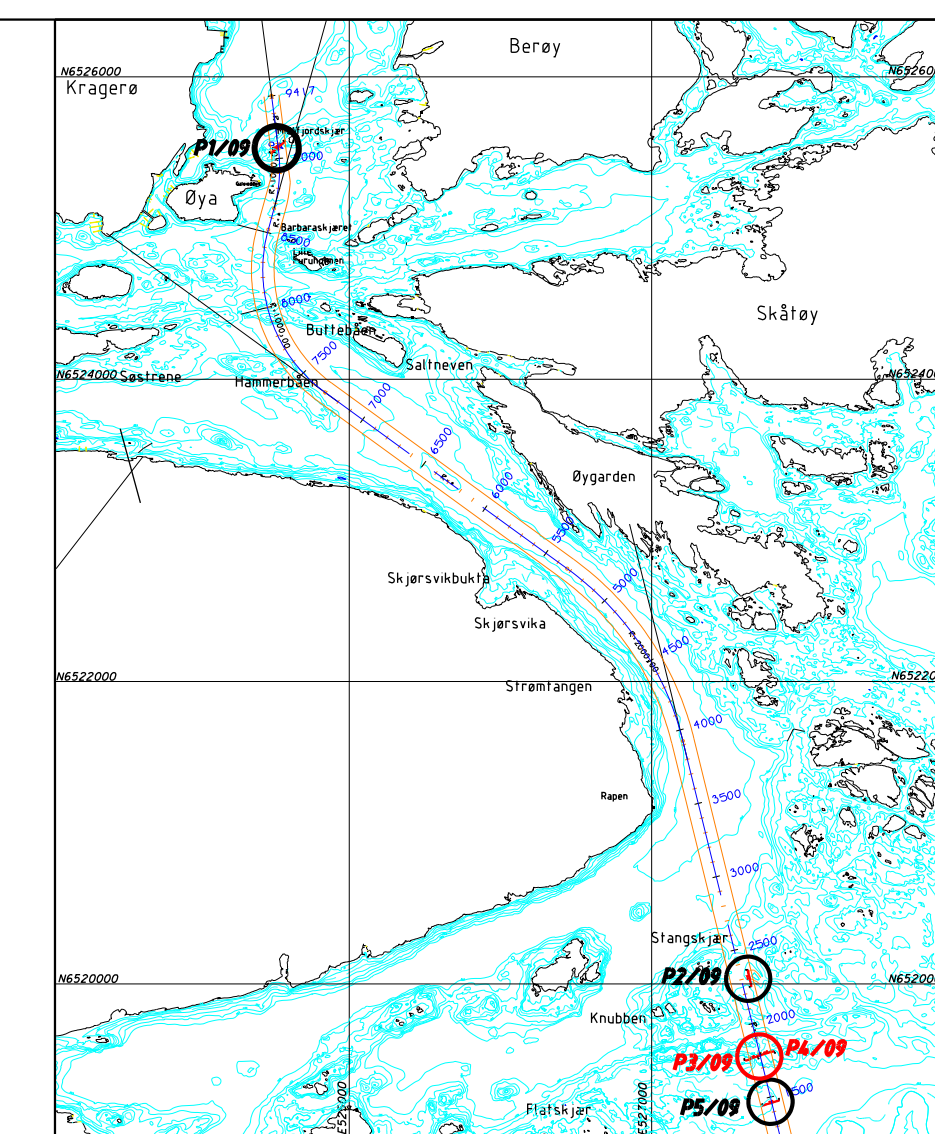
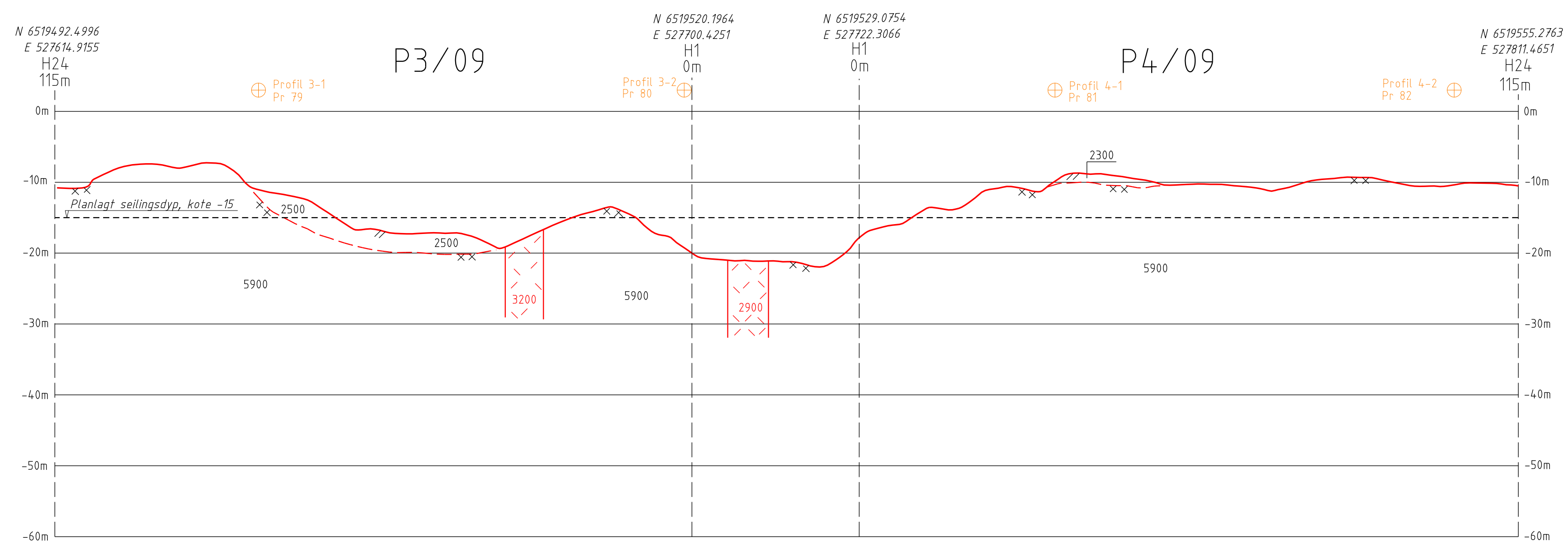
- SJØBUNN
- LØSMASSELAG MED ULIK SEISMISK HASTIGHET
- BEREGET FJELLOVERFLATE
- HORIZONTAL VARIASJONER I SEISMISK HASTIGHET I BERGRUNNEN
- LAVHASTIGHETSSONE I BERGRUNNEN v ≤ 4000 m/s
- LAVHASTIGHETSSONE I BERGRUNNEN v ≤ 2500 m/s
- USIKKERHET I BEREGNINGEN AV FJELLOVERFLATEN
- VERTIKALE VARIASJONER (DAGFJELL) I SEISMISK HASTIGHET I BERGRUNNEN

