



Rapport / Report

Kvikkleirekartlegging kartblad Snåsa

ERT-målinger, Snåsa

20110935-03-R
20. juni 2013
Rev. nr.: 1 / 5. februar 2014

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 tredjemann 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: Kvikkleirekartlegging kartblad Snåsa
Dokumenttittel: ERT-målinger, Snåsa
Dokumentnr.: 20110935-03-R
Dato: 20. juni 2013
Rev. nr./rev. dato: 1/ 21. januar 2014

Hovedkontor:
Pb. 3930 Ullevål Stadion
0806 Oslo

Avd Trondheim:
Pb. 1230 Sluppen
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
www.ngi.no

Oppdragsgiver

Oppdragsgiver: NVE
Kontaktperson: Trude Nyheim
Kontraktreferanse: Avtaledokument datert 3/7-12

For NGI

Prosjektleder: Trond Vernang
Utarbeidet av: Helgard Anschütz og Trond Vernang
Kontrollert av: Sara Bazin, Andreas A. Pfaffhuber og Bjørn Kalsnes

Sammendrag

NGI har på oppdrag fra Norges Vassdrags- og energidirektorat (NVE) utført kvikkleirekartlegging med hensyn på store kvikkleireskred i Snåsa m/omland.

I forbindelse med kvikkleirekartlegging i Snåsa er det utført ERT (electrical resistivity tomography) langs syv utvalgte profiler på Våg og Jørstad i Snåsa, Nord-Trøndelag. Denne rapporten gir detaljert beskrivelse av de utførte målingene, samt tolkning av dataene. Sammenligning med R-CPTU-data er gjort kvalitativt i denne rapporten.

Resultatene av profilene på Jørstad ser ut til å identifisere tre lag, som antas å være tørrskorpeleire, kvikkleire og materiale med høyere resistivitet. Profilene P1, P2, P3 og P4 på Jørstad indikerer et tykt leirlag som blir tynnere mot øst og nord.

På Våg indikerer profilene P5, P6, og P7 gjennomgående høyere resistivitet. Nær overflaten er det trolig lommer med leire og muligens ikke sammenhengende lag med sensitiv leire/kvikkleire.

Innhold

1	Innledning	5
2	Kort om ERT	5
3	Oversikt over utførte ERT-målinger	6
4	ERT-målinger, Jørstad	10
4.1	Profil 1	10
4.2	Profil 2	10
4.3	Profil 3	10
4.4	Profil 4	11
5	ERT-målinger, Våg	11
5.1	Profil 5	11
5.2	Profil 6	11
5.3	Profil 7	12
6	Datamodell og vurderingsgrunnlag	12
7	Resultater og tolkning, Jørstad	12
7.1	Profil 1	14
7.2	Profil 2	14
7.3	Profil 3	15
7.4	Profil 4	15
8	Resultater og tolkning, Våg	15
8.1	Profil 5	16
8.2	Profil 6	17
8.3	Profil 7	17
9	Vurdering	17
10	Referanser	18

Figurer

Figur A1	Profil 1, Jørstad
Figur A2	Profil 2, Jørstad
Figur A3	Profil 3, Jørstad
Figur A4	Profil 4, Jørstad
Figur A5a	Profil 5, Våg
Figur A5b	Profil 5, Våg
Figur A6a	Profil 6, Våg
Figur A6b	Profil 6, Våg
Figur A7a	Profil 7, Våg
Figur A7b	Profil 7, Våg

Kontroll- og referanseside

1 Innledning

Denne rapporten gir en oversikt over utførte feltmålinger med ERT (electrical resistivity tomography) i to utvalgte områder i Snåsa, henholdsvis på Jørstad og på Våg, se oversiktskart i Figur 1, samt Figur 2 og Figur 3 for detaljer.

Kartleggingen av kvikkleiresoner på kartbladet Grana-Jørstadelva i målestokk 1:20.000 inngår som en del av det landsomfattende arbeidet med å kartlegge skredfarlige kvikkleireområder i Norge. Grunnlag for metodikk og grunnundersøkellesdata benyttet i denne rapporten er beskrevet i ref. /1/ og /2/.



Figur 1: Oversiktskart over kartlagte områder i Snåsa. ERT-profiler på Jørstad (vestre) og Våg (østre). De lilla linjene viser de utførte ERT-profilene.

Målet med ERT-målingene har vært å kartlegge eventuell forekomst og utbredelse av kvikkleire. Denne rapporten beskriver de generelle undersøkelsesmetodene som er brukt, samt prosessering av resultatene. Detaljerte instrumenteringsdata er utarbeidet for intern bruk, og er tilgjengelig for kunden på forespørsel. En første tolkning av ERT-resultatene er beskrevet i denne rapporten samt en kvalitativ sammenligning med R-CPTU-dataene i nærheten av profilene.

Vi gjør oppmerksom på at en mer detaljert sammenligning med R-CPTU-dataene eller geotekniske undersøkelser er utenfor kostnadsrammen av dette oppdraget. Det samme gjelder for en fremstilling i form av et kvasi-3D-kart.

2 Kort om ERT

Grunnlaget for resistivitetskartlegginger er naturlige forskjeller i ledningsevne i jordsmonn og berggrunn. På grunnlag av tidligere målt resistivitet i leirer kan det til en viss grad differensieres mellom salte leirer og leirer med lavt saltinnhold.

2D resistivitetsmålinger er en overflatebasert metode for å finne resistivitetsfordeling i bakken under en linje med elektroder. Feltdata prosesseres i en inversjonsrutine hvor det søkes en modell som samsvarer med målepunktene. Inversjonen resulterer i en 2D modell av resistivitetsfordeling i grunnen. Kvaliteten og tolkningsmulighetene av modellene (ERT-profil) avhenger av en rekke forhold.

I prosjektet er det også benyttet R-CPTU-sondering (trykksonderingssonde med kontinuerlig måling av poretrykk og resistivitet). En resistivitetssonde kan måle kontinuerlige punktdata for resistivitet langs en borestreng ved CPTU-sonderinger.

Generelt kan 1D-dataene (R-CPTU) benyttes både som en ekstra parameter for tolkning av kvikkleire ved CPTU, og som støtte i tolkning av ERT-profiler. Det er også mulig å benytte informasjon om 1D-forhold i inversjon av 2D-data. Dette er i midlertid ikke gjort her ettersom det er utenfor kostnadsrammen av dette prosjektet.

I sammenligning/tolkning av ERT- og R-CPTU-data må man være oppmerksom på at influensområdet er svært forskjellig: ERT-data gir informasjon og midler over et større området, mens R-CPTU gir bare informasjon i borpunktet. Dessuten ligger noen av borpunktene et stykke fra ERT-profilene, som kan resultere i forskjellige resistivitetsverdier. Dette er diskutert mer detaljert ved beskrivelse av de enkelte profilene nedenfor.

3 Oversikt over utførte ERT-målinger

Generell informasjon om ERT-målinger er gitt i Tabell 1. Profil P1, P2, P3 og P4 ble utført på Jørstad langs Jørstadelva og P5, P6 og P7 på Våg langs elven Grana. En elektrodeavstand på 5 m ble benyttet for alle profilene hvilket gir en maksimal undersøkelsesdybde på 70-80 m.

Tabell 1: ERT-målinger i Snåsa

GENERELL INFORMASJON			
Profil	Dato	Personell	Værforhold
P1	29.10.2012	HAn, HI, VB 1), 2), 3)	Kaldt (ca. -6°C), overskyet med noe solskinn
P2	29.10.2012	HAn, HI, VB	Se P1
P3	30.10.2012	HAn, HI, VB	Like under null grader, overskyet, lett snøfall
P4	30.10.2012	HAn, HI, VB	Se P3
P5	31.10.2012	HAn, HI, VB	Solskinn, minusgrader
P6	31.10.2012	HAn, HI, VB	Se P5
P7	1.11.2012	HAn, HI, VB	Noe skyer, litt solskinn, litt vind, rundt null grader

- 1) HAn - Helgard Anschütz
- 2) HI - Harald Iwe
- 3) VB – Vibeke Brandvold

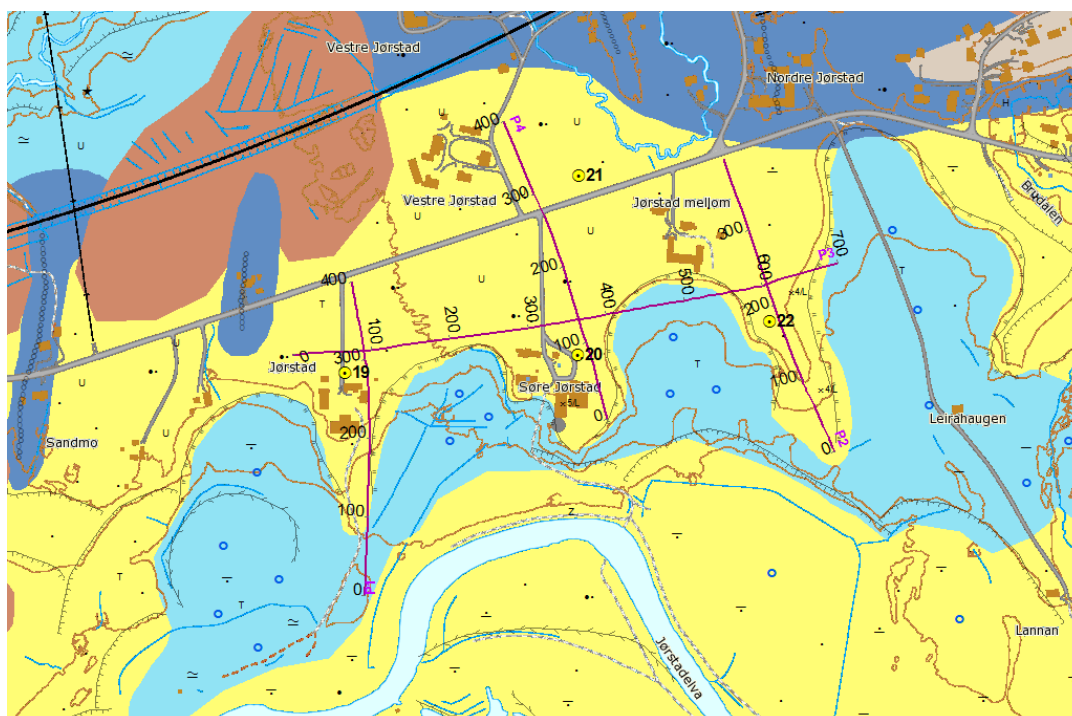
I tillegg til de utførte ERT-målinger er profilene innmål med GPS for å få best mulig grunnlag for bedømmelse av lagdelingen i grunnen. Informasjon fra GPS-målingene er gitt i Tabell 2.

