



Statens vegvesen

E6 Østfold : Solberg - Årum

Erfaring med oppfølging av produksjon og kontroll av kalk/semest-peling

RAPPORT

Teknologiavdelingen

Nr. 2526



Geoteknikk- og skredseksjonen
Dato: 2008-06-10



Statens vegvesen

Vegdirektoratet
Teknologiavdelingen

Postadr.: Postboks 8142 Dep
0033 Oslo

Telefon: (+47 915) 02030

www.vegvesen.no

TEKNOLOGIRAPPORT nr. 2526

Tittel

**E6 Østfold: Solberg - Årum
Erfaring med oppfølging av produksjon og kontroll av
kalk/sement-peling**

Utarbeidet av

El Hadj Nouri

Dato:

2008-06-10

Saksbehandler

El Hadj Nouri

El Hadj Nouri

Prosjektnr:

Kontrollert av

Frode oset

Frode Oset

Antall sider og vedlegg:

21

Sammendrag

Rapporten omhandler oppfølging av peleproduksjon og peleforsøk under anlegget for ny Europaveg E6 ved Skjebergkilen i Østfold i forhold til spesifikasjoner gitt i kontakten. Videre er kontroll av pelenes fasthet med KPS-sonde og CPT kommentert sammen med setningsdata for vegfylling med forbelastning samt resultatet av utførte poretrykkmålinger.

Summary

Emneord:

kalk/sement-peling, stigningshøyde, rotasjonshastighet, KPS-sondering, CPT

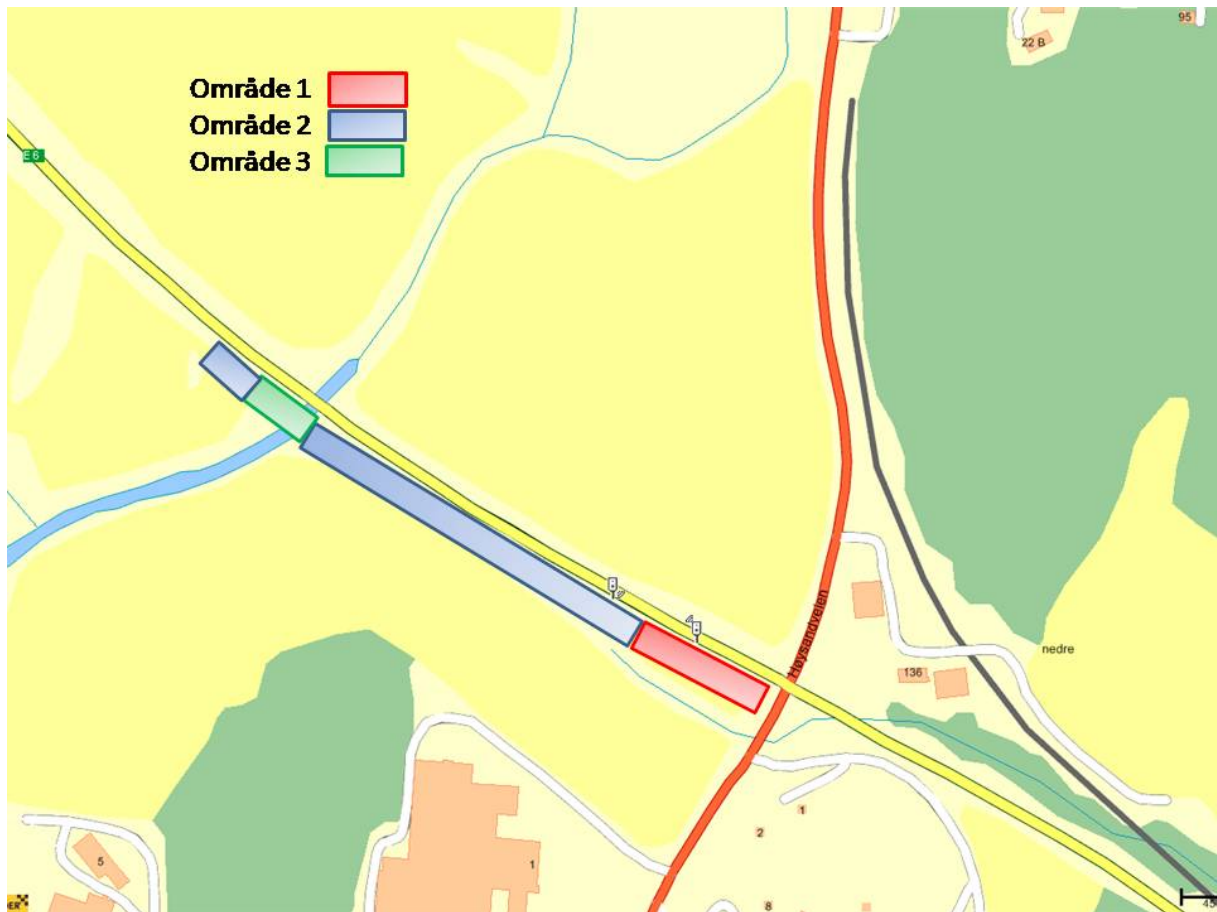
Innledning.....	2
1 Prosjektbeskrivelse.....	2
1.1 Område 1	3
1.2 Område 2	4
1.3 Område 3	4
1.4 Blandingsmengde	5
2 Kontrakt og forutsetninger med forslag til forbedring.....	5
2.1 Prosess 24.614 b	5
2.2 Prosess 24.614 c	5
2.3 Prosess 24.614 e og 24.611 b-c	6
3 Kontroll av ferdig installerte peler	6
4 Setningsforløp med forbelastning etter stabilisering.....	9
5 Utførte forsøk med alternativt bindemiddel CKD.....	14
6 Forsøk med ulik mengde kalk/sement.....	15
7 Konklusjon	16
Vedlegg 1 Oversikt Skjebergbekken område 1	
Vedlegg 2 Oversikt Skjebergbekken område 2	
Vedlegg 3 Oversikt Skjebergbekken område 3	

Innledning

I forbindelse med bruk av kalk/sement-peler på veganlegg har det kommet frem behov for gjennomgang av kontraktsforhold og rutiner for dokumentasjon og oppfølging på anlegget. Denne rapporten tar for seg et konkret anlegg og peker på mulige tiltak for å sikre bedre beskrivelse av prosjektet og lettere oppfølging og kontroll i anleggsfasen

1 Prosjektbeskrivelse

I forbindelse med utvidelse av Europaveg E 6 ved Skjebergkilen i Østfold er det utført installasjon av kalk/sement-peler for å redusere setningene for ny veg. Det er prosjektert tre ulike felt hvor pelene er satt med ulik avstand og i ulikt mønster. Feltenes omtrentlige plassering vil fremgå av nedenstående kartutsnitt.



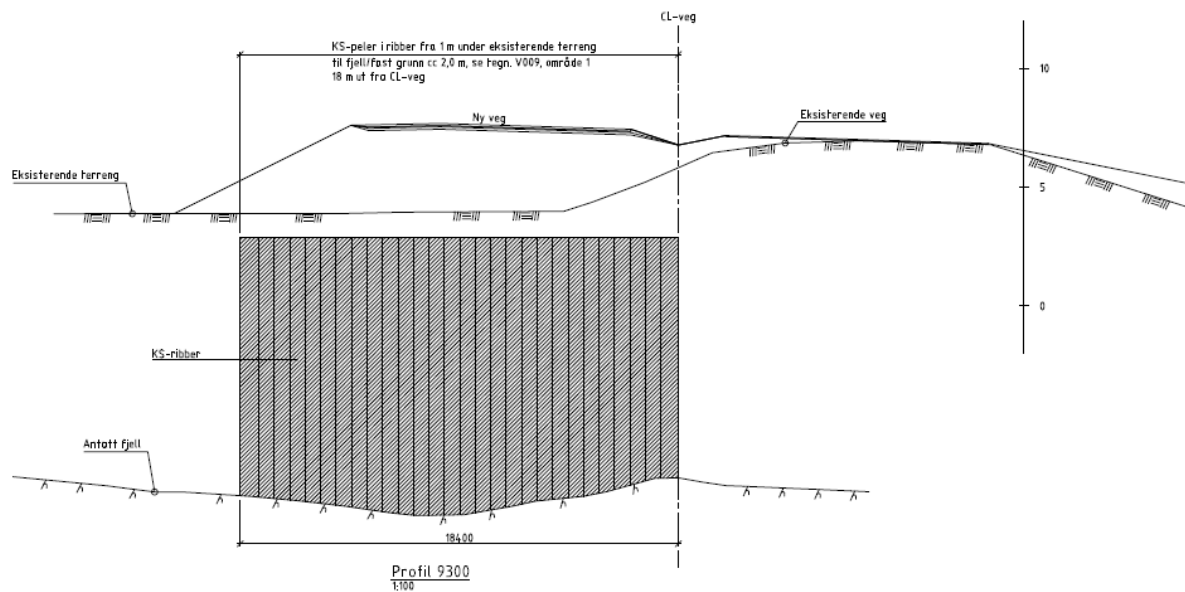
Kartutsnitt over området for utbygging av Europaveg E 6 ved Skjebergkilen

Grunnen i området består hovedsaklig av bløt og tildels kvikk leire med udrenert skjærstyrke $S_u = 10-25$ kPa. Registrert dybde til berg eller fast grunn varierer mellom 10-17m med lokale variasjoner.