REV.	BESKRIVELSEN GJELDER	SIGN.	DATE
	FARLED KRAGERØ: PLAN OG SEISMISK SEKSJON P2/09	ACL	
	NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT FARLED KRAGERØ (KYSTVERKET) REFRAKSJONSSEISMISKE GRUNNUNDERSØKELSER OG GRABB PRØVETAKING		
	OPPDRAG NR. 292102	TEGN. NR. 2	REV.





SEKSJONER  
1:500



FARLED KRAGERØ  
Oversiktskart i refleksjonsseismiske målinger  
P1-P5/09

TEGNFORKLARING PLAN

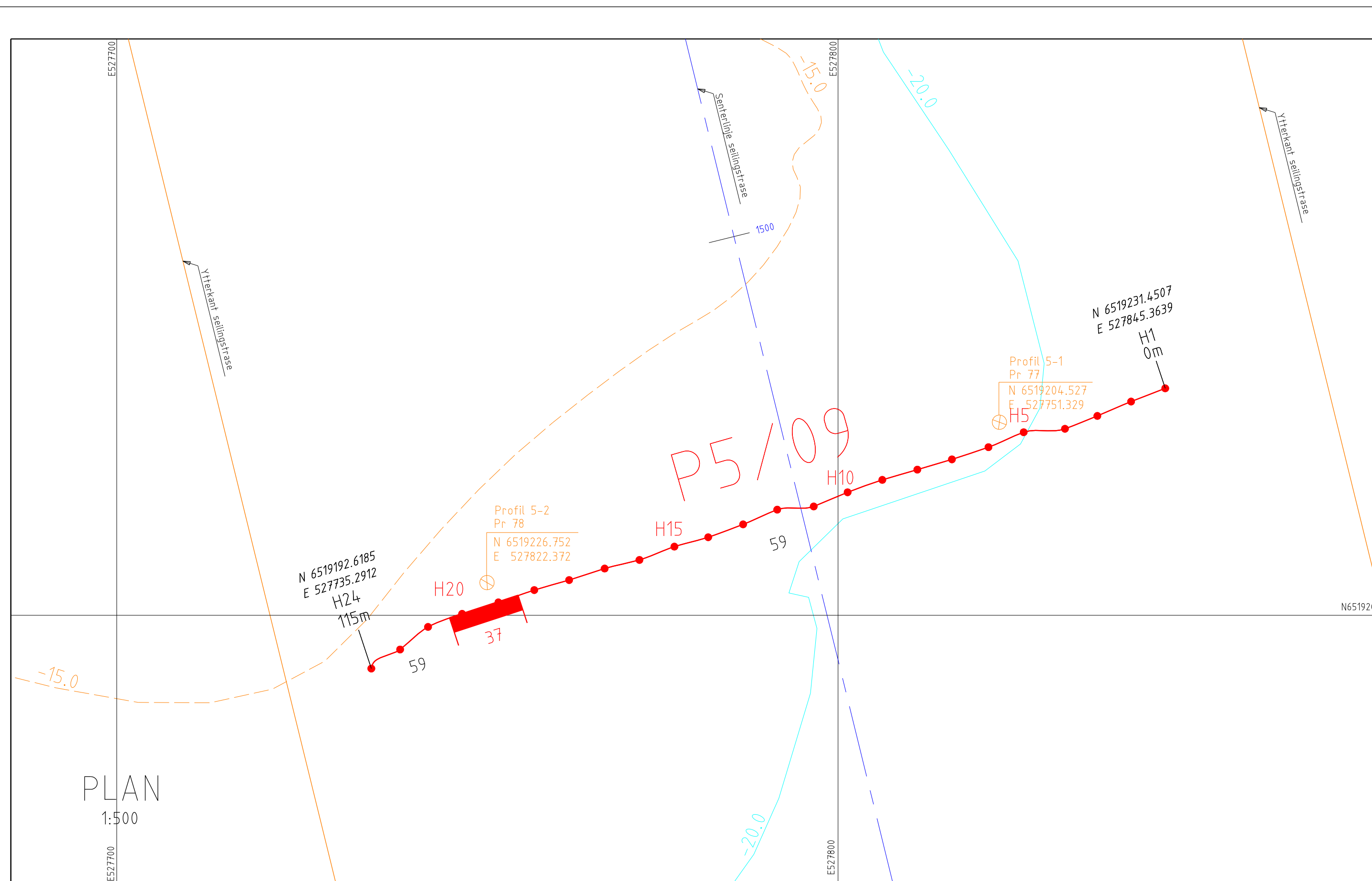
- P3/09 BELIGGENHET AV SEISMISK PROFIL
- ⊕ GRABB PRØVETAKING
- H1 H24 BELIGGENHET AV HYDROFON 1 OG 24
- 49 53 HORIZONTAL VARIASJONER I SEISMISK HASTIGHET I BERGGRUNNEN, (49x100m/s)
- 38 LAVHASTIGHETSSONE I BERGGRUNNEN  $v \leq 40 \times 100 \text{ m/s}$