Tabell 2: GPS-målinger

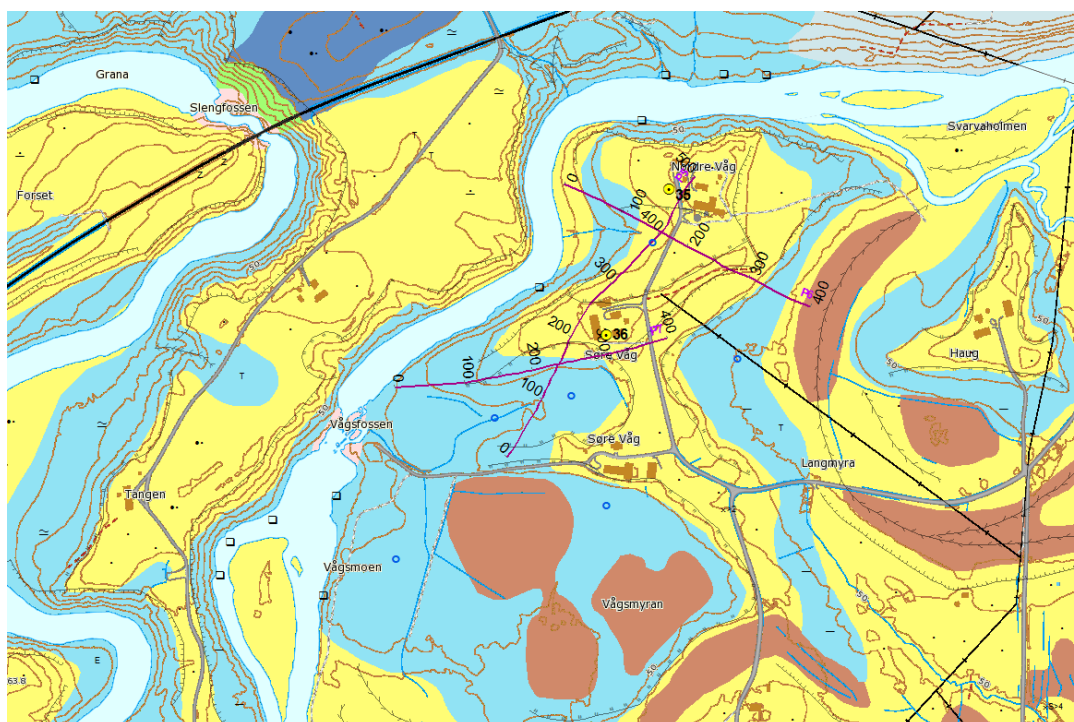
GPS	PERSONELL	ANTENNEHØYDE	PROFIL	ORIENTERING
Trimble	HAn 1)	1.10 m	P1	N-S, som ERT
Trimble	HAn	1.10 m	P2	N-S, som ERT
Trimble	HAn, VB 3)	1.10 m	P3	V-Ø, som ERT
Trimble	HAn, VB	1.10 m	P4	S-N, som ERT
Trimble	HAn	1.10 m	P5	S-N, som ERT
Trimble	HAn, HI 2)	1.10 m	P6	V-Ø, som ERT
Trimble	HAn, VB	1.10 m	P7	V-Ø, som ERT

- 1) HAn - Helgard Anschütz
- 2) HI - Harald Iwe
- 3) VB – Vibeke Brandvold

GPS-utstyret benyttet til målingene er; dGPS Trimble GeoXH Pro og ble brukt i alle profilene. For profil P7 kunne ikke sanntids korreksjon oppnås på grunn av dårlig dekning for den eksterne kilden. Korreksjonen er dermed satt til intern SBAS hvilket medfører at nøyaktigheten blir noe mindre. Beliggenheten av ERT-profilene er vist i Figur 2 og 3.



Figur 2: ERT-profiler på Jørstad. De lilla linjene (P1-P4) viser beliggenheten av de utførte ERT-profilene. Tallene 19-22 indikerer plassering av borpunkter.

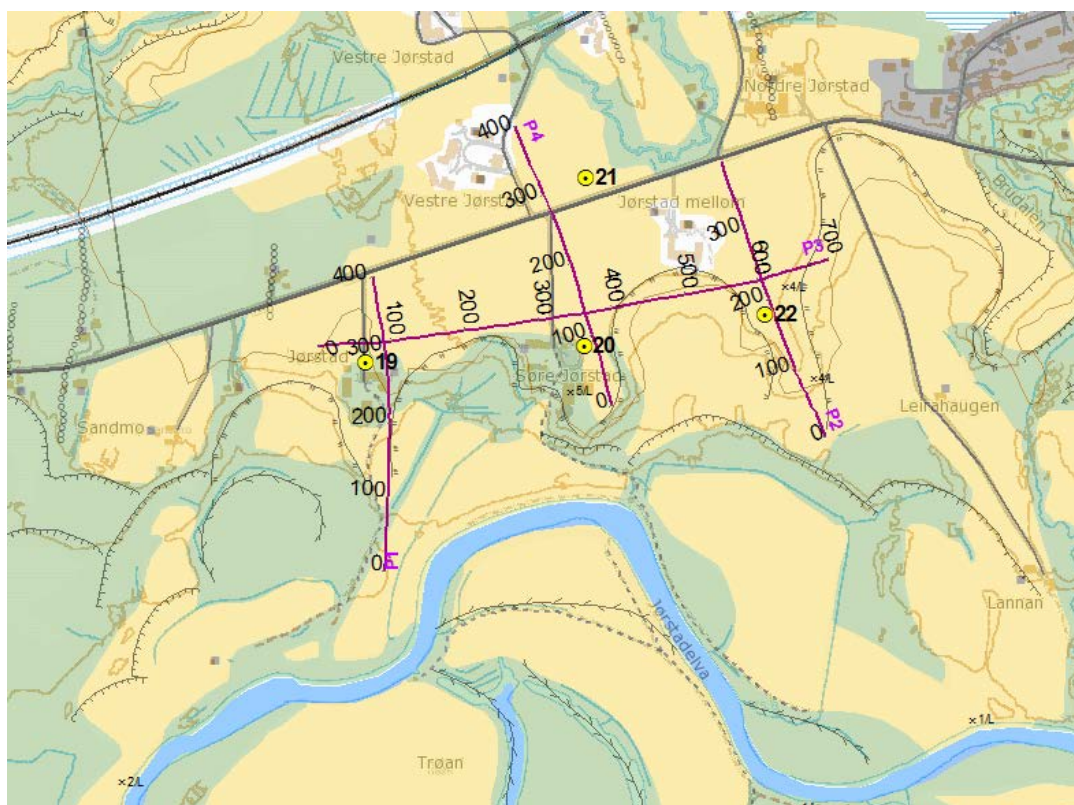


Figur 3: ERT-profiler på Våg. De lilla linjene (P5-P7) viser beliggenheten av de utførte ERT-profilene. Tallene 35 og 36 indikerer plassering av borpunkter.

For sammenligning med R-CPTU-sonderingene, er beliggenhet av ERT-profilene og de respektive sonderingene fra Jørstad vist i Figur 4, og fra Våg, Figur 5. En oversikt over avstanden fra ERT-profilene (profilenes x-verdi) til R-CPTU-sonderingene er gitt i Tabell 3.

Tabell 3: Oversikt over R-CPTU-sonderingene og beliggenheten i forhold til ERT-profilene.

Profil	R-CPTU	x-verdi (langs profilene), m	Avstand, m
P1	19	284	26
P2	22	181	10
P3	19	68	26
P3	20	358	44
P3	22	600	47
P4	20	88	14
P4	21	295	63
P5	35	468	18
P5	36	229	46
P6	35	139	59
P7	36	318	26



Figur 4: Beliggenhet av R-CPTU-sonderingene i forhold til de utførte ERT-profilene på Jørstad.



Figur 5: Beliggenhet av R-CPTU-sonderingene i forhold til de utførte ERT-profilene på Våg.

4 ERT-målinger, Jørstad

4.1 Profil 1

Profil 1 går fra sørsiden av Fylkesvei 763 og sørover. Profilet krysser Jørstad gård på østsiden og går deretter ned mot Jørstadelva. Alle elektroder ble plassert i jord. GPS-koordinater for start og slutt punkt er vist i Tabell 3.

Z-verdien (høyde) er gitt ved å subtrahere antennehøyden (se Tabell 2) og en verdi på 36,83 (høyde over geoiden) fra den målte GPS høyde for å innhente eksakt høyde over havet (moh.).

Ved påfølgende prosessering, ble retningen på profilet reversert slik at i Tabell 4 merket "0 m" refereres det til den sørlige enden av profilet og 400 m til den nordlige enden. Dette ble gjort for å ha konsistent fremstilling av alle profilene fra henholdsvis sør til nord eller vest til øst.

Tabell 4: GPS-koordinater for profil 1 (UTM-33)

0 m	X 365469,8	Y 7121976,44	Z 29,11 m
400 m	X 365453,33	Y 7122372	Z 42,72 m

4.2 Profil 2

Som profil 1, startet også profil 2 på sørsiden av Fylkesvei 763 og gikk sørover mot Jørstadelva. Alle elektroder ble plassert i jord. GPS-koordinatene er gitt i Tabell 5.

Ved påfølgende prosessering, ble retningen på profilet reversert slik at i Tabell 5 merket "0 m" refereres det til den sørlige enden av profilet og 395 m til den nordlige enden.

Tabell 5: GPS-koordinater for profil 2 (UTM-33)

0 m	X 366062,36	Y 7122157,7	Z 36,06 m
395 m	X 365922,43	Y 7122526,83	Z 47,03 m

4.3 Profil 3

Profil 3 gikk fra vest mot øst over jordene nord for gårdene på Jørstad. Alle elektrodene ble plassert i jord, men to mindre innkjørsler til gårdene måtte krysses. GPS-koordinatene er gitt i Tabell 6.

Tabell 6: GPS-koordinater for profil 3 (UTM-33)

0 m	X 365378,63	Y 7122279,38	Z 40,54 m
700 m	X 366066,48	Y 7122395,85	Z 40,43 m

4.4 Profil 4

Profil 4 startet på østsiden av gården Søre Jørstad, gikk nordover og krysset Fylkesvei 763. Alle elektroder ble plassert i jord, men to elektroder ble koblet ut der profilet krysset fylkesveien. Dette profilet var tilnærmet flatt. GPS-koordinatene er gitt i Tabell 7.

Tabell 7: GPS-koordinater for profil 4 (UTM-33)

0 m	X 365775,08	Y 7122199,08	Z 45,73 m
400 m	X 365644,61	Y 7122574,76	Z 46,37 m

5 ERT-målinger, Våg

5.1 Profil 5

Profil 5 startet like nord for oppkjørselen til gården Søre Våg og gikk nordover mot skogen, krysset oppkjørselen til den nordligste våningshuset på gården Nordre Våg. Alle elektroder ble plassert i jord. GPS-koordinatene er gitt i Tabell 8.

Tabell 8: GPS-koordinater for profil 5 (UTM-33)

0 m	X 371375,66	Y 7125489,05	Z 48,79 m
500 m	X 371644,82	Y 7125890,28	Z 64,75 m

5.2 Profil 6

Profil 6 startet nær Jørstadelva vest for Nordre Våg og gikk østover, krysset oppkjørselen til Nordre Våg gård og videre mot en liten, skogkledd ås. GPS-koordinatene er gitt i Tabell 9.