Det ble stabilisert 11 521 lm med peler $\text{\O} = 800$ og 33 824 lm med peler $\text{\O} = 600$. Til sammen ble det installert 5337 peler.

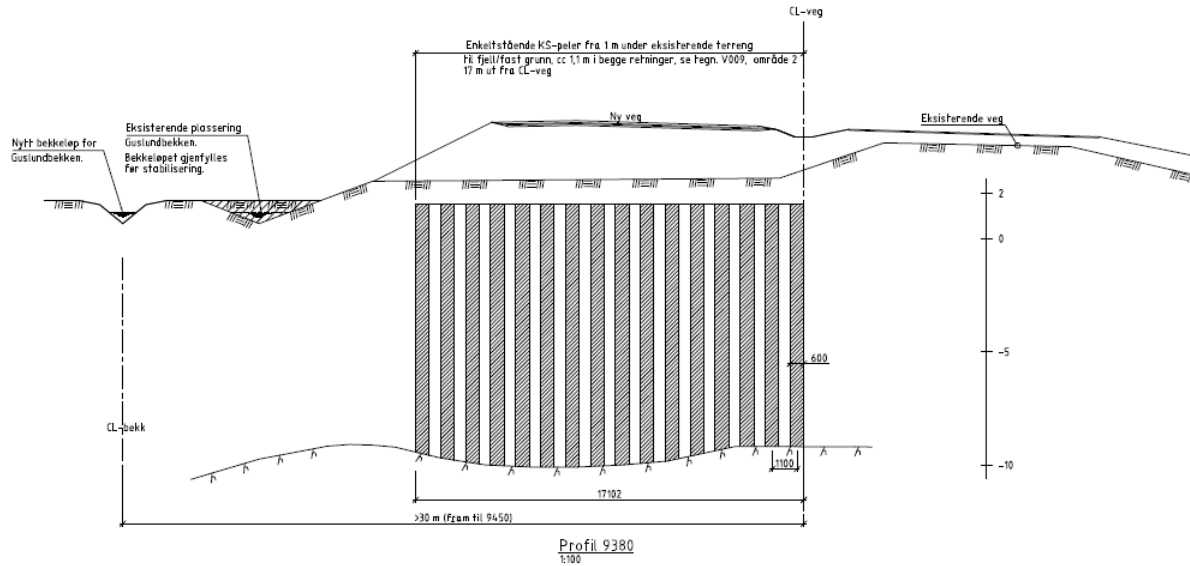
1.1 Område 1

Pelene har her en diameter på $\text{\O} 800$ mm satt i ribber med en senteravstand på 2000 mm mellom ribbene. Pelenes senteravstand er 650 mm. I område mellom pr 9456-9485 er det ikke satt kalk/semest-peler grunnet høyspentledninger. Det ble benyttet EPS fylling som løsning



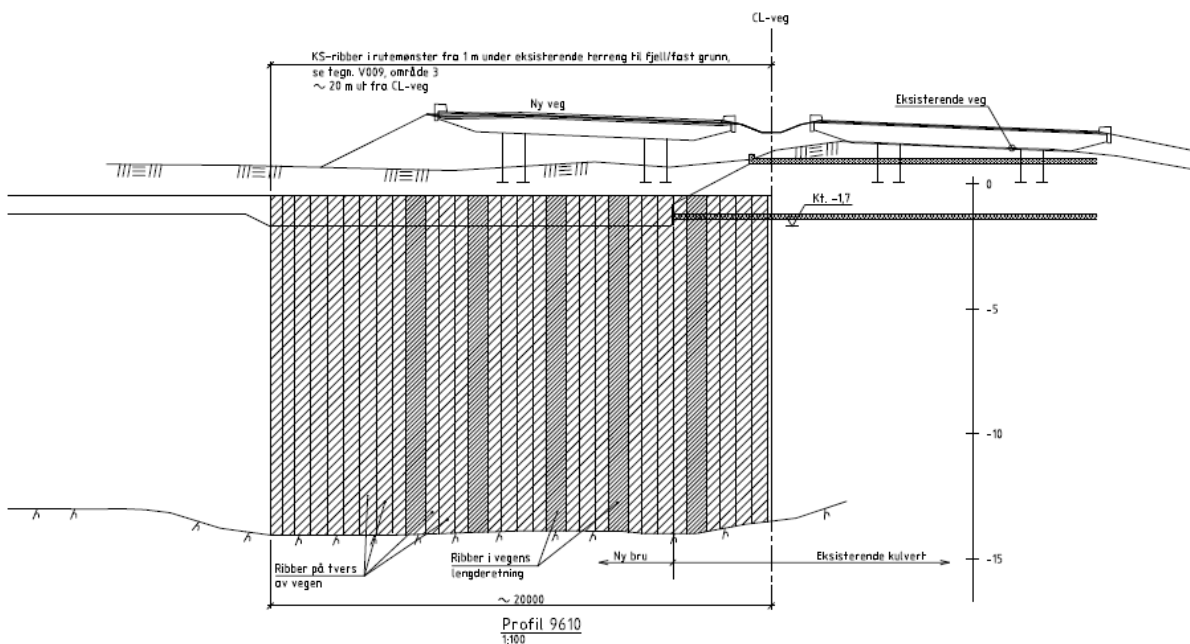
1.2 Område 2

Pelene har her en diameter på 600 mm og er frittstående med en senteravstand i begge retninger på 1100 og 1200 mm, de fleste med senteravstand 1100 mm. Unntaket er området mellom profil 9400 – 9500 hvor senteravstanden er 1200 mm



1.3 Område 3

Pelene er her satt i ribber i et rutemønster med senteravstand på 2426 mm mellom ribbene i vegens lengderetning og 1950 mm mellom ribbene på tvers av vegen. Pelens diameter er her 800 mm.



1.4 Blandingsmengde

Ved oppstart av prosjektet ble det gjort forsøk med innblandet mengde 50 % kalk og 50 % sement med totalt 100 kg/m^3 (4 peler) og 85 kg/m^3 (8 peler). For gjennomføring av prosjektet ble det besluttet å benytte en blandingsmengde på 100 kg/m^3 . Dette tilsvarer et forbruk på 28 kg/lm pel for peler med diameter 600 mm og 50 kg/lm pel for peler med diameter 800 mm.

2 Kontrakt og forutsetninger med forslag til forbedring

I foreliggende kontrakt for E6 anlegget kan følgende prosesser være gjenstand for vurdering av endringer for å sikre god kommunikasjon og lettere dokumentasjon og oppfølging.

2.1 Prosess 24.614 b

Her står det at: *Byggherren skal godkjenne innblandingsverktøyet for installasjon av både 600 mm og 800 mm peler.* I og med at det foreligger ulike typer innblandingsverktøy på markedet og at effekten av disse vil kunne være forskjellig, bør det i utgangspunktet avklares og beskrives i kontrakten hvilke verktøy (et eller flere) som skal anvendes. Uten at det utføres konkrete forsøk, vil det være vanskelig for byggherren å vurdere effekten av ulike blande- og verktøy i anleggsfasen.