I SVAKHETSSONENE MÅ DET GENERELT FORVENTES EN VISS OVERFORDYBNING PÅ GRUNN AV GRADVIS OVERGANG FRA LØSMASSE TIL FJELL. VED SPEIELLE LAVHASTIGHETER (UNDER 25x100m/s) KAN DET DREIE SEG OM ÅPNE KLØFTDANNELSER.

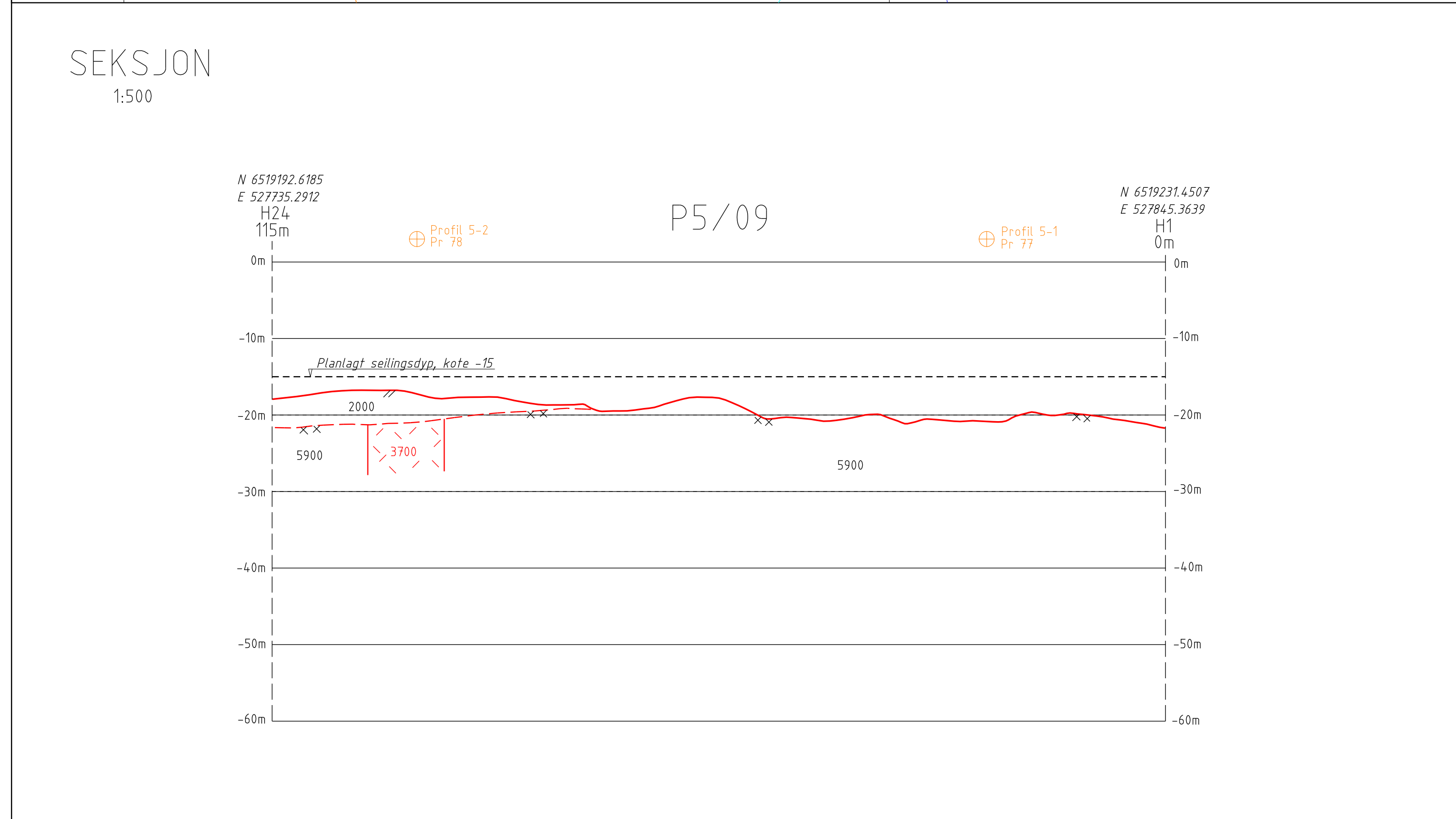
TEGNFORKLARING SEKSJON

- Sjøbunn
- - - 700 m/s - - - 1500 m/s LØSMASSELAG MED ULIK SEISMISK HASTIGHET
- - - BEREKNET FJELLOVERFLATE
- x x HORIZONTAL VARIASJONER I SEISMISK HASTIGHET I BERGGRUNNEN (4700 m/s 5400 m/s)
- x x LAVHASTIGHETSSONE I BERGGRUNNEN  $v \leq 4000 \text{ m/s}$
- x x LAVHASTIGHETSSONE I BERGGRUNNEN  $v \leq 2500 \text{ m/s}$