Tabell 9: GPS-koordinater for profil 6 (UTM-33)

0 m	X 371457,71	Y 7125880,2	Z 44,0 m
400 m	X 371811,34	Y 7125704,96	Z 42,12 m

5.3 Profil 7

Profil 7 startet ved Jørstadelva og gikk østover hvor det krysset en liten grøft og adkomstveien mot Nordre Våg. GPS-koordinatene er gitt i Tabell 10.

Tabell 10: GPS-koordinater for profil 7 (UTM-33)

0 m	X 371214,94	Y 7125588,26	Z 43,5 m
400 m	X 371606,03	Y 7125659,11	Z 56,63 m

6 Datamodell og vurderingsgrunnlag

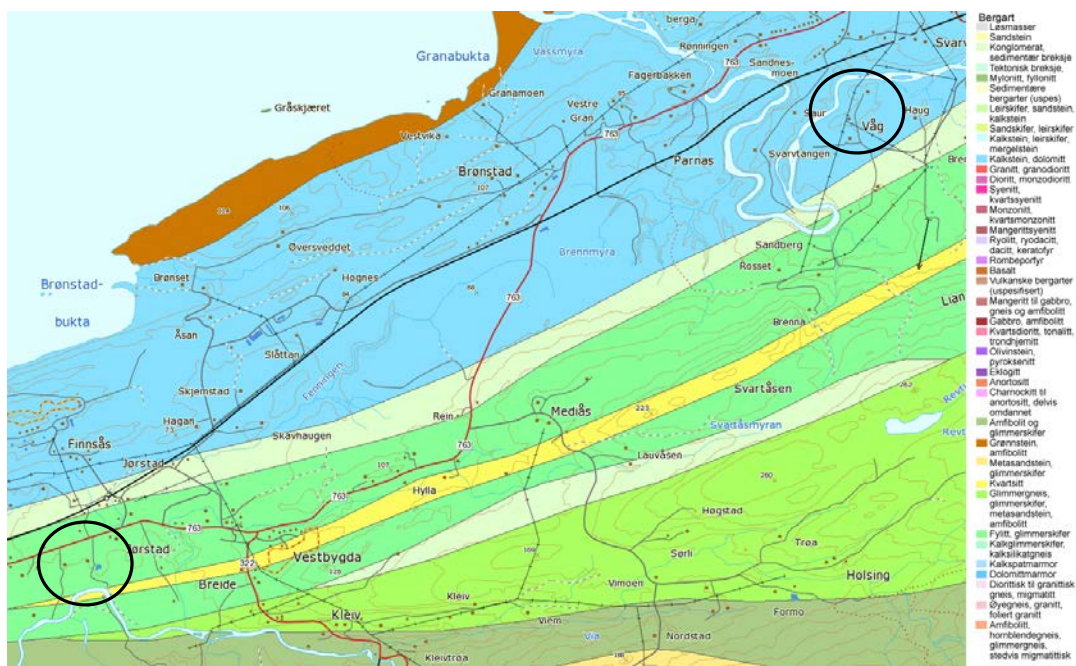
Rådataene ble invertert med programvaren Res2DInv for å ivareta modellens resistivitetsfordeling. Følgende opsjoner ble valgt for inversjon:

- En halv celleavstand.
- Inversjon med reduserte sideblokkeffekter.
- Inversjon ble stanset på iterasjon 7.
- Topografi langs profilene ble hensyntatt.
- Den samme fargeskalaen ble brukt for alle profiler. For Profilene P5, P6 og P7 ble også en annen fargeskala benyttet, for bedre å kunne avgrense mulig kvikkleire.
Disse tre profilene er vist i Figur A5 – A7 med begge fargeskalaene.
- Et vertikal-horisontalforhold på 0,5 ble benyttet for å forsterke de horisontale strukturene i grunnen.
- Iterasjonstallet som viser de "beste" resultatene ble plukket etter nøye gjennomsyn av alle 7 iterasjoner for hvert profil.

Resultatene er vist i Figur A1-A7. Kun de utvalgte resistivetsmodellene er vist og tolkninger er basert på eksisterende data gitt i de følgende avsnittene.

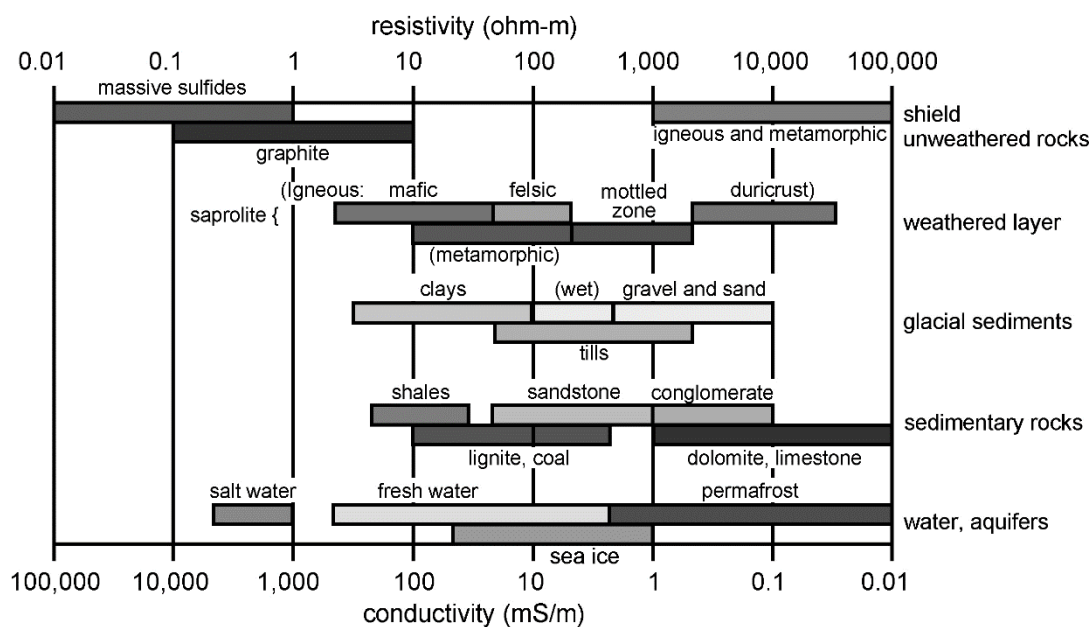
7 Resultater og tolkning, Jørstad

Berggrunnen på Jørstad er ifølge NGUs berggrunnsgeologiske kart vurdert å være glimmerskifer og fyllitt. Se Figur 6. Resistivetsverdiene for skifer kan være forholdsvis høye, men innslag av fyllitt kan gi lavere verdier.



Figur 6: Utsnitt av berggrunnsgeologisk kart fra NGU, (www.ngu.no). Beliggenhet av ERT-profilene på Jørstad og Våg er innringet.

ERT-målingene viser et lag med høyere resistivitet under leirlagene på profilene.



Figur 7: Resistivitet for forskjellige typer materiale (Palacky, 1987).

Generelt viser sammenstilling mellom R-CPTU og ERT 1D-profilene god overensstemmelse, men på økende dyp er korrelasjonen noe mer uklar. En sammenligning med de enkelte R-CPTU-dataene er gitt nedenfor for hvert ERT-profil. Det gjøres oppmerksom på at ikke alle R-CPTU-ene ligger rett ved eller på et

ERT-profil og avstand mellom ERT og R-CPTU kan være en mulig årsak til forskjell mellom dataene. ERT-målingene blir trolig påvirket av dypere lag med høyere resistivitet, hvilket sannsynligvis skyldes berggrunnen i området. Ettersom inversjonen ikke kan detektere en skarp grense, lager den en jevn gradient mot berggrunnens overflate.

Alle de fire profilene på Jørstad viser en lignende lagdeling med tre forskjellige lag. Øverst ligger et topplag med høyere resistivitet, bestående av tørrskorpe. Ut fra kvartærgeologisk kart kan deler av dette laget være elveavsetninger. Under dette laget er det et lag med leire/kvikkleire som også er identifisert med konvensjonelle grunnundersøkelser. Det dypeste laget viser høyere resistivitet som kan passe med berggrunn i området.

7.1 Profil 1

Profil 1 er vist i Figur A1. Topplaget (tørrskorpe) har en tykkelse på ca. 3-10 m og laget med leire/kvikkleire har ca. 30 m tykkelse.

Det mulige kvikkleirelaget er skissert med den stiplede svarte linjen i Figur A1. I den sørlige enden av profilet viser dette laget svært lave motstander, også lavere enn det faktiske området for kvikkleire (10-80 Ω m, Solberg et al., 2008). Disse områdene (mørke blå farger i Figur A1) er sannsynligvis ikke sensitiv leire. Den nøyaktige grense mellom sensitiv og ikke sensitiv leire er imidlertid vanskelig å avgjøre, og det er trolig en gradvis overgang mellom de to typene. Ved en eventuelt detaljert utredning av Jørstadorrådet anbefales det å utføre grunnundersøkelser i det "høye"-resistivetsområde for å eventuelt avgrense kvikkleiren.

Figur A1 viser også verdiene for R-CPTU-sondering nr. 19 og de korresponderende ERT-opplysningene. De er forholdsvis harmoniserende, både for den generelle trenden med dybde og de faktisk målte verdiene.

7.2 Profil 2

Profil 2 er vist i Figur A2. Her starter det midterste laget (leire/kvikkleire) ca. 5-8 m under terreng og tynnes litt mot nord. Dette er vist ved den stiplede sorte linjen i Figur A2. Laget synes å være avgrenset av avsetninger bestående av materiale med høyere resistivitet i intervallet mellom ca. 170-190 m. I tillegg er det en ny avgrensning mellom 215-225 m (nær der profil P3 krysser). Dette kan imidlertid være to kontinuerlige lag med litt varierende tykkelse. Det er også mulig at det er et kontinuerlig lag som tynner ut på disse stedene og derfor ikke blir fremstilt som sammenhengende, av inversjonsrutinen. Ettersom det er uklart om det er et sammenhengende lag eller flere forskjellige lag, er det markert med spørsmålsteget i Figur A2. Det er også mulig at berggrunnens topografi gir utslag i målingene her.

Figur A2 viser sammenligning mellom R-CPTU-sondering fra borehull 22 og de tilsvarende data fra ERT-profil P2. Den generelle trenden er omtrent den samme for

både ERT og R-CPTU-dataene, og verdiene samstemmer rimelig godt med ERT-målinger som viser høyere resistivitet dypere enn 15 m under terreng.

7.3 Profil 3

Profil 3 er vist i Figur A3. Det midtre laget er sannsynlig sammensatt av sensitiv leire/kvikkleire og er skissert med stiplet sort linje i Figur A3. Dette laget er vist med grønne farger og kiler ut mot øst. Laget er opp til 25-30 m tykk og starter 5-10 meter under terreng.