2.2 Prosess 24.614 c

I kontrakten står det at: *Stigningshøyden skal være maks 20 mm/omdreining og rotasjonshastigheten skal være minst 150 omdr./minutt. I tillegg skal tilført innblandingsarbeid være > 9 regnet som rotasjonshastighet delt på stigningshøyde.*

Protokoller fra gjennomføringen viser at det er flere peler hvor disse kravene ikke er tilfredsstillt. Dette gjelder både rotasjonshastigheten som i flere tilfeller har vært lavere enn kravet og også innblandingsarbeidet selv etter at dette tallet er justert for anvendt blande- og verktøy. Stigehøyden avviker også fra kravet (20 mm/omdr.) for mange peler (25 mm/omdr.). Det ser dermed ut til at kontraktsforutsetningene for flere peler er endret systematisk, men uten at rotasjonshastigheten er økt tilsvarende for å oppnå et innblandingsarbeid på ≥ 9 .

Her bør det stilles krav til hva som kan aksepteres av avvik slik at behov for justering av produksjonsprosessen kan fastsettes. Dernest må rapporteringsrutinene endres slik at kravet om rapportering av alle forhold omtalt i kontrakten kan oppfylles ved at relevante data er tilgjengelig for byggherren daglig, dvs. samme dag som produksjonen foregår. På det aktuelle anlegget leverte entreprenøren en samleprotokoll som er kalt "*Pelarprotokoll*" daglig, men protokoll som viser alle relevante produksjonsdata for den enkelte pel kalt "*Plot Column*" først ble gjort tilgjengelig på firmaets internetthjemmeside inntil en uke etter produksjonsdag. Det er mye å gjennomgå i en ukes produksjon når i noen dager ble det produsert i størrelsesorden 140 peler.

Siden all registrering foregår digitalt på peleriggen burde videre digital rapportering innad hos entreprenøren og videre til byggherren kunne foregå fortløpende og i alle fall minst en gang per dag. Alle relevante data burde videre kunne beregnes og plottes automatisk for å kunne gi et enklere visuelt bilde å forholde seg til for byggherrens kontrollør i forhold til krav. Eksempelvis må beregning av innblandingsarbeid som forholdet mellom rotasjonshastighet og stigningshøyde lett kunne beregnes og presenteres på denne måten.

2.3 Prosess 24.614 e og 24.611 b-c

Kontrakten krever at alle peler skal være vertikale. I denne sammenheng er det stilt krav til at tårnet skal ha en retthet på 100:1. Det vises ellers til at dette kravet skal kontrolleres daglig med loddsnor. Her bør kontraktens ordbruk endres idet det er tårnets helning som er utslagsgivende for kravet om at pelene skal settes vertikalt. At tårnet i tillegg skal ha krav til en viss retthet er en annen sak. Formuleringen bør derfor være: ”Alle peler skal være vertikale. Tårnets helning skal være 100:1 eller bedre”. Når det gjelder tårnets helning er det installasjonsmaskiner som i dag kontrollerer dette digitalt ved at en libelle sentreres i et display. Med slikt utstyr burde det også være mulig å registrere og dokumentere tårnets helning sammen med øvrige produksjonsdata for hver pel. Uansett registreringsmåte bør tårnets helning være en del av installasjonsdataene for hver pel.

3 Kontroll av ferdig installerte peler

I kontrakten er det spesifisert at det skal utføres kontroll av installerte peler ved

- Sondering
- Opptak av prøver (54 mm prøvetaker)

Bare kontroll ved sondering er gjennomført og det er ikke tatt opp prøve av ferske peler.

Utførte sonderinger er av type KPS-sondering med forboring. Pelene som ble valgt ut var både frittstående enkeltpeler og peler i ribber. Sonderingene ble utført ca 3 døgn etter installasjon av pelene og to peler ble sondert 6 timer etter installasjon.

Hver av de kontrollerte pelene ble først avgravd slik at topp pel var synlig. Senter pel kunne dermed lokaliseres og forboring i dette punkt foretas. Under forboringen ble både matningskraft i kN og nedtrengningshastighet i sek/0,2 m nedtrengning registrert mot dybde. Variasjoner i pelens sonderingsmotstand kunne dermed registreres og dokumenteres.



Bildet viser avgravid topp pel og markering av senter pel

Deretter ble KPS-sonden presset ned i pelen med konstant nedpressingshastighet (20 mm/sek \pm 20 %) samtidig som nødvendig matekraft og helning på sonden ble registrert.



Forboring med "geostång"

Normalt varierer sonderingsmotstanden med en økende motstand med dybden. For enkelte peler er det registrert soner med lavere motstand i dybden ($>$ 2 m dybde) ved forboring med "geostång". Ved sondering med KPS-sonden etter 3 døgn ble disse målingene imidlertid avsluttet uten at sonden nådde ned i det nivået hvor det er registrert lavere sonderingsmotstand med "geostång". Dette til tross for at forboring var gjennomført gjennom hele pelen og fastheten i pelen hvor KPS-sonden stoppet opp var mindre enn 300 kPa ($<$ 25 kN nedpressingskraft). For to av de kontrollerte pelene har KPS-sonden stoppet allerede i ca. 1 m

dybde. Dette betyr at bare en liten del av pelen (total lengde 6 – 7 m) har kunnet kontrolleres med KPS-sonden. Dette er spesielt uheldig siden sonderingsmotstanden indikerer lavere fasthet i pelen i enkelte soner.



Sondering med KPS-sonde

Som det fremgår av bildet ovenfor var borbvognen som ble benyttet til sonderingene av en relativt lett type. For å bedre nedpressingskapasiteten ble det anvendt en gravemaskin som motvekt som vist på bildet under. Gravemaskinskuffen presser her på ”fotbjelkene” for bortårnet.



Bruk av gravemaskin som motvekt på fotbjelkene for bortårnet

Ved kontrollmåling med KPS-sonde registreres helningen på målestangen. Ved noen av de utførte målingene viser registreringene at sonderingen er startet med en relativt høy helning på målestangen ($\approx 3^{\circ}$). I slike tilfeller indikerer resultatene at sonden har skåret ut av pelen ved ca 6 m dybde. Med en pelediameter på 600 mm og start i senter av pelen tilsvarer en helning på 3° at sonden vil skjære ut i en dybde av 6 m. Det er derfor viktig at sonden settes an i vertikal stilling ved start av sonderingen. Bruk av gravemaskin som ekstra motvekt mot foten av bortårnet kan ha bidratt til skjevheter her.