- I SVAKHETSSONENE MÅ DET GENERELT FORVENTES EN VISS OVERFORDYBNING PÅ GRUNN AV GRADVIS OVERGANG FRA LØSMASSE TIL FJELL. VED SPEIELLE LAVHASTIGHETER (UNDER 2500 m/s) KAN DET DREIE SEG OM ÅPNE KLØFTDANNELSER.
- - - USIKKERHET I BEREKNINGEN AV FJELLOVERFLATEN
- x x 2500 m/s x x 5400 m/s VERTIKALE VARIASJONER I DAGFJELL I SEISMISK HASTIGHET I BERGGRUNNEN

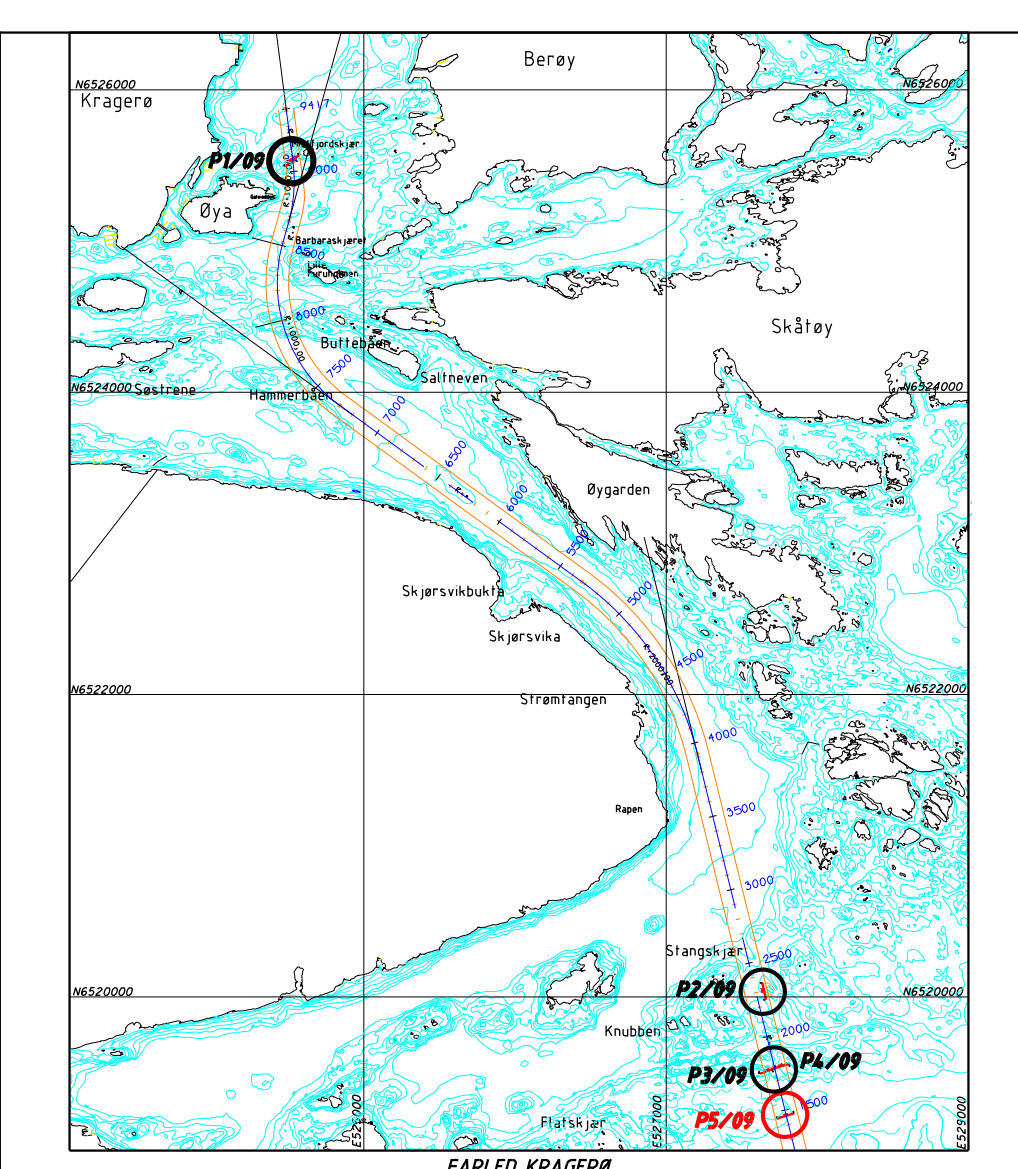
REV.	BESKRIVELSE GJELDER	SIGN.	MALESTOKK	TEGNET	KL.	DATE
	FARLED KRAGERØ: PLAN OG SEISMISKE SEKSJONER P3/09 OG P4/09		1:500	ACL		MARS 2009
NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT FARLED KRAGERØ (KYSTVERKET) REFRAKSJONSEISMISKE GRUNNUNDERSØKELSER OG GRABB PRØVETAKING				OPPDRAG NR.	TEGN. NR.	REV.
				292102	3	