Det er tre stk. R-CPTU-sonderinger som ligger i nærheten av profil P3. De er også vist i Figur A3 sammen med de tilhørende ERT-målingene. For R-CPTU-sondering nr. 19, stemmer målingene godt overens med ERT-målingene, både for den generelle trenden og de faktisk målte verdiene.

R-CPTU-sondering nr. 20 stemmer også godt overens med ERT-målingene. ERT-målingene viser en økning i dybden som ikke dekkes av R-CPTU-sonderingen. Dette er trolig en effekt av berg med høy resistivitet. Her er det også viktig å notere seg at denne R-CPTU-sonderingen ligger 44 m unna ERT-profilet.

ERT-målingene indikerer lavere verdier i de øvre 5 meter enn for R-CPTU-sondering nr. 22, men er mer samstemte på økende dybde. Som for nr. 20 ligger også denne sonderingen et stykke fra ERT-profilet.

7.4 Profil 4

Profil 4 er vist i Figur A4. Det midtre laget består igjen trolig av sensitiv leire/kvikkleire og er vist med grønne farger i Figur A4. Det er uklart om dette er et kontinuerlig lag som bare tynner mot nord eller om det kan dreie seg om flere kvikkleirelommer.

Området med høyere resistivitet mellom 275-290 m er nær der profilet krysser Fylkesvei 763, og lokalt kan avsetningene være noe annerledes (for eksempel på grunn av fyllingsmateriale eller lignende). I likhet med P2 kan også denne endringen være et resultat av inversjonsrutinen.

Beliggenheten av kvikkleirelag/lommer mot nord stemmer godt overens med resultatene fra profil 1 og 2.

De resultatene fra alle fire profilene på Jørstad tyder på at laget med sensitiv leire/kvikkleire har en tendens til å bli mektigere mot sør og øst.

8 Resultater og tolkning, Våg

Berggrunnen på Våg er ifølge NGUs berggrunnsgeologiske kart vurdert å være dolomitt. Se Figur 6.

Dolomitt har erfaringsmessig resistivitet $> 1000 \Omega\text{m}$, se Figur 7. ERT-målingene viser et lag med høyere resistivitet under leirlagene på profilene. Sammenlignet med profilene på Jørstad viser profilene på Våg en høyere resistivitet i dybden. Dette samsvarer med forskjell i berggrunn, ettersom dolomitt har en høyere resistivitet enn fyllitt/glimmerskifer.

De tre profilene på Våg viser tynnere lag av lav resistivitet enn profilene på Jørstad. Siden løsmasselaget er relativt tynt på Våg er det utfordrende å tolke selve resistivitetsverdiene som kvikkleira og salt leire. Det ville trolig være mulig med mer avansert tolkning (constrained inversion, ref. /5/) som innebærer tilleggsdata fra for eksempel seismiske undersøkelser, noe som vil avgrense bergoverflaten presist.

Generelt viser sammenstilling mellom R-CPTU og ERT 1D profilene god overensstemmelse, men på økende dyp er korrelasjonen noe mer uklar. ERT-målingene blir påvirket av dypere lag med høyere resistivitet, hvilket trolig skyldes berggrunnen i området. Ettersom inversjonen ikke kan detektere en skarp grense, lager den en jevn gradient mot berggrunnens overflate. Noen av R-CPTU-ene ligger også flere titalls meter unna ERT-profilene noe som kan forklare avvik. Kombinasjonen av grunt fjell og delvis stor avstand mellom profiler og R-CPTUene kan virke å ha gitt dårligere korrelasjon i Våg-målingene.

Profilene på Våg viser gjennomgående høyere resistivitet enn profilene utført på Jørstad. Lavere resistivitet i dybden i noen profiler tyder på en svakhetsone, i samsvar med geologisk kart. Lag/lommer med lav resistivitet er forholdsvis tynne og nær overflaten. Ettersom laget med lavere resistivitet er så tynt, er det vanskelig å skille mellom leire/kvikkleire og annet materiale her. Det er også mulig at det handler om et kontinuerlig lag som bare blir fremstilt diskontinuerlig av inversjonsrutinen på grunn av mindre og varierende tykkelse.

8.1 Profil 5

Profil 5 er vist i Figur A5a og A5b. Målingene indikerer et tynt overflatelag med lav resistivitet og et mektig lag med høy resistivitet under topplaget. Deler av dette laget består trolig av sensitiv leire/kvikkleire, skissert ved den stiplede sorte linjen i Figur A5b. Sensitiv leire/kvikkleire ser ut til å være mektigere ved endene av profilet. Dette kan imidlertid være en kanteffekt av inversjonsalgoritmen. Det kan heller ikke utelukkes at den relativt høye elektriske motstanden i den tynne delen er en inversjonseffekt som diskutert i avsnitt 8.

For enklere sammenligning med profilene 1-4, er profil P5 plottet i samme fargeskala som disse. I tillegg er P5 plottet i en annen fargeskala justert for høyere resistivitet, se Figur A5a. Dessuten er profilet vist i Figur A5b beskåret for å fange opp flere detaljer innenfor de øverste lagene.

ERT-målingene indikerer noe høyere verdier i de øvre 5 meter enn for R-CPTU-sondering nr. 36, men fra 5 meters dybde er de mer samstemte. Borehull 36 ligger 46 m øst for profil P5 og har derved lite betydning.

8.2 *Profil 6*

Profil 6 er vist i Figur A6a, i to forskjellige fargeskalaer, akkurat som P5. Som for P5, er profilet vist i Figur A6b beskåret for å fange opp flere detaljer i de øvre lagene med fargeskala som passer Våg-resultatene. Profil 6 viser et overflatesjikt som i stor grad er sammensatt av avsetning med lav resistivitet og er trolig sensitiv leire/kvikkleire. Dette laget er skissert med stiplet sort linje i Figur A6b. Dette laget er noe mektigere enn tilsvarende lag i profil 5.

Under dette laget er det et mektig lag med høy resistivitet, men det er avbrutt av en lav-resistivitetssone mellom 200-230 m. Den kan i midlertid være en svakhetssone i underliggende berg, noe som stemmer godt overens med det geologiske kartet for området.

Sammenligning mellom ERT-målingene langs profil P6 og data fra R-CPTU-sondering nr. 35 viser god overensstemmelse mellom de to metodene opptil ca. 10 m dybde. ERT-verdiene er imidlertid høyere enn målingene fra R-CPTU-sonderingene, spesielt på økende dybde. Bopunktet er lokalisert 59 m til side for ERT-profilet, og dette kan forklare de ulike verdiene.

8.3 *Profil 7*

Profil 7 er vist i Figur A7a med to fargeskalaer; justert og samme fargeskala som profil P1-P4. Overflatelaget består av avsetning med lav resistivitet, hvorav en del kan være sensitiv leire/kvikkleire stiplet med sort strek i Figur A7a. Det er usikkert om dette faktisk er et sammenhengende lag eller lommer av sensitiv leire/kvikkleire.

Under dette laget er det et mektig lag med høy resistivitet, som i P5 og P6. Det er et lag med lavere resistivitet i dybden, muligens tilknyttet en svakhetssone i underliggende berg.

Som for profil 5 og 6, er profilet vist i Figur A7b beskåret for å fange opp flere detaljer i de øvre lagene.

9 **Vurdering**

2D resistivitetsmålinger er en robust og et rimelig verktøy for detaljert utredning av kvikklireforekomster.

I dette prosjektet (som er et kartleggingsprosjekt) har ERT vært brukt som en "fullskalatest" til å vurdere ERT sin verdi i kvikkleireundersøkelser. Nøkkelverdien av de fleste geofysiske undersøkelser er å skape et mer effektivt geoteknisk undersøkelsesprogram, dvs. En reduksjon av antall boringer og samtidig mer detaljerte resultater. Dette prosjektet klarte ikke fullstendig å vise den egentlig mulige verdien av ERT som kartleggingsverktøy ettersom det var ikke hovedfokus

for prosjektet. Geofysisk tolkning og sammenligning med geoteknikk ble ikke samkjørt optimalt. Selv om sammenligningsgrunnlaget stedvis er mangelfullt kunne det tydelig vises at ERT leverte resultater som er i samsvar med geotekniske undersøkelser.

Når det gjelder regional kartlegging kan helikopter resistivitetsskanning (airborne electromagnetics) være et effektivt første trinn for å få god oversikt over løsmassetykkelse og risiko for kvikkleire. ERT kan da benyttes i utredning for å avgrense kvikkleireforekomster supplert med planlagte boringer.