4 Setningsforløp med forbelastning etter stabilisering

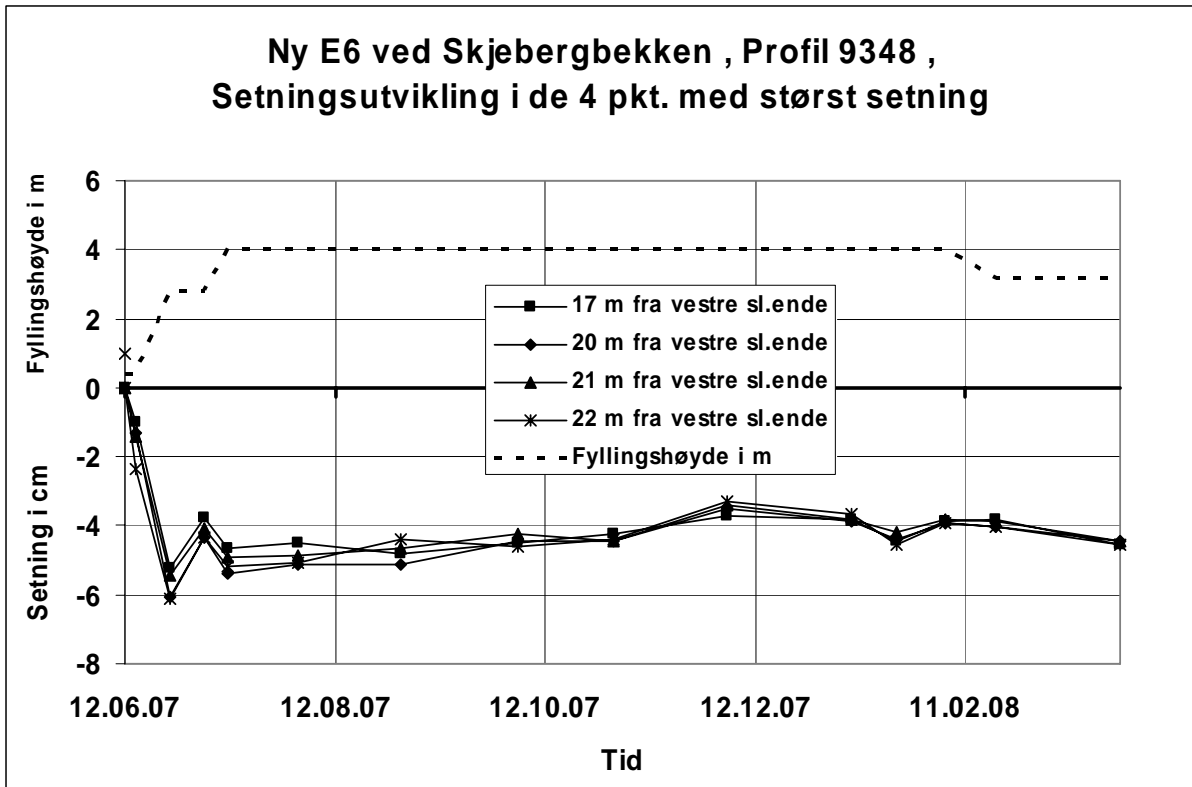
Etter at kalk/semmentpelene var installert og før fylling ble lagt ut ble det installert slanger på tvers av fremtidig fylling for slangesetningsmåling i 4 profiler; profil nr. 9348, 9400, 9490 og 9590. Slangesetningsmåling ble valgt som et alternativ til vanlige setningsplater. Det ble også installert 4 poretrykksmålere med nullpunktstkontroll, men det oppsto en feil ved en av disse under installasjonen.

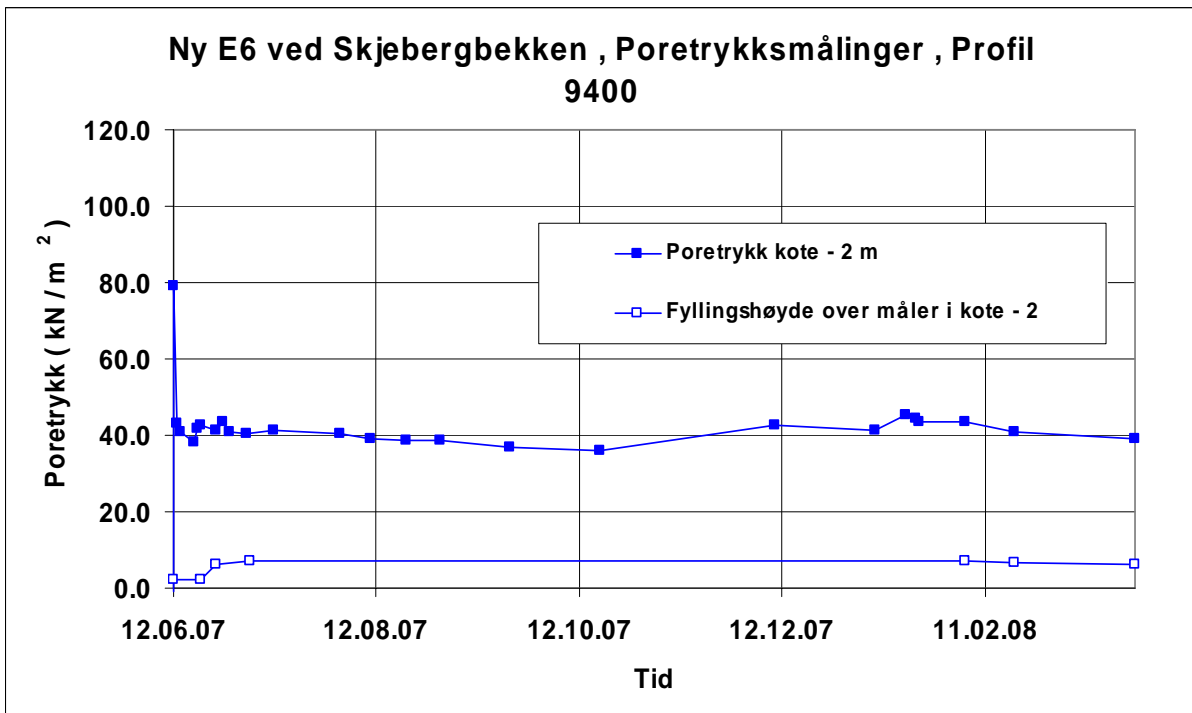
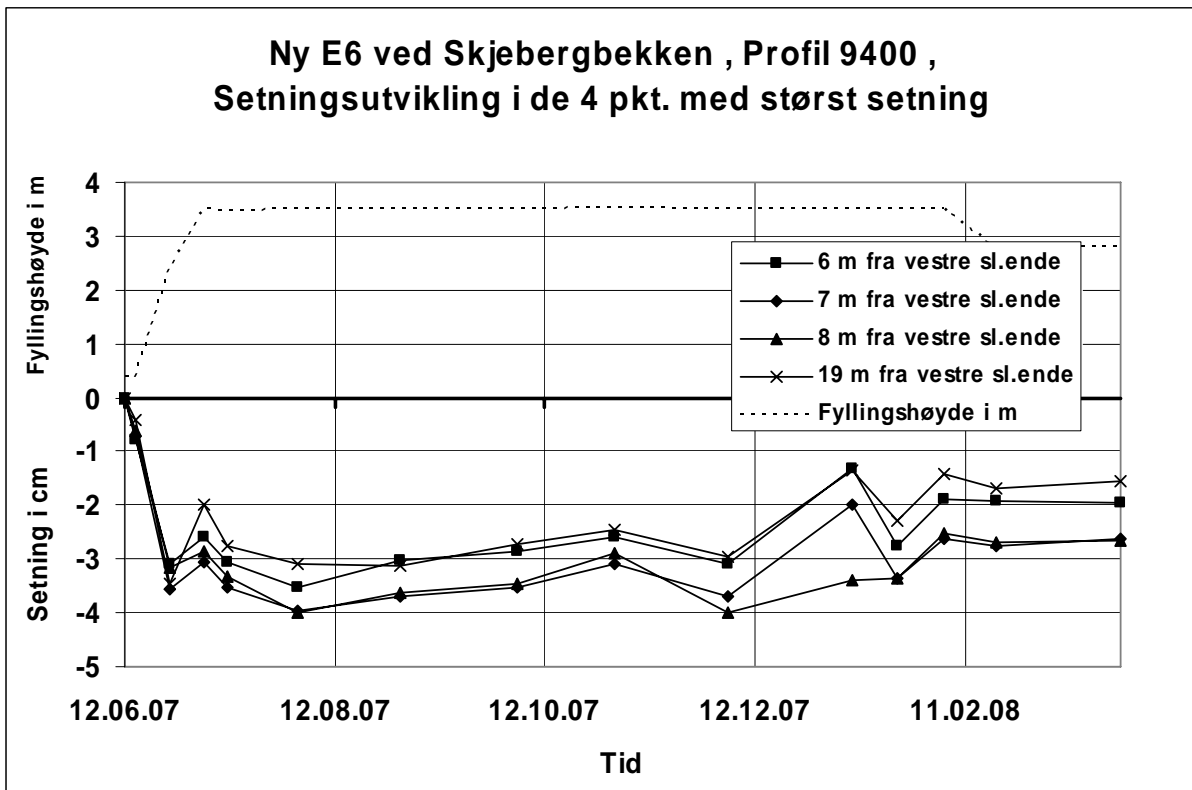
Utførte setningsberegninger for prosjektert fyllingshøyde og med overlaster viser forventede setninger av størrelsesorden som angitt i nedenstående tabell.