PLAN  
1:500



SEKSJON  
1:500



FARLED KRAGERØ  
Oversiktskart refraksjonsseismiske målinger  
P1-P5/09

TEGNFORKLARING PLAN

- P5/09 BELIGGENHET AV SEISMISK PROFIL
- ⊕ GRABB PRØVETAKING
- H1 H48 BELIGGENHET AV HYDROFON 1 OG 24
- 49 53 HORIZONTALTE VARIASJONER I SEISMISK HASTIGHET I BERGRUNNEN, (49x100m/s)
- 38 LAVHASTIGHETSSONE I BERGRUNNEN  $v \leq 40x100m/s$

I SVAKHETSSONENE MÅ DET GENERELT FORVENTES EN VISS OVERFORDYBNING PÅ GRUNN AV GRADVIS OVERGANG FRA LØSMASSE TIL FJELL. VED SPESELLE LAVE HASTIGHETER (UNDER 25x100m/s) KAN DET DREIE SEG OM ÅPNE KLØFTDANNELSER.

TEGNFORKLARING SEKSJON

- SJØBUNN
- - - 700 m/s 1500 m/s LØSMASSELAG MED ULIK SEISMISK HASTIGHET
- - - BEREGET FJELLOVERFLATE
- x x 4700 m/s 5400 m/s HORIZONTALTE VARIASJONER I SEISMISK HASTIGHET I BERGRUNNEN
- x x 3400 m/s LAVHASTIGHETSSONE I BERGRUNNEN  $v \leq 4000 m/s$
- x x 2500 m/s LAVHASTIGHETSSONE I BERGRUNNEN  $v \leq 2500 m/s$
- - - I SVAKHETSSONENE MÅ DET GENERELT FORVENTES EN VISS OVERFORDYBNING PÅ GRUNN AV GRADVIS OVERGANG FRA LØSMASSE TIL FJELL. VED SPESELLE LAVE HASTIGHETER (UNDER 2500 m/s) KAN DET DREIE SEG OM ÅPNE KLØFTDANNELSER.
- - - USIKKERHET I BEREGNINGEN AV FJELLOVERFLATEN
- x x 2500 m/s 5400 m/s VERTIKALE VARIASJONER (I DAGFJELL) I SEISMISK HASTIGHET I BERGRUNNEN

REV.	BESKRIVELSEN GJELDER	SIGN.	DATE
	FARLED KRAGERØ: PLAN OG SEISMISK SEKSJON P5/09	ACL	
	NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT FARLED KRAGERØ (KYSTVERKET) REFRAKSJONSSEISMISKE GRUNNUNDERSØKELSER OG GRABB PRØVETAKING		
	OPPDRAG NR. 292102	TEGN. NR. 4	REV.








Dokumentnr.: 20091075-00-2-R  
Dato: 2009-06-10  
Side: B1

## Vedlegg B - Notat fra SINTEF – Vurdering av strømforhold

 <b>SINTEF</b>  <b>SINTEF Materialer og kjemi</b> <b>Marin miljøteknologi</b>  Postadresse: 7465 Trondheim Besøksadresse: Brattørkaia 17B, 4. etg. Telefon: 4000 3730 Telefaks: 930 70730  Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA		<b>NOTAT</b>					
		GJELDER		BEHANDLING	UTTALELSE	ORIENTERING	ETTERAVTALE
		<b>Alternativ farlei til Kragerø havn</b>					
		<b>Strømningsmessige konsekvenser av utdypning</b>					
ARKIVKODE GRADERING Åpen		GAR TIL					
ELEKTRONISK ARKIVKODE Notat-farlei-Kragerø.doc		NGI v/ Audun Hauge					X
PROSJEKTNR.	DATO	SAKSBEARBEIDER/FORFATTER		ANTALL SIDER			
80121800	2009-01-16	Grim Eidnes		4			

## Bakgrunn

Alternativ farlei til Kragerø havn er under utredning. En realisering av farleia vil kreve mudring og/eller sprenging av enkelte undersjøiske knauser ned til kote -15 ved Knubbehausen fyr og kote -10 lenger inn ved Kragerø havn. NGI (Norges Geotekniske Institutt) har i den forbindelse henvendt seg til SINTEF og bedt om en vurdering av de strømningsmessige konsekvensene av en slik utdypning.