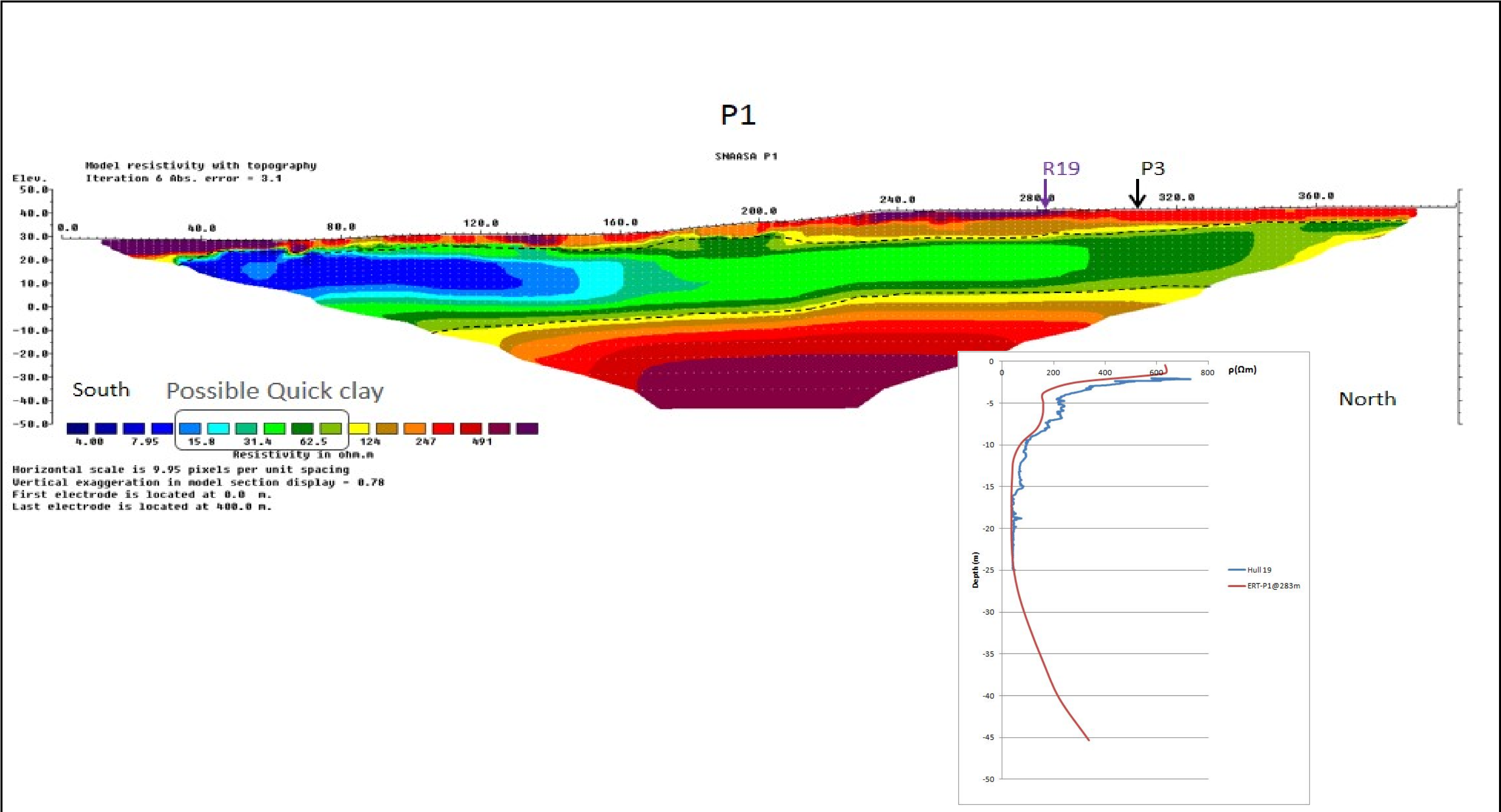
10 Referanser

- /1/ Norges Geotekniske Institutt, 2013. Kvikkleirekartlegging kartblad Snåsa, rapport 20110935-01-R. Risiko for kvikkleireskred, datert 20. juni 2013, revidert 21. januar 2014.
- /2/ Norges Geotekniske Institutt, 2013. Kvikkleirekartlegging kartblad Snåsa, rapport 20110935-02-R. Grunnundersøkelser, datert 20. juni 2013, revidert 5. februar 2014.
- /3/ Palacky, G.J., 1987, Resistivity characteristics of geologic targets. Geosciences Journal, 3, 138–144.
- /4/ Solberg, I.L., Rønning, J.S., Dalsegg, E., Hansen, L., Rokoengen, K., Sandven, R., 2008. Resistivity measurements as a tool for outlining quick clay extent and valley-fill stratigraphy: a feasibility study from Buvika, central Norway. Canadian Geotechnical Journal, 45, 210-225, doi:10.1139/T07-089.
- /5/ Bazin, S., Pfaffhuber, A. A., 2013. Mapping of quick clay by electrical resistivity tomography under structural constraint. Journal of Applied Geophysics, 98, 280-287, doi: 10.1016/j.jappgeo.2013.09.002

Figurer

Innhold

Figur A1	Profil 1, Jørstad
Figur A2	Profil 2, Jørstad
Figur A3	Profil 3, Jørstad
Figur A4	Profil 4, Jørstad
Figur A5a	Profil 5, Våg
Figur A5b	Profil 5, Våg
Figur A6a	Profil 6, Våg
Figur A6b	Profil 6, Våg
Figur A7a	Profil 7, Våg
Figur A7b	Profil 7, Våg



KVIKKLEIREKARTLEGGING KARTBLAD SNÅSA, ERT-MÅLINGER

Resistivitetsmodell for P1. Mulig kvikkleirelag er indikert med sort stiplet linje.

Resistivitetsverdier for R-CPTU fra borehull nr. 19 og tilhørende ERT-data. Merk at X-aksen er i logaritmisk skala.

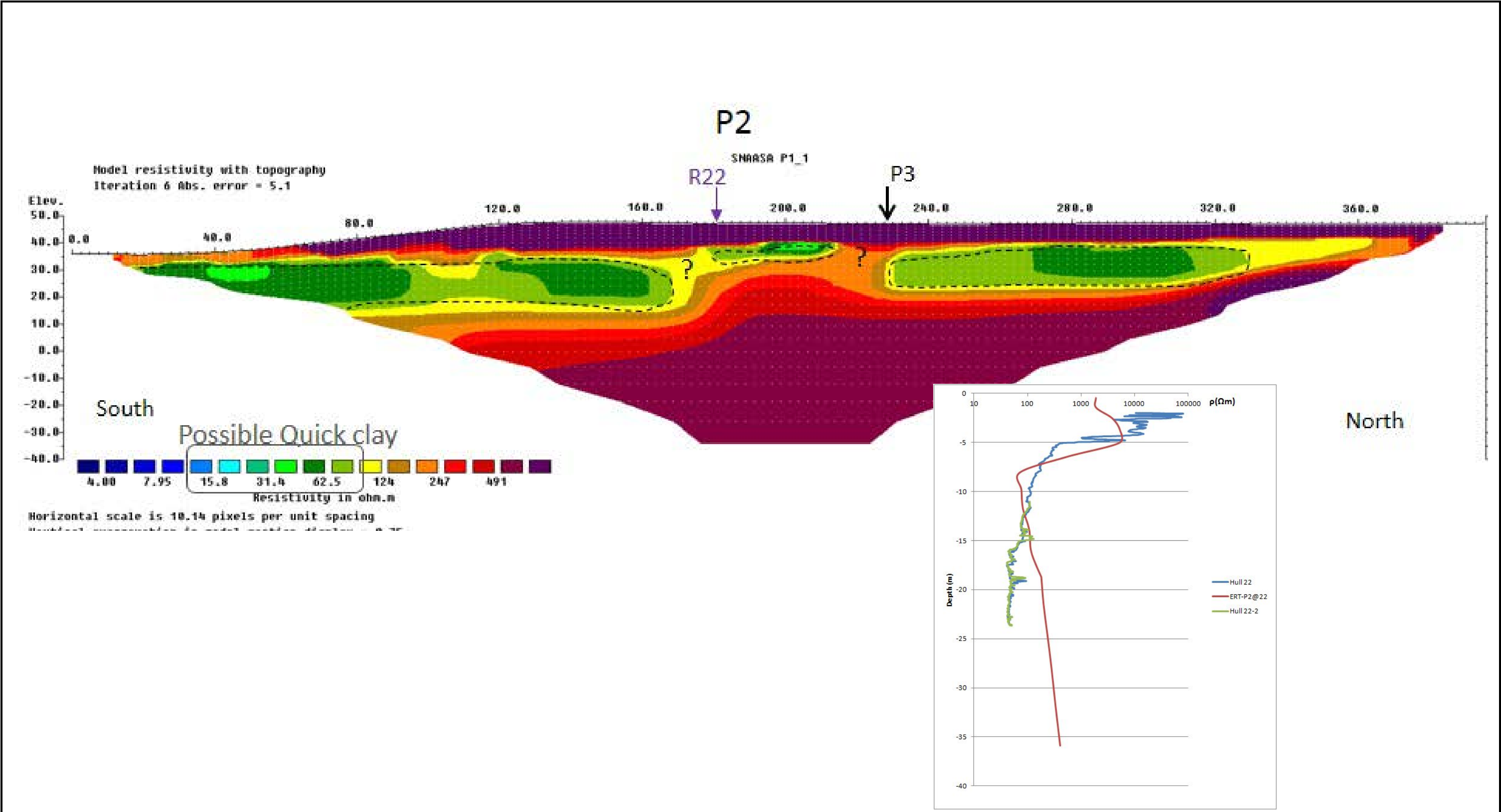
Dokumentnr.
20110935-03-R

Dato
2013-12-06

Figur nr.
A1

Tegnet av
HAn/TrV





KVIKKLEIREKARTLEGGING KARTBLAD SNÅSA, ERT-MÅLINGER

Resistivitetsmodell for P2. Mulig kvikkleirelag er indikert med sort stiplet linje.

Resistivitetsverdier for R-CPTU fra borehull nr. 22 og tilhørende ERT-data. Merk at X-aksen er i logaritmisk skala.

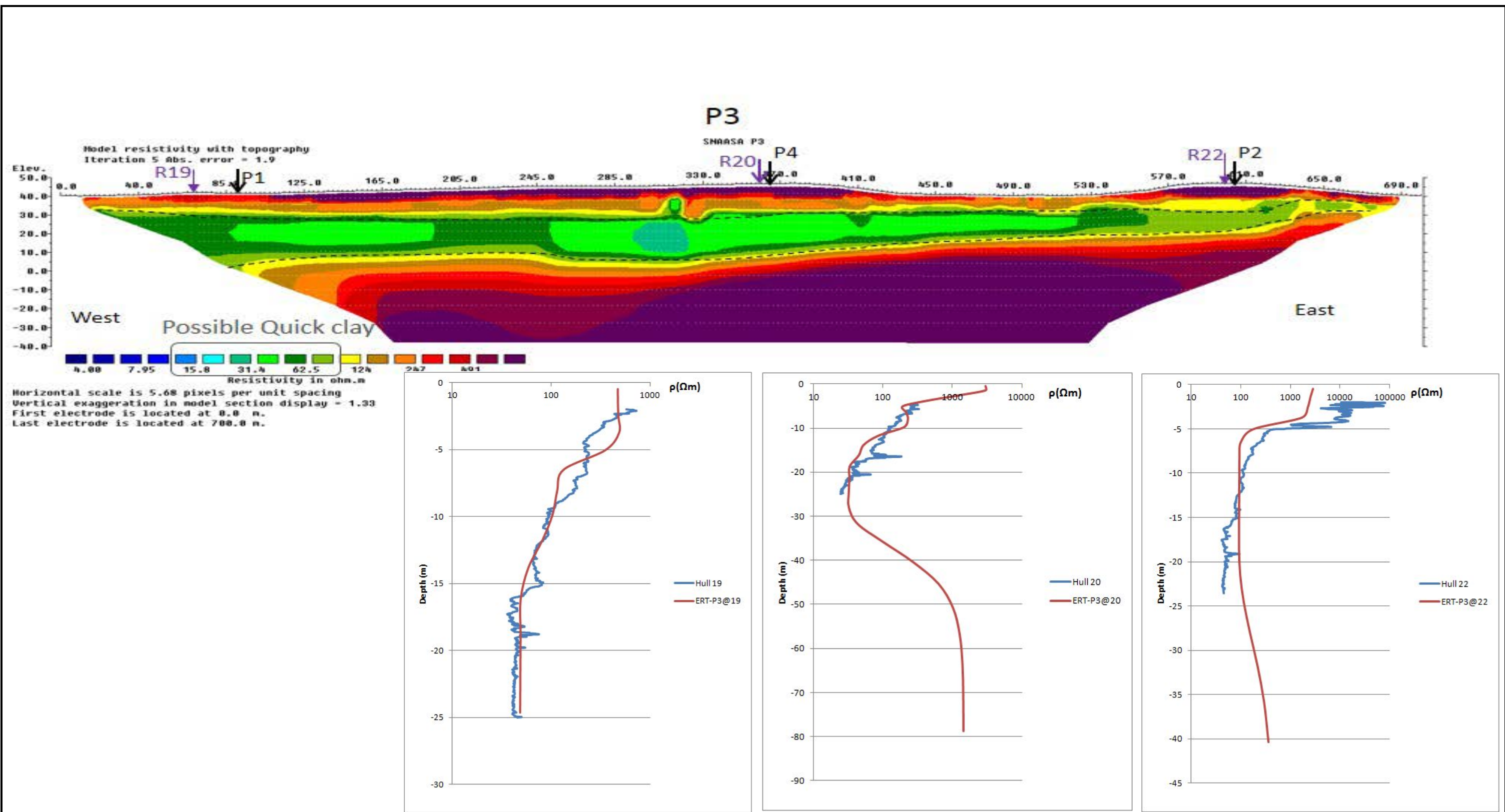
Dokumentnr.
20110935-03-R

Dato
2013-12-06

Figur nr.
A2

Tegnet av
HAn/TrV





KVIKKLEIREKARTLEGGING KARTBLAD SNÅSA, ERT-MÅLINGER

Resistivitetsmodell for P3. Mulig kvikkleirelag er indikert med sort stiplet linje.