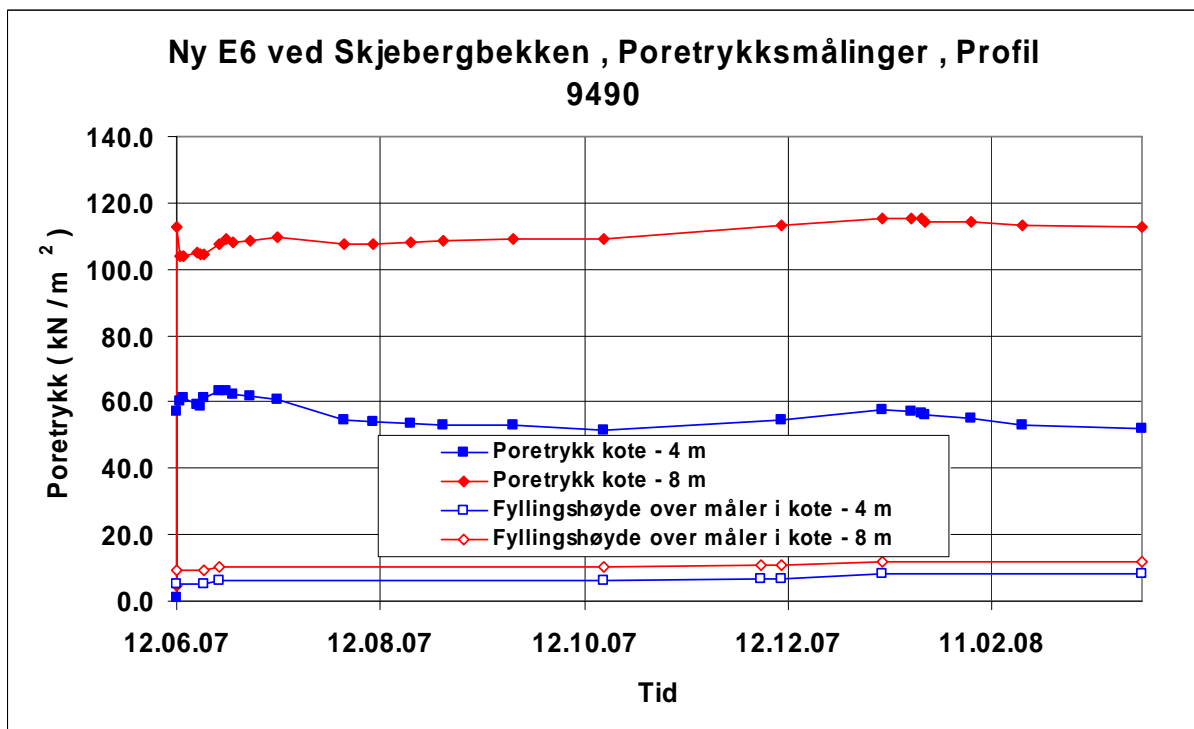
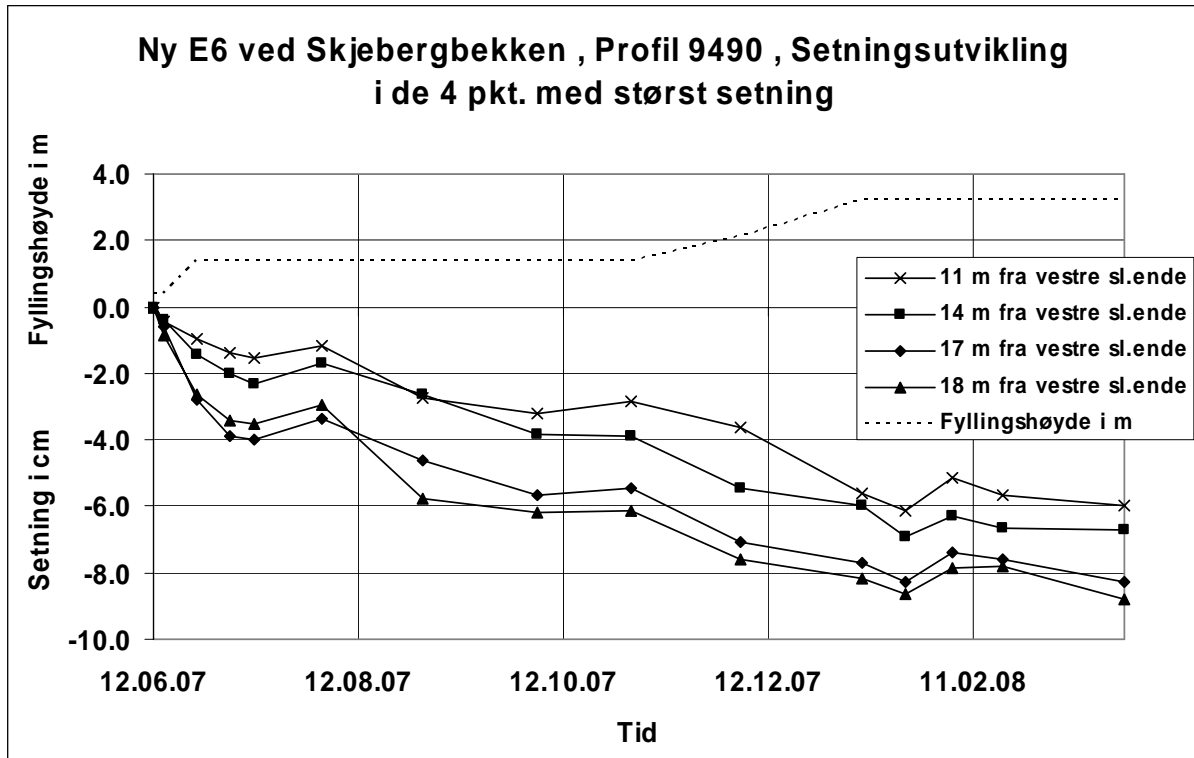
Profil nr	Fylling + forbelastning cc ks-peler	Permanent last for E6 Primærsetning	Overlast 1 m + permanent last Primærsetning
9350	3,0 + 1 m cc = 1,1 m	$\delta = 15$ cm	$\delta = 20$ cm
9400	2,0 + 1 m cc 1,2 m	$\delta = 11$ cm	$\delta = 15$ cm
9500	1,5 + 1 m cc = 1,2 m	$\delta = 8$ cm	$\delta = 12$ cm