## Ny farlei

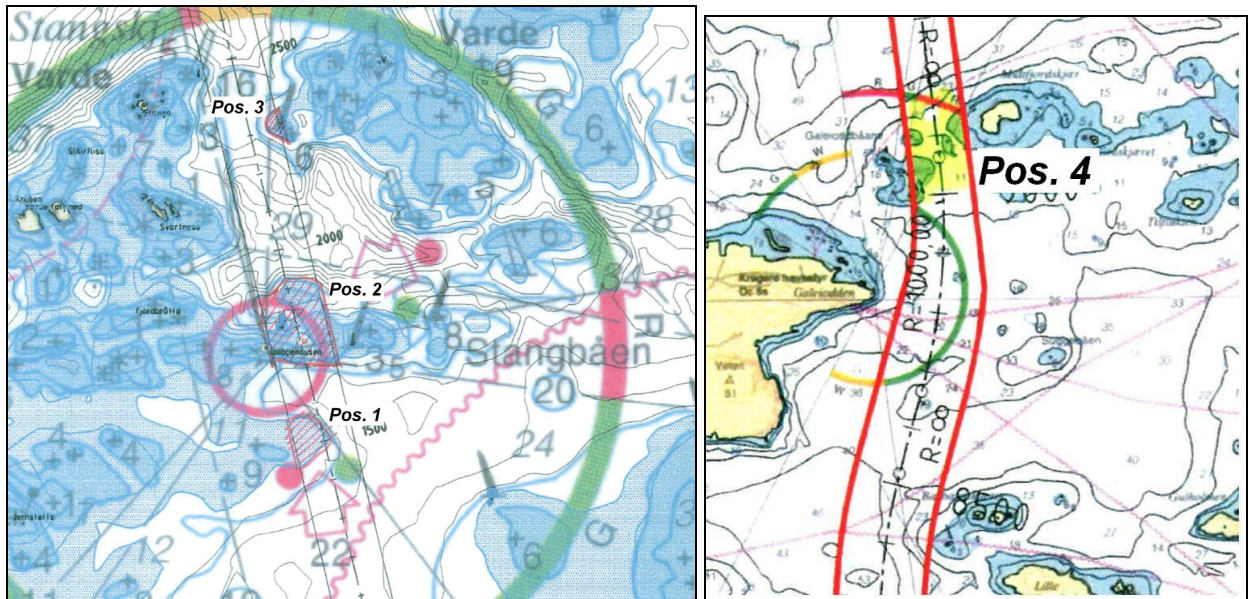
Den foreslåtte farleia til Kragerø havn er vist i Figur 1. Fire posisjoner er avmerket som grunner som må mudres/sprenges. Tre av disse (Pos. 1 – 3) ligger nær Knubbehausen fyr, mens den siste (Pos. 4) er nærmere Kragerø sentrum (ved Øya):

- Pos. 1: **Grunne sør for Knubbehausen fyr.** Grunt parti mellom 10 og 15 m dyp. Halvsirkelformet utdypning med radius på 60 – 70 m.
- Pos. 2: **Knubbehausen fyr.** Større grunne med flere undersjøiske knauser. Vel 200 m langt parti over hele bredden på 150 m.
- Pos. 3: **Vestre Fjordbåen.** Grunt, halvsirkelformet parti med radius på ca 40 m.
- Pos. 4: **Grunner mellom Midtfjordskjæret og Galeiodden på Øya.** Flere mindre grunner (knauser) mellom 1 og 10 m dyp.

## Strømkrefter

Effekten av en utdypning har sammenheng med hvilke drivkrefter som dominerer strømbildet. Utenfor Knubbehausen fyr er det åpent hav, mens snittet Midtfjordskjæret – Øya (Pos. 4) er betydelig mer skjermet. Ved den indre stasjonen kan det forventes en utgående overflatestrøm som følge av tilrenning fra elver innenfor. Dette gir en utoverrettet brakkvannsstrøm i

overflatelaget som river med seg omkringliggende vann og dermed øker i volum utover. Medrivningen kompenseres av en innoverrettet kompensasjonsstrøm under brakkvannslaget. Det samlede strømmønsteret kalles estuarin sirkulasjon.



Figur 1. Utsnitt av foreslått ny farlei til Kragerø havn. Nødvendige utdypningsområder ved Knubbehausen fyr (til venstre, Pos. 1-3) og mellom Øya og Midtfjordskjæret (til høyre, Pos. 4).

Ved Knubbehausen fyr er strømforholdene mer sammensatt. Her er strømmen en kombinasjon av elvetilrenningen, vindforhold og Kyststrømmen samt utenforliggende strømmer som kommer inn fra det åpne havområdet utenfor. Ved vedvarende sterk sørvestlig vind, kan det oppstå oppstuvning innover Skagerrak. Når vinden løyer eller skifter retning, vil oppstuvningen slippe, og det oppstår en kraftig men relativt kortvarig strømpuls i Kyststrømmen. Strømhastigheten i disse utbruddene overstiger gjerne 1 m/s (2 knop). Kyststrømmen følger Sørlandskysten mot sørvest i dette området.