Resistivitetsverdier for R-CPTU fra borehull nr. 19, 20 og 22 og tilhørende ERT-data. Merk at X-aksen er i logaritmisk skala.

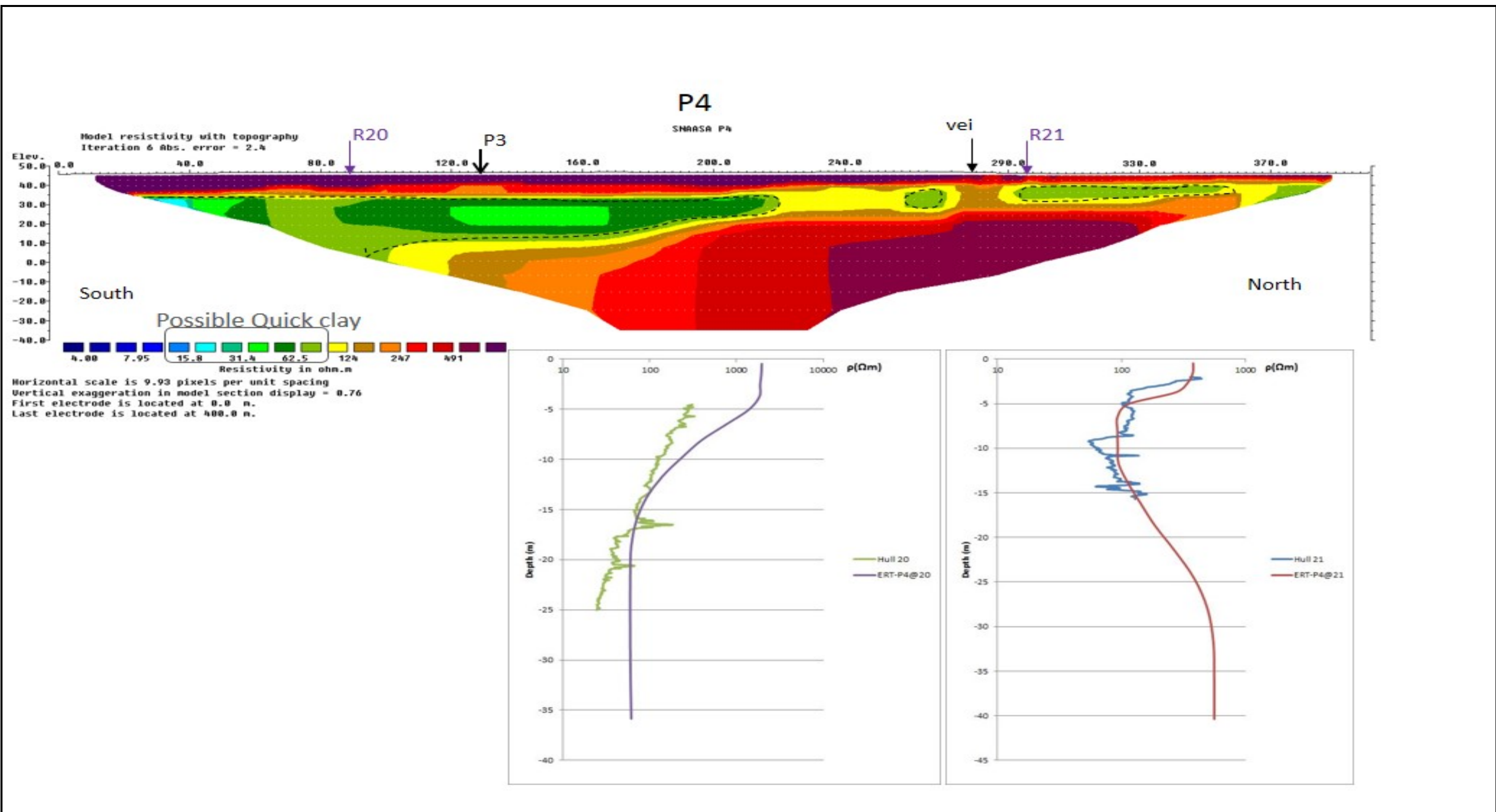
Dokumentnr.
20110935-03-R

Dato
2013-12-06

Figur nr.
A3

Tegnet av
HAn/TrV





KVIKKLEIREKARTLEGGING KARTBLAD SNÅSA, ERT-MÅLINGER

Resistivetsmodell for P4. Mulig kvikkleirelag er indikert med sort stiplet linje.

Resistivetsverdier for R-CPTU fra borehull nr. 20 og 21 og tilhørende ERT-data. Merk at X-aksen er i logaritmisk skala.

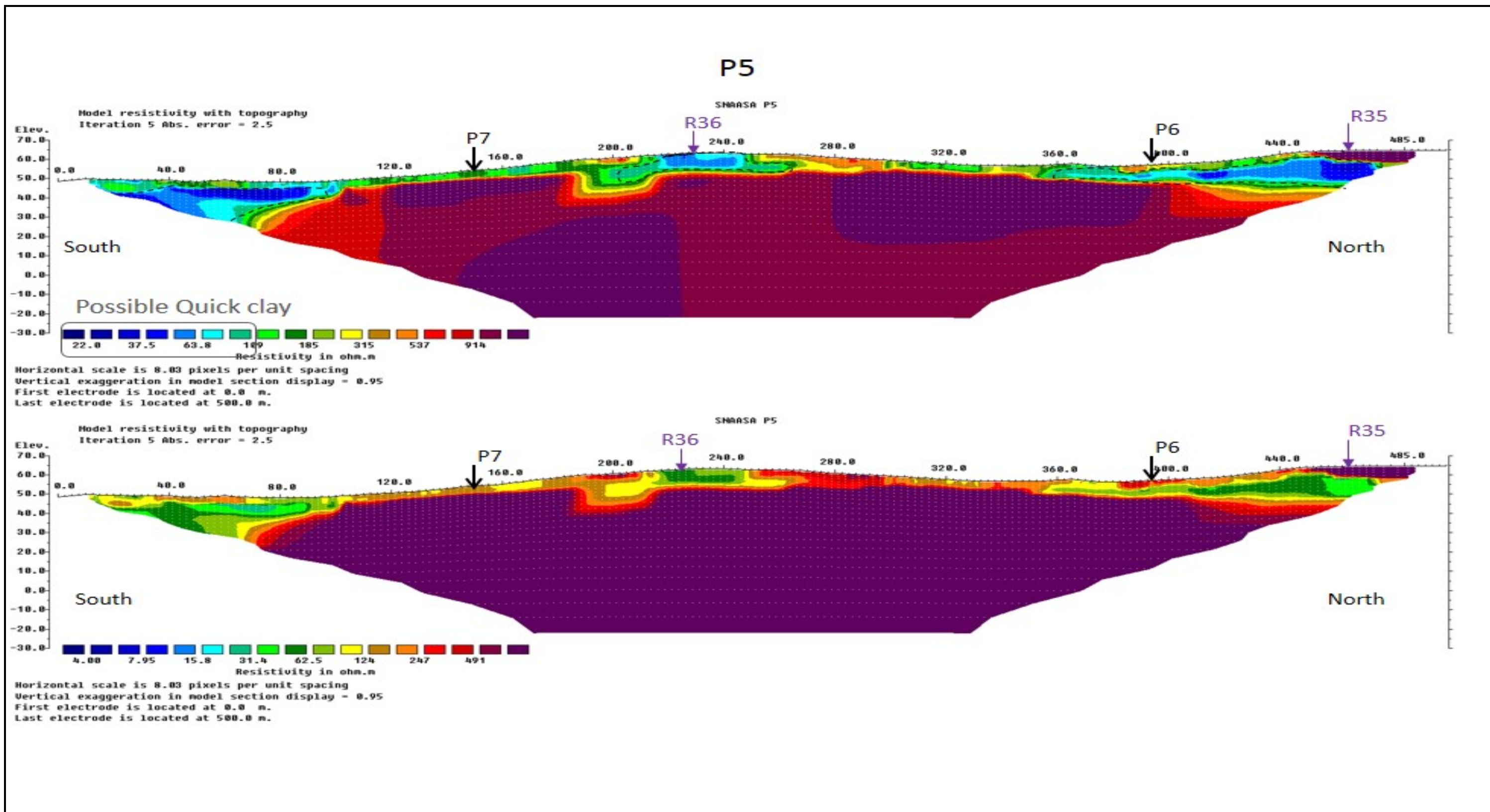
Dokumentnr.
20110935-03-R

Dato
2013-12-06

Figur nr.
A4

Tegnet av
HAn/TrV





KVIKKLEIREKARTLEGGING KARTBLAD SNÅSA, ERT-MÅLINGER

Resistivetsmodell for P5. Øverst: Justert fargeskala for høyere resistivitet. Nederst: Samme fargeskala som P1-P4.