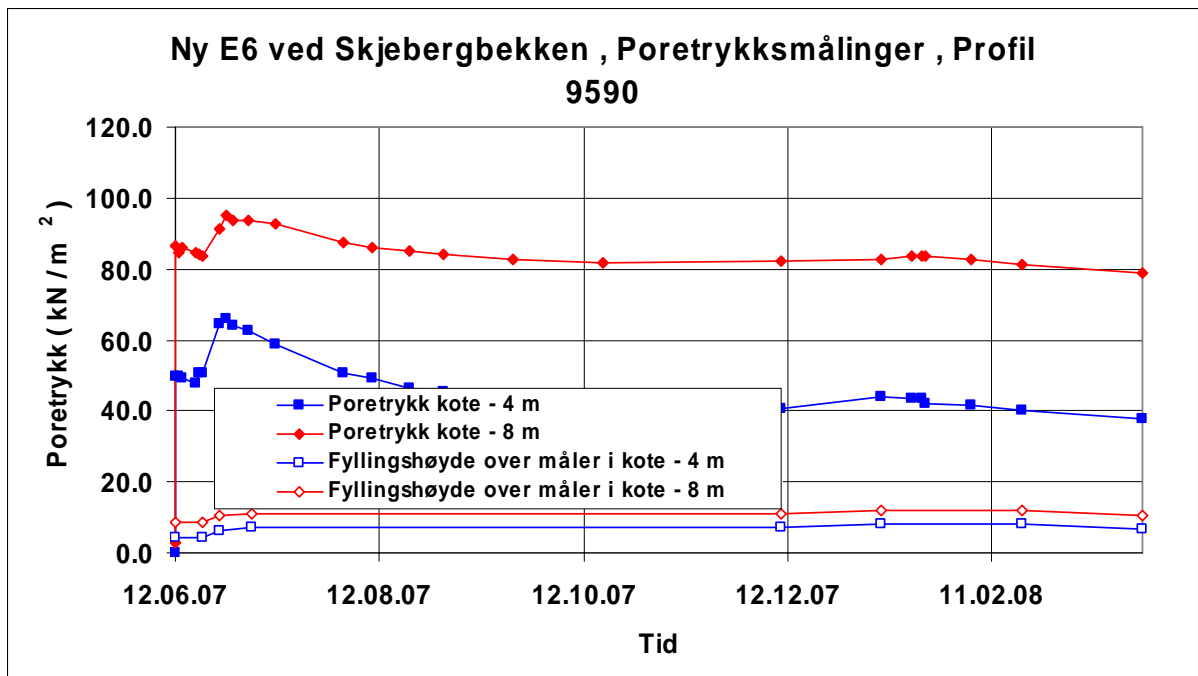
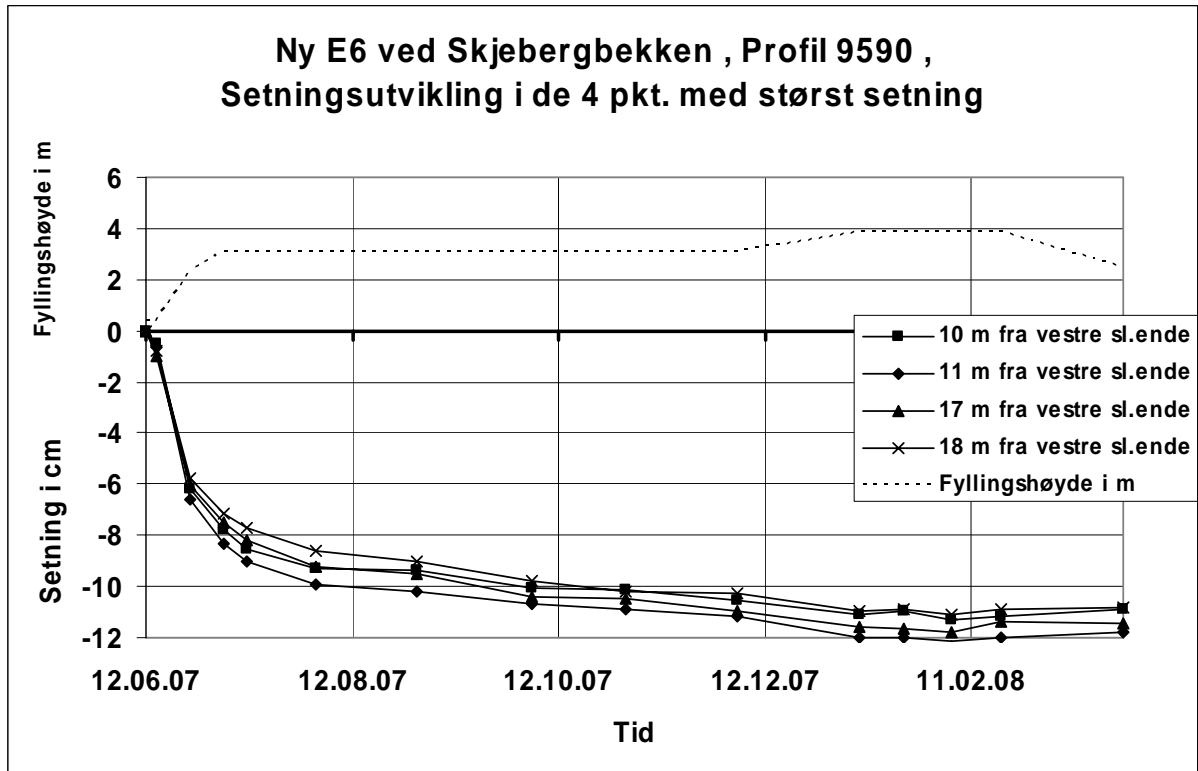
Tabell over beregnede setninger

Utførte slangesetningsmålinger i perioden 2007-06-12 til 2008-03-27 er gjengitt for de fire tverrprofilene som vist i figurene nedenfor sammen med gjeldende oppfyllingshøyde i perioden. Utførte poretrykksmålinger i samme periode er gjengitt under setningsdiagrammene for de respektive profilene.









Sammenligning mellom beregnede setninger og målte setninger pr. 2008-03-27 er vist i nedenstående tabell. Bortsett i profil 9500 er registrerte setninger i profilene 9350, 9400 atskillig mindre enn de beregnede setningene. Tidskurvene for observerte setninger viser for disse profilene avtagende og endog stigende tendens (hevning). Endringer i poretrykksmålingene viser også en tendens til å ha flatet ut

I profil 9590 er det enkeltpeler med diameter 600 mm og senteravstand 1,1 m. Her er det ikke utført setningsberegninger, men målte setninger viser en jevn avtagende tendens og lite endringer etter 2008-01-09. Totalsetning pr 2007-11-01 er ca 12 cm i gjennomsnitt. Begge poretrykksmålerne i 4 m og 8 m dybde vier jevn avtagende tendens i poreovertrykk og liten endring etter 2007-09-21.

Profil nr	Fylling + forbelastning cc ks-peler	Permanent last for E6 Primærsetning	Overlast 1 m + permanent last Primærsetning	Målte setninger med overlast pr 2008-03-27
9350	3,0 + 1 m cc = 1,1 m	$\delta = 14,6$ cm	$\delta = 19,5$ cm	$\delta = 5$ cm
9400	2,0 + 1 m cc 1,2 m	$\delta = 11,0$ cm	$\delta = 15,4$ cm	$\delta = 3$ cm
9500	1,5 + 1 m cc = 1,2 m	$\delta = 8,2$ cm	$\delta = 11,6$ cm	$\delta = 9$ cm
9590				$\Delta = 12$ cm

Tabell som viser beregnede og målte setninger

5 Utførte forsøk med alternativt bindemiddel CKD

Firma LCM utførte i starten av prosjektet forsøk med alternativt bindemiddel CKD ved å benytte dette i 4 enkeltpeler i ribbe R 33 pel 22, 24, 26 og 28. CKD er et avfallsprodukt fra sementproduksjon og inneholder salter, gips, sement og brent kalk. Etter installasjon ble oppnådd styrke i disse pelene kontrollert med CPT etter 6 døgn. Etter samme herdetid ble også 4 vanlige kalk/sementpeler i ribbe R 35 pel 21, 23 og 25 kontrollert med CPT for sammenligning. Pel 27 i samme ribbe ble kontrollert med KPS-sondering. Resultatene er rapportert i rapport nr. 1 datert 2007-02-05 fra firma LCM. Ut fra foreliggende dokumentasjon valgte byggherren ikke å anvende CKD som bindemiddel, og kalk/sementpeler ble benyttet i prosjektet.

6 Forsøk med ulik mengde kalk/semment

Utenfor selve veglinjen ble det i starten av prosjektet installert i alt 14 enkeltpeler med diameter 600 mm hvor 5 av disse hadde et innblandingsforhold på 85 kg/m^3 . Dette gjelder prøvepel nr 1 – 2 – 3 – 4 – og 13, mens de resterende pelene nr. 5 – 6 – 7 – 8 – 9 – 10 – 11 – 12 og 14 hadde et innblandingsforhold på 100 kg/m^3 . I begge tilfeller var blandingsforholdet 50 % kalk og 50 % semment. Forsøkene viste at styrken på alle prøvepelene var relativt høy.

Noen av prøvepelene ble kontrollert med FKPS-sondering, dvs. med forboring. Herdetid før kontroll var 3 døgn for 3 peler med 85 kg/m^3 (pel nr. 2, 3 og 4) og 3 peler med 100 kg/m^3 (pel nr. 10, 11 og 12). Resultatene fra disse forsøkene er rapportert i rapport nr. 2 datert 2007-02-13 fra firma LCM. Pelene hadde relativt stor fasthet og det var vanskelig i flere tilfeller å penetrere KPS-sonden særlig langt ned i pelen ($< 1 \text{ m}$).

Ut fra leirmassenes gunstige konsistens i prøveområdet som var noe forskjellig fra leirmassenes generelle konsistens i området, bl.a. relatert til vanninnhold, ble det besluttet å benytte en innblandingmengde på 100 kg/m^3 for prosjektet.

Forsøket viser imidlertid at valg av prøvested må avveies nøye for å få med de ugunstigste grunnforholdene slik at riktige avveininger for hele prosjektet kan foretas.

7 Konklusjon

Ut fra registrert styrke på pelene og observerte setninger ser prosjektet ut til å ha hatt en positiv gjennomføring.