Det er rimelig å anta at vannmassene inne ved Øya er sjiktet med et øvre brakkvannslag med tykkelse på anslagsvis et par meter. Det betyr at de utdypningene som det er snakk om ved denne posisjonen (Pos. 4), stort sett vil finne sted under sprangsjiktet der strømmen i hovedsak er rettet inn fjorden. Kompensasjonsstrømmen i dette laget har en vesentlig svakere fart enn brakkvannsstrømmen ovenfor, typisk av størrelsesorden 10 %. Er utstrømningen i brakkvannslaget 1 knop (50 cm/s), er altså kompensasjonsstrømmen av størrelsesorden 5 cm/s eller mindre.

Ute ved Knubbehausen fyr er vannmassene mer blandet og homogenisert. Strømmen er her mer uniform og dybdekonstant, og en utdypning vil påvirke strømmen i hele vannsøylen.

Midlere tidevannsforskjell er 22 cm utenfor Kragerø. Det betyr at den rene tidevannsstrømmen ikke blir så sterk at den får nevneverdig betydning for det totale strømbildet.

## Endringer i strømforholdene

Det dominerende strømmønsteret i de aktuelle områdene er altså den estuarine sirkulasjonen med utstrømning i det øvre brakkvannslaget og innstrømning under dette. En studie av fjordsystemet utenfor Kragerø gir ikke grunn til å tro at strømmønsteret vil foretrekke andre veier; det vil stort sett strømme slik det gjør i dag.

Ved ei naturlig innsnevring eller oppgrunning (terskel, båe) akselererer strømmen mot innsnevringen slik at vannstanden avtar. Vannstandsspranget,  $\Delta\eta$ , som utvikler seg kan uttrykkes gjennom akselerasjonen,  $\Delta u$ , i Bernoullis likning:

$$\Delta\eta = \frac{(\Delta u)^2}{2g}$$

Friksjon, særlig mot bunnen, vil bremse strømmen. Friksjonskrafta blir balansert av trykkrafta som utvikler seg på grunn av et hellende vannspeil,  $\Delta h$ , gitt ved

$$\Delta h = \frac{\tau BL}{\rho gA}$$

der  $\tau$  = friksjonsstresset  
 $B$  = sundets bredde  
 $L$  = sundets lengde  
 $\rho$  = vannets tetthet  
 $A$  = sundets tverrsnittsareal

Med ei kvadratisk friksjonslov  $\tau = \rho k u^2$  der  $k$  er en friksjonskoeffisient, får vi

$$\Delta h = k u^2 \frac{BL}{gA} \quad \text{eller} \quad u = \sqrt{\frac{g A \Delta h}{k B L}}$$

Strømhastigheten,  $u$ , er altså en funksjon av de geografiske størrelsene  $B$  (bredde),  $L$  (lengde) og  $A$  (tverrsnittsareal) samt vannstandsforhøvelen,  $\Delta h$ . For å lukke likningssystemet kan vi innføre kontinuitetsloven som sier at volumstrømmen ved innsnevringen (indeks 1) er den samme som ved en hvilken som helst annen plass i sundet (indeks 2):

$$u_1 A_1 = u_2 A_2$$

Dermed kan endringene i strømhastigheten beregnes entydig ut fra endringen i tverrsnittsareal som en mudring/sprengning av bunnmasser vil medføre. Problemet er imidlertid at de endringene det er snakk om, relativt sett er så små at usikkerheten i anslagene for de geografiske parameterne vil medføre en usikkerhet i resultatet som vil være større enn selve resultatet.

Vi har derfor valgt å benytte en enklere betraktning som til tross for at den også er usikker, er konservativ. Vi antar at volumstrømmen før utdypning er lik volumstrømmen etter utdypning, med andre ord at  $(uA)_{\text{før}} = (uA)_{\text{etter}}$ . Det gir

$$u_{etter} = \frac{A_{før}}{A_{etter}} u_{før}$$

Estimater av strømmens tverrsnittsareal ved Knubbehausen fyr er usikre fordi verdiene vil være avhengig av strømmens retning. Størst endring kan forventes når strømmen følger den utdyppte farleia, og det er for denne retningen at beregningene i tabellen nedenfor er gyldig. Strømmer med en annen retning vil ha mindre endringer, til dels vesentlig mindre endringer.

Basert på planimeter er følgende estimater av tverrsnittsarealer beregnet:

Posisjon	Navn	$A_{før}$	$A_{etter}$	$U_{etter}/U_{før}$
2	Knubbehausen fyr <sup>1</sup>	3 920 m <sup>2</sup>	4 590 m <sup>2</sup>	85 %
4	Midtfjordskjæret - Øya	3 010 m <sup>2</sup>	3 200 m <sup>2</sup>	94 %

-----  
 1 Beregningene gjelder for strøm langs farleia. For andre strømretninger er endringene mindre

For de to øvrige utdypningene (Pos. 1 og 3) er de forventede endringene i strømforholdene neglisjerbare. Forventet strømhastighet etter utdypning er altså beregnet til 85 % av strømhastigheten i dag ved Knubbeskjæret fyr og 95 % i snittet Midtfjordskjæret - Øya. Som nevnt er dette et konservativt estimat der usikkerheten i de geografiske parameterne er til dels betydelig. Med den nøyaktigheten vi da opererer med er det riktig å konkludere som følger:

## Konklusjon

Den planlagte utdypningen ved Knubbehausen fyr (Pos. 4) ved endring av farlei til Kragerø havn vil medføre at strømmen her blir mer rettlinjert og avtar med opp mot 15 % lokalt ved utdypningspunktet. Utdypningen i snittet Midtfjordskjæret – Øya vil medføre en beregnet strømreduksjon lokalt på 5 %. Ved de to øvrige utdypningene (Pos. 1 og 3) er de forventede endringene i strømforholdene neglisjerbare.