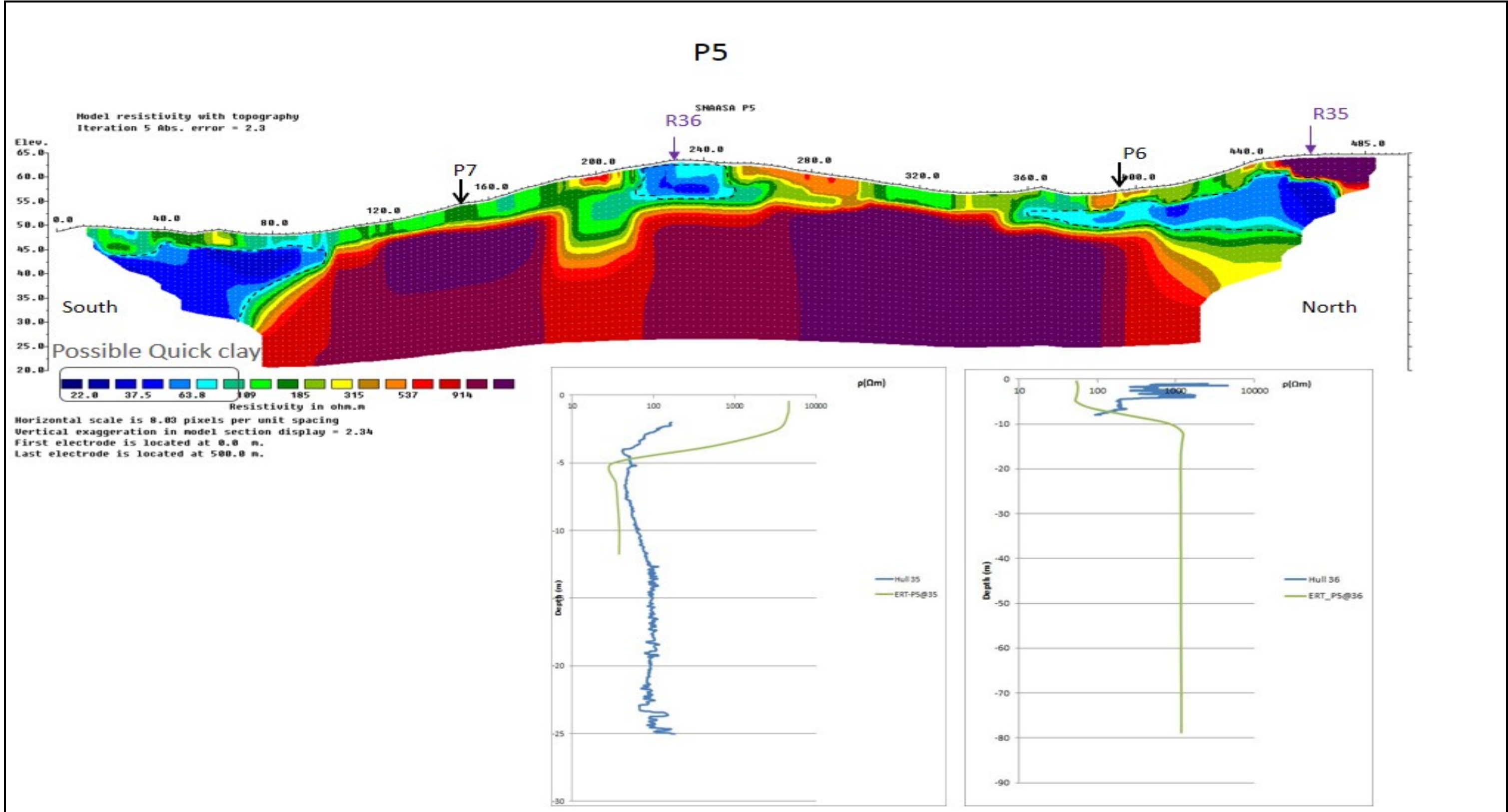
Dokumentnr.
20110935-03-R

Dato
2013-12-06

Figur nr.
A5a

Tegnet av
HAn/TrV





KVIKKLEIREKARTLEGGING KARTBLAD SNÅSA, ERT-MÅLINGER

Resistivitetsmodell for P5. Mulig kvikkleirelag er indikert med sort stiplet linje.

Resistivitetsverdier for R-CPTU fra borehull nr. 35 og 36 og tilhørende ERT-data. Merk at X-aksen er i logaritmisk skala.

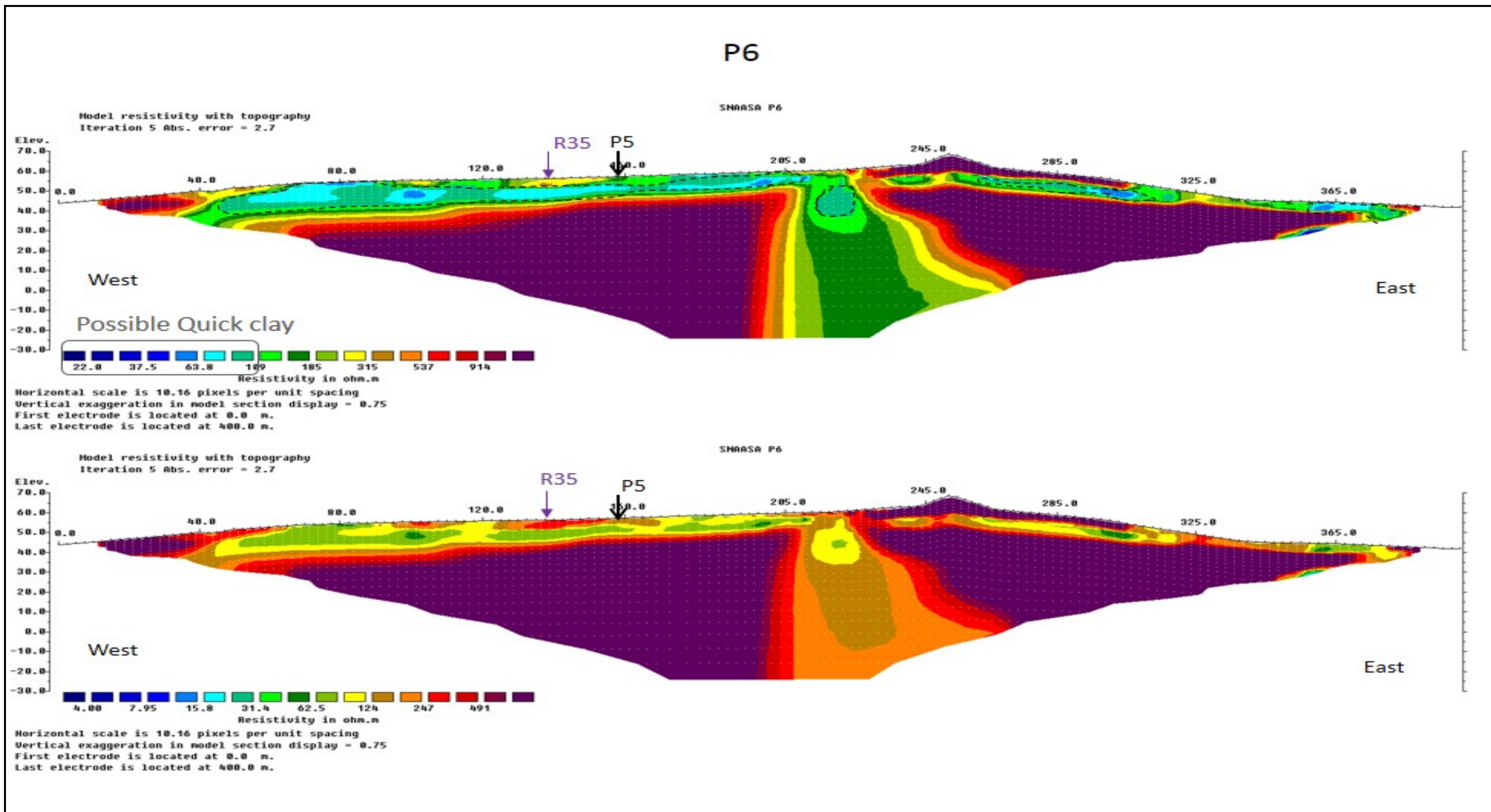
Dokumentnr.
20110935-03-R

Dato
2013-12-06

Figur nr.
A5b

Tegnet av
HAn/TrV





KVIKKLEIREKARTLEGGING KARTBLAD SNÅSA, ERT-MÅLINGER

Resistivitetsmodell for P6. Mulig kvikkleirelag er indikert med sort stiplet linje.

Øverst: Justert fargeskala; nederst: samme fargeskala som P1-P4.

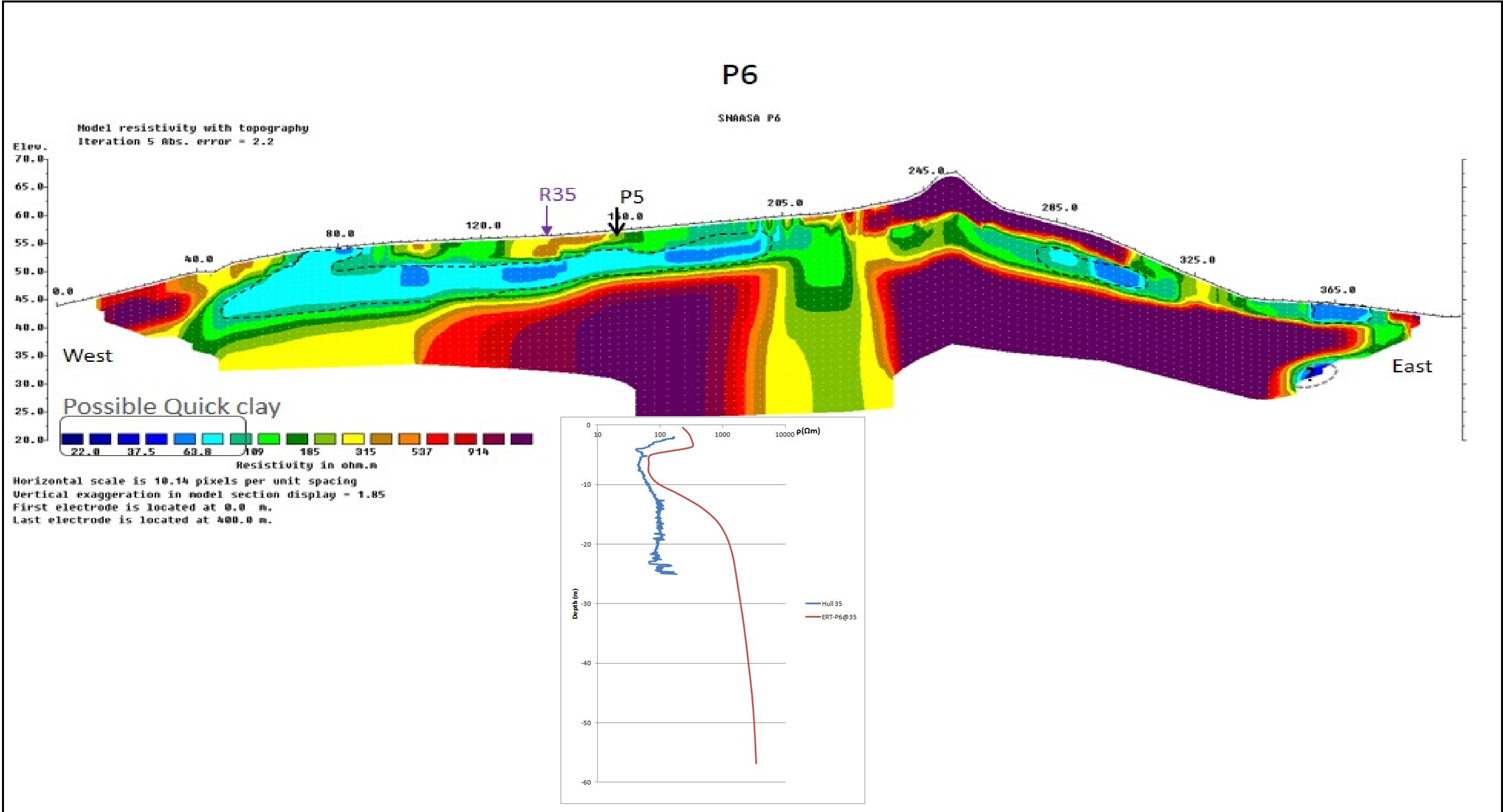
Dokumentnr.
20110935-03-R

Dato
2013-12-06

Figur nr.
A6a

Tegnet av
HAn/TrV





KVIKKLEIREKARTLEGGING KARTBLAD SNÅSA, ERT-MÅLINGER

Resistivitetsmodell for P6. Mulig kvikkleirelag er indikert med sort stiplet linje.