Valg av slangesetningsmåler fremfor vanlige nivellementsplater har ellers gitt en enklere og sikrere måte å følge opp setningsutviklingen. Slangene kan også benyttes ved eventuell langtidsoppfølging.

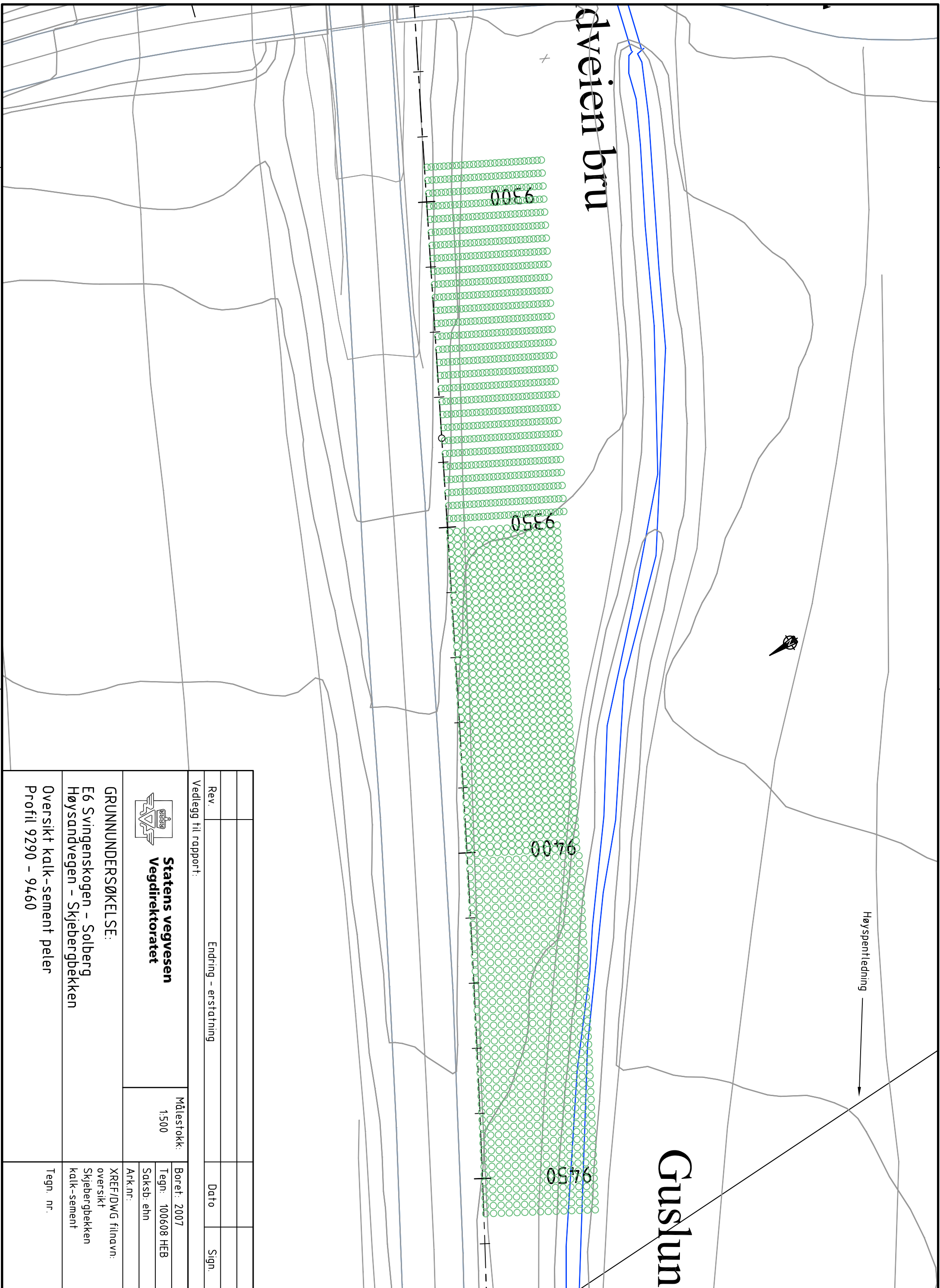
Når det gjelder prøveinstallasjon av kalk/semment-peler for å undersøke effekten av ulike innblandingmengder viser prosjektet at det er viktig å ha god oversikt over variasjoner i grunnforholdene i det aktuelle området slik at også ugunstige forhold kan tas med i et prøveopplegg.

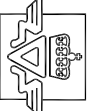
Med hensyn til kontraktutforming og oppfølging av produksjonen på anlegget synes det å være behov for en bedre presisering av kravene i kontrakten. For oppfølging er det viktig at dokumentasjon av alle produksjonsresultatene foreligger daglig slik som spesifisert i kontrakten. I og med at registreringene skjer digitalt på produksjonsenheten burde det også være enkelt å presentere alle dataene grafisk, bl.a. innblandingsarbeidet slik at resultatene her enkelt kan sammenlignes med kravene i kontrakten.

Dokumenterte data fra prosjektet viser at kravene i kontrakten er fraveket for et antall av pelene. Dette gjelder krav til stigningshøyde som i kontrakten er satt til maksimum 20 mm/omdr. mens det for disse pelene er benyttet 25 mm/omdr. og uten at rotasjonshastigheten er øket vesentlig slik at innblandingsarbeidet er under kravet på ≥ 9 . For kommende prosjekter må kravformuleringen og behovet for oppfølging vurderes nøye.

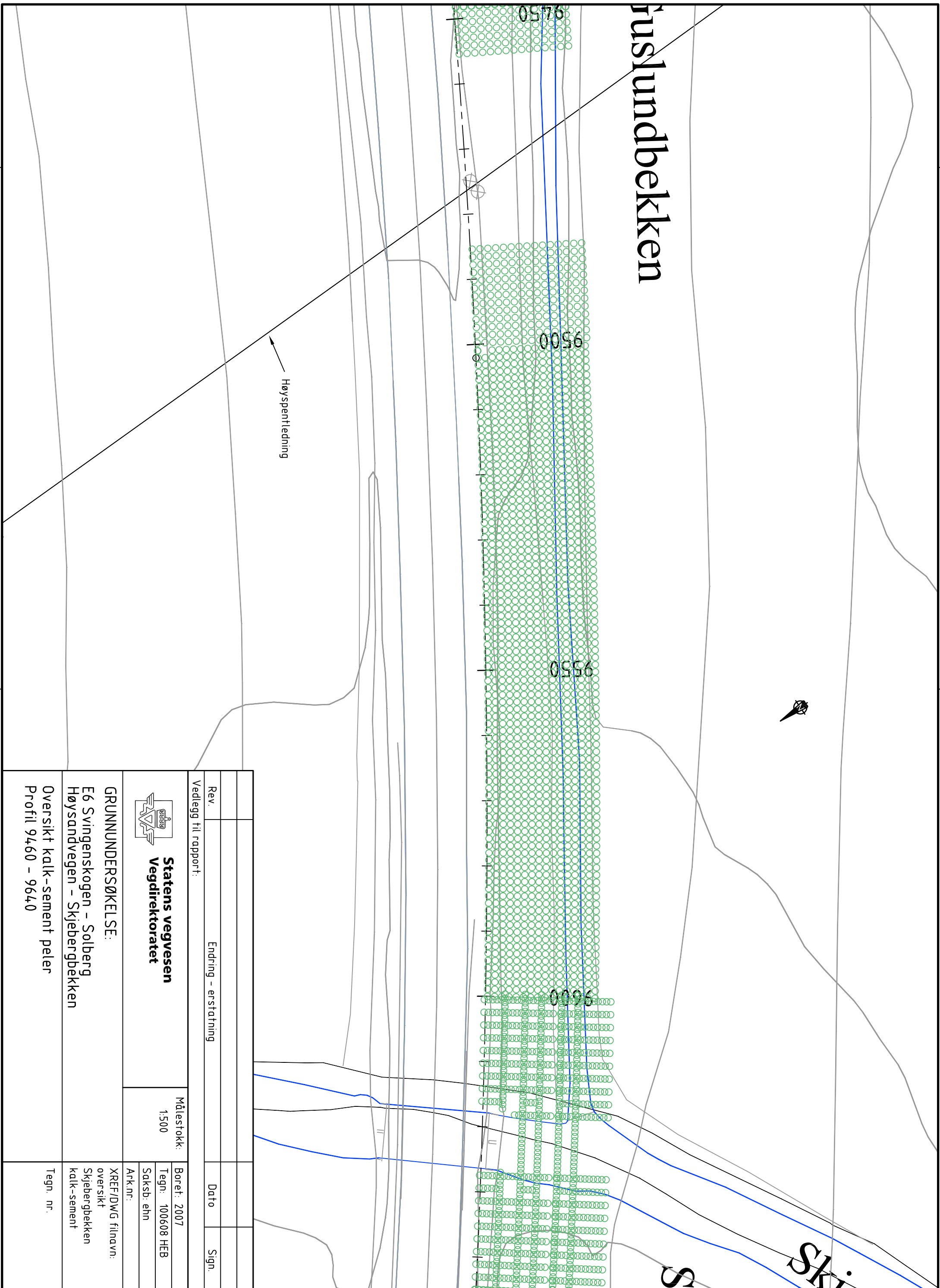
I kontrakten er det gitt krav til retthet av tårnet, men intensjonen med kravet er å holde kontroll med helningen. Formuleringen i kontrakten bør derfor endres på dette punkt. Siden det er et krav i kontrakten at tårnets helning skal kontrolleres daglig så bør dette også kunne dokumenteres på en enklere måte enn ved bruk av loddsnor. På utførende produksjonsenhet ble det observert at operatøren stilte inn en libelle på en visningsskjerm. Hvis dette er en digital registrering burde det også være enkelt å dokumentere resultatene på dette området.