# Kontroll- og referanseside/ Review and reference page



<b>Dokumentinformasjon/Document information</b>					
<b>Dokumenttittel/Document title</b> Kystverket – Undersøkelser i farlei til Kragerø - Geofysisk og miljøteknisk undersøkelse				<b>Dokument nr/Document No.</b> 20091075-00	
<b>Dokumenttype/Type of document</b>		<b>Distribusjon/Distribution</b>		<b>Dato/Date</b> 10. juni 2009	
<input checked="" type="checkbox"/> Rapport/Report		<input type="checkbox"/> Fri/Unlimited		<b>Rev.nr./Rev.No.</b> 0	
<input type="checkbox"/> Teknisk notat/Technical Note		<input checked="" type="checkbox"/> Begrenset/Limited			
		<input type="checkbox"/> Ingen/None			
<b>Oppdragsgiver/Client</b> Kystverket Sørøst og Dr. Techn. Olav Olsen AS					
<b>Emneord/Keywords</b> coast, dredging, environmental geotechnology, geophysics, refraction seismic, sampling, sea bed					
<b>Stedfesting/Geographical information</b>					
<b>Land, fylke/Country, County</b> Aust Agder				<b>Havområde/Offshore area</b>	
<b>Kommune/Municipality</b> Telemark				<b>Felt navn/Field name</b>	
<b>Sted/Location</b> Farlei til Kragerø				<b>Sted/Location</b>	
<b>Kartblad/Map</b>				<b>Felt, blokknr./Field, Block No.</b>	
<b>UTM-koordinater/UTM-coordinates</b>					
<b>Dokumentkontroll/Document control</b>					
<b>Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001</b>					
<b>Rev./Rev.</b>	<b>Revisjonsgrunnlag/Reason for revision</b>	<b>Egen-kontroll/ Self review av/by:</b>	<b>Sidemanns-kontroll/ Colleague review av/by:</b>	<b>Uavhengig kontroll/ Independent review av/by:</b>	<b>Tverrfaglig kontroll/ Inter-disciplinary review av/by:</b>
0	Originaldokument	SNa	PIC		
<b>Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release</b>		<b>Dato/Date</b>		<b>Sign. Prosjektleder/Project Manager</b>	
				Paul Sverdrup Cappelen	

NGI (Norges Geotekniske Institutt) er et internasjonalt ledende senter for forskning og rådgivning innen geofagene. Vi utvikler optimale løsninger for samfunnet, og tilbyr ekspertise om jord, berg og snø og deres påvirkning på miljøet, konstruksjoner og anlegg.

Vi arbeider i følgende markeder: olje, gass og energi, bygg, anlegg og samferdsel, naturskade og miljøteknologi. NGI er en privat stiftelse med kontor og laboratorier i Oslo, avdelingskontor i Trondheim og datterselskap i Houston, Texas, USA.

NGI ble utnevnt til "Senter for fremragende forskning" (SFF) i 2002 og leder "International Centre for Geohazards" (ICG).

[www.ngi.no](http://www.ngi.no)

NGI (Norwegian Geotechnical Institute) is a leading international centre for research and consulting in the geosciences. NGI develops optimum solutions for society, and offers expertise on the behaviour of soil, rock and snow and their interaction with the natural and built environment.

NGI works within the oil, gas and energy, building and construction, transportation, natural hazards and environment sectors. NGI is a private foundation with office and laboratory in Oslo, branch office in Trondheim and daughter company in Houston, Texas, USA.

NGI was awarded Centre of Excellence status in 2002 and leads the International Centre for Geohazards (ICG).

[www.ngi.no](http://www.ngi.no)



Hovedkontor/Main office:  
PO Box 3930 Ullevål Stadion  
NO-0806 Oslo  
Norway

Besøksadresse/Street address:  
Sognsveien 72, NO-0855 Oslo

Avd Trondheim/Trondheim office:  
PO Box 1230 Pirsenteret  
NO-7462 Trondheim  
Norway

Besøksadresse/Street address:  
Pirsenteret, Havnegata 9, NO-7010 Trondheim

T: (+47) 22 02 30 00  
F: (+47) 22 23 04 48

[ngi@ngi.no](mailto:ngi@ngi.no)  
[www.ngi.no](http://www.ngi.no)

Kontonr 5096 05 01281/IBAN NO26 5096 0501 281  
Org. nr./Company No.: 958 254 318 MVA

BSI EN ISO 9001  
Sertifisert av/Certified by BSI, Reg. No. FS 32989