Resistivitetsverdier for R-CPTU fra borehull nr. 35 og tilhørende ERT-data. Merk at X-aksen er i logaritmisk skala.

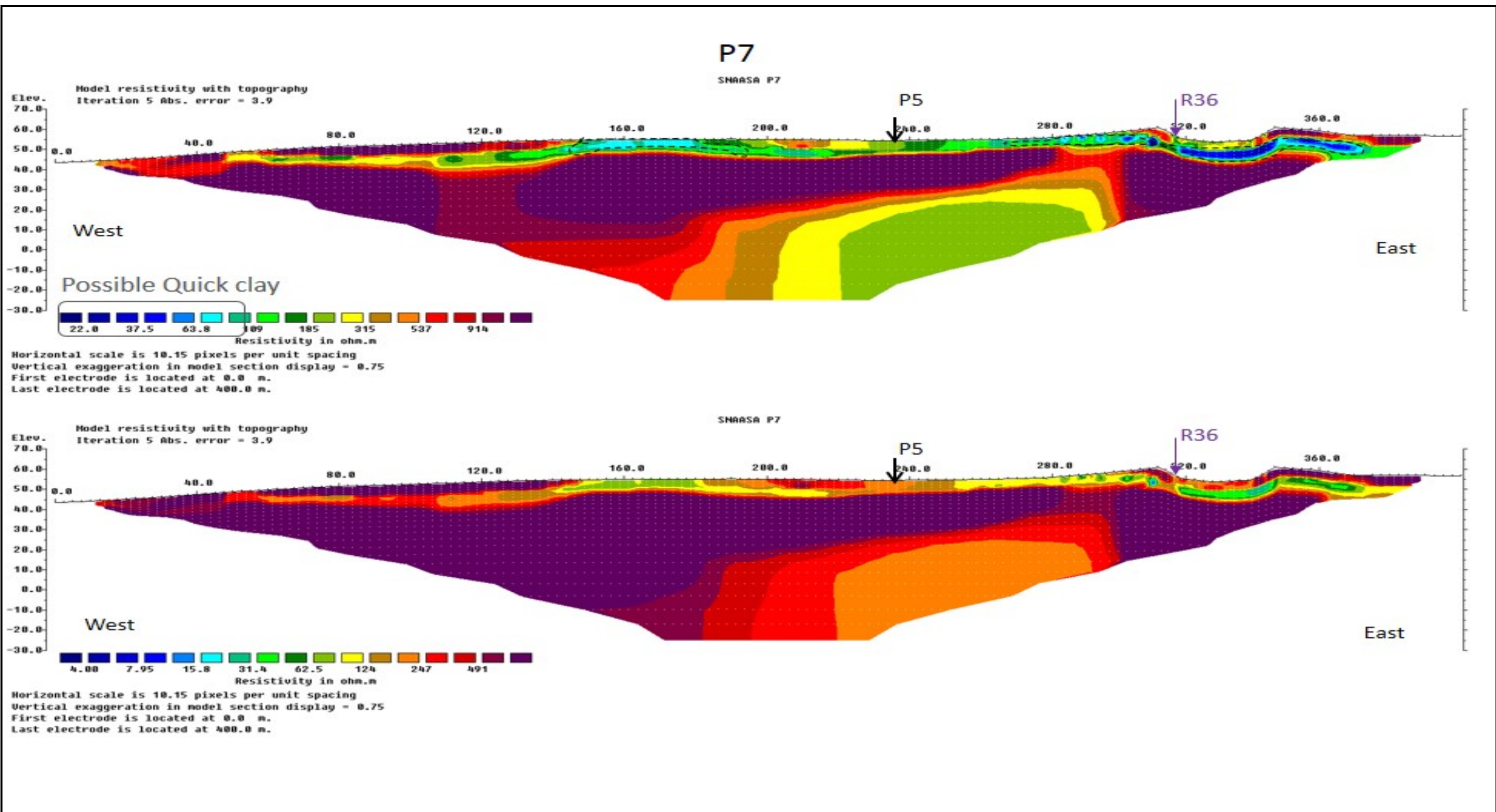
Dokumentnr.
20110935-03-R

Dato
2013-12-06

Figur nr.
A6b

Tegnet av
HAn/TrV





KVIKKLEIREKARTLEGGING KARTBLAD SNÅSA, ERT-MÅLINGER

Resistivitetsmodell for P7. Mulig kvikkleirelag er indikert med sort stiplet linje.

Øverst: justert fargeskala; nederst: samme fargeskala som P1-P4.

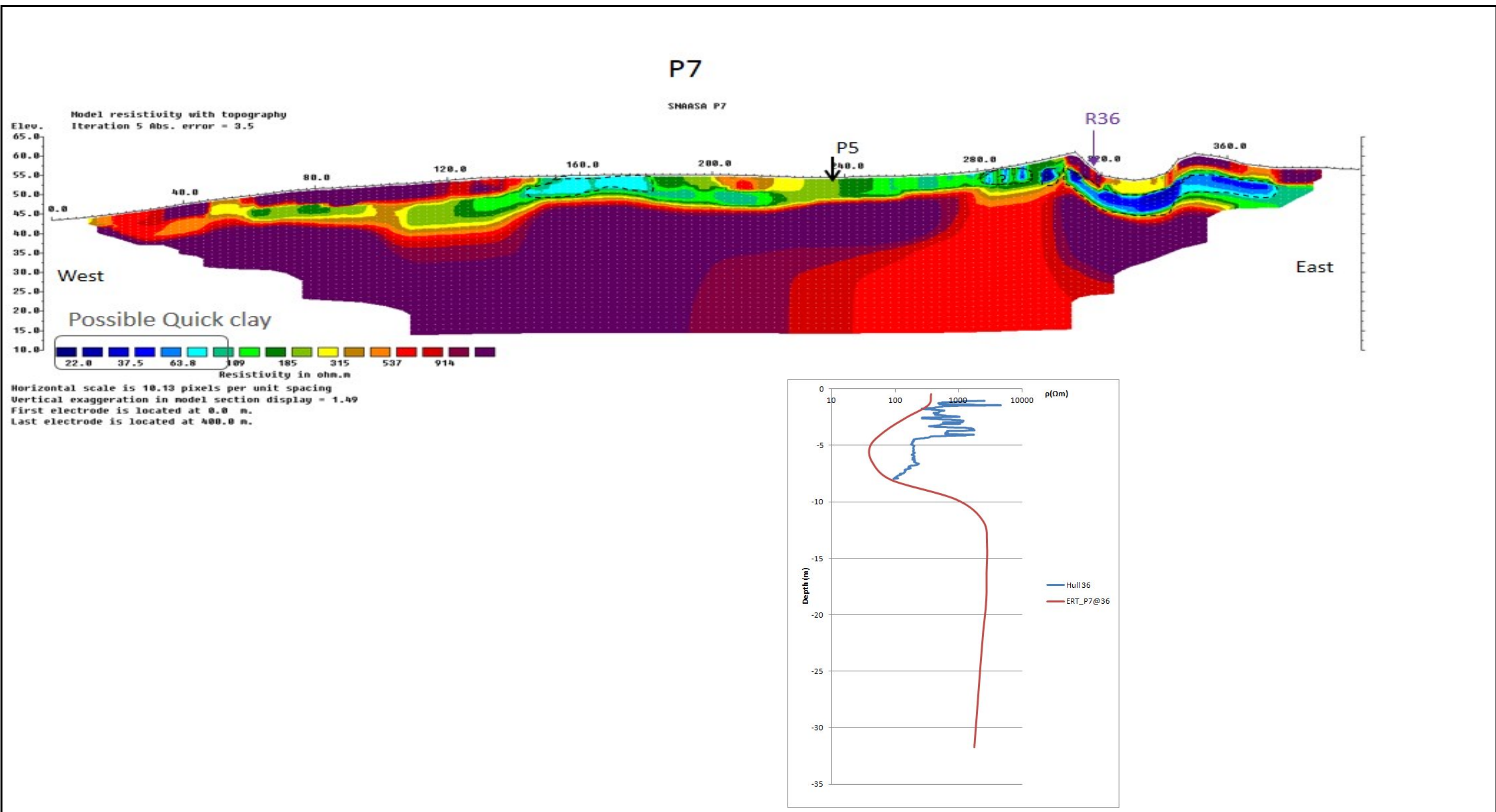
Dokumentnr.
20110935-03-R

Dato
2013-12-06

Figur nr.
A7a

Tegnet av
HAn/TrV





KVIKKLEIREKARTLEGGING KARTBLAD SNÅSA, ERT-MÅLINGER

Resistivetsmodell for P7. Mulig kvikkleirelag er indikert med sort stiplet linje.

Resistivetsverdier for R-CPTU fra borehull nr. 36 og tilhørende ERT-data. Merk at X-aksen er i logaritmisk skala.

Dokumentnr.
20110935-03-R

Dato
2013-12-06

Figur nr.
A7b

Tegnet av
HAn/TrV



Kontroll- og referanseside/ Review and reference page



Dokumentinformasjon/Document information									
Dokumenttittel/Document title ERT-målinger, Snåsa						Dokumentnr./Document No. 20110935-03-R			
Dokumenttype/Type of document Rapport/Report		Distribusjon/Distribution Begrenset/Limited				Dato/Date 20. juni 2013			
						Rev.nr.&dato/Rev.No.&date 1 / 5. februar 2014			
Oppdragsgiver/Client NVE									
Emneord/Keywords Elektrisk resistivitets tomografi, ERT, kvikkleire									
Stedfesting/Geographical information									
Land, fylke/Country, County Norge, Nord-Trøndelag						Havområde/Offshore area			
Kommune/Municipality Snåsa						Felt navn/Field name			
Sted/Location Våg & Jørstad						Sted/Location			
Kartblad/Map 1823 III Snåsa / Grana-Jørstadelva M=1:20.000						Felt, blokknr./Field, Block No.			
UTM-koordinater/UTM-coordinates									
Dokumentkontroll/Document control									
Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001									
Rev./ Rev.	Revisjonsgrunnlag/Reason for revision	Egen- kontroll/ Self review av/by:		Sidemanns- kontroll/ Colleague review av/by:		Uavhengig kontroll/ Independent review av/by:		Tverrfaglig kontroll/ Inter- disciplinary review av/by:	
0	Originaldokument	HAn/ TrV		AAP/ SaB				BGK	
1	Revisjon 1	Han/ TrV		AAP				BGK	
Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release		Dato/Date 5. februar 2014			Sign. Prosjektleder/Project Manager Trond Vernang				

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

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



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
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