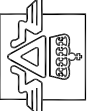
Ved kontroll av pelene med KPS-sonde ble disse utført i hovedsak etter 3 døgns herding. Resultatene viser relativt stor fasthet, så stor at det har vært vanskelig å penetrere de fleste pelene gjennomgående. Kontrollen er således av denne grunn mangelfull spesielt siden forboringen indikerer fall i sonderingsmotstand med dypet for enkelte peler. Ettersom fastheten i toppen har vært stor, har det ikke vært mulig å kontrollere fastheten i nevnte antatte svakere deler av pelen. Kontroll av pelene med KPS-sonde på et tidligere tidspunkt ville antagelig ha kunnet gi en bedre oversikt over pelenes gjennomgående konsistens.

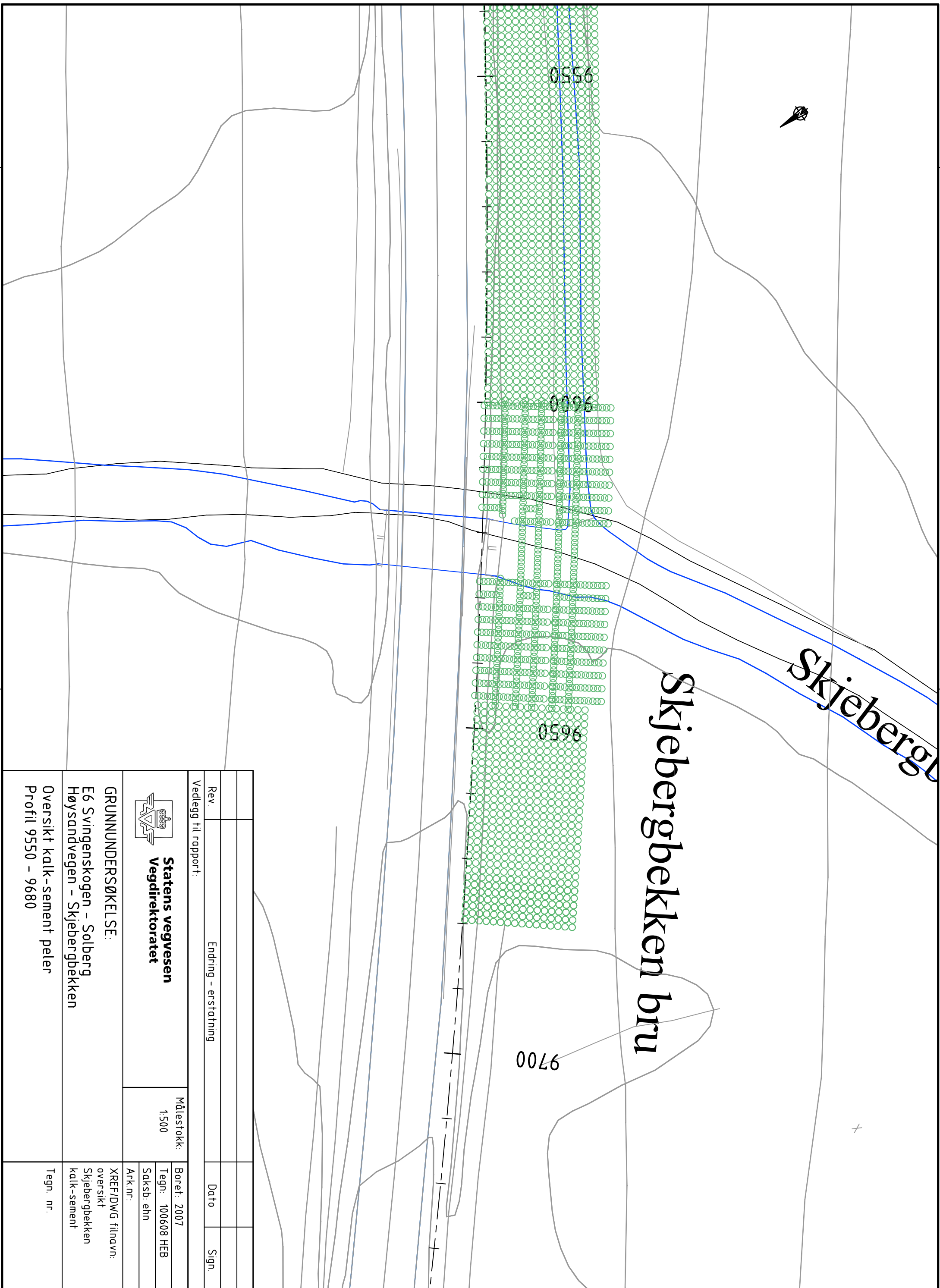


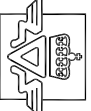
Rev.	Endring - erstating	Dato	Sign.
Vedlegg til rapport:			
 Statens vegvesen Vegdirektoratet		Målestokk: 1:500	Boret: 2007
GRUNNUNDERSØKELSE:			Tegn: 100608 HEB
E6 Svingskogen - Solberg			Saksb: ehn
Høysandvegen - Skjebergbekken			Ark.nr:
Oversikt kalk-sement peler			XREF/DWG filnavn:
Profil 9290 - 9460			oversikt
			Skjebergbekken
			kalk-sement
			Tegn. nr.

Høyslundbekken



Rev.		Endring - erstating		Dato		Sign.	
Vedlegg til rapport:				Målestokk: 1:500			
 Statens vegvesen Vegdirektoratet				Boret: 2007			
				Tegn: 100608 HEB			
GRUNNUNDERSØKELSE:				Saksb: ehn			
E6 Svingskogen - Solberg				Ark.nr:			
Høysandvegen - Skjebergbekken				XREF/DWG filnavn:			
Oversikt kalk-sement peler				oversikt			
Profil 9460 - 9640				Skjebergbekken			
				kalk-sement			
				Tegn. nr.			



Rev.		Endring - erstating		Dato		Sign.	
Vedlegg til rapport:				Målestokk: 1:500			
 Statens vegvesen Vegdirektoratet		GRUNNUNDERSØKELSE: E6 Svingskogen - Solberg Høysandvegen - Skjebergbekken		Boret: 2007		Tegn: 100608 HEB	
				Saksb: ehn		XREF/DWG filnavn: Skjebergbekken kalk-sement	
Oversikt kalk-sement peler Profil 9550 - 9680				Tegn. nr.			



Statens vegvesen

Statens vegvesen Vegdirektoratet
Postboks 8142 Dep
N - 0033 Oslo

Tlf. (+47 915) 02030
E-post: publvd@vegvesen.no

ISSN 1504-5005