

Til: Statens vegvesen region nord - seksjon geo og lab
v/: Elisabeth Rasmussen
Kopi:
Fra: NGI
Dato: 23. januar 2012
Dokumentnr.: 20120019-00-2-TN
Prosjekt: Tunnel gjennom Nordnesfjellet i Kåfjord, Troms
Utarbeidet av: Karin Norén-Cosgriff og Vidar Kveldsvik
Prosjektleder: Vidar Kveldsvik
Kontrollert av: Christian Madshus og Vidar Kveldsvik

Hovedkontor:
Pb. 3930 Ullevål Stadion
0806 Oslo

Avd Trondheim:
Pb. 1230 Pirsenteret
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

Estimering av sprengningsinduserte vibrasjoner ved potensielle fjellskredlokaliteter

Innhold

1	Innledning	2
2	Situasjonsbeskrivelse	3
3	Estimering av sprengningsinduserte vibrasjoner	5
3.1	Inndata til beregningene	5
3.1.1	Ladningsstørrelser	5
3.1.2	Avstander	5
3.2	Beregningsmetode	6
3.3	Bregnede vibrasjonshastigheter	7
4	Konklusjon og forslag til videre arbeid	8
5	Referanser	8

1 Innledning

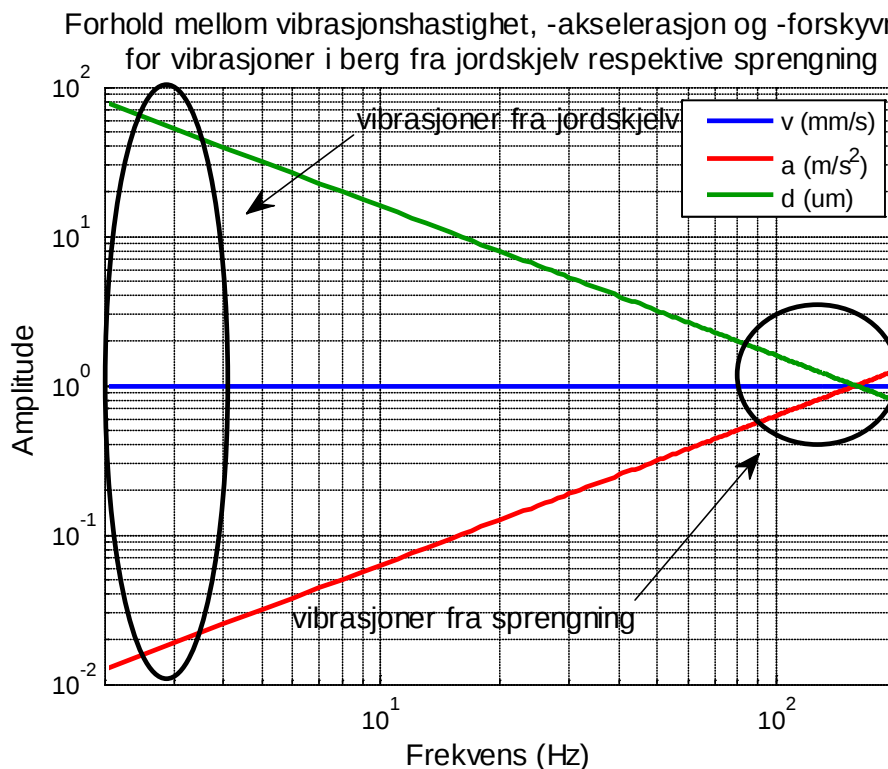
På oppdrag for Statens vegvesen region nord, seksjon geo og lab, har NGI estimert sprengningsinduserte vibrasjoner ved potensielle fjellskredlokaliteter ved bygging av tunnel gjennom Nordnesfjellet (Figur 1). Bakgrunnen for oppdraget er at det er identifisert potensielle fjellskred nær de fire aktuelle tunneltraseene (Henderson et al. 2007, Rønning et al. 2008 og Blikra og Kristensen 2011). Fjellskred vil kunne utløse tsunami (flodbølger) i fjordsystemet (Glimsdal og Harbitz 2008 og Glimsdal 2010).



Figur 1. Oversiktskart. Fra Finn.no.

Jordskjelvinduserte vibrasjoner er en velkjent utløser av fjellskred mange steder i verden (for eksempel Keefer 1984). Så langt vi vet, har sprengningsinduserte vibrasjoner ikke utløst fjellskred noen steder i verden. Det er mange eksempler på at det er drevet tunneler i potensielle fjellskredområder som dreneringstiltak (Moen 2007). Det er ikke rapportert økte problemer med stabilitet av de potensielle fjellskredene som følge av tunneldrivingen. Vibrasjoner fra jordskjelv og fra sprengning skiller seg imidlertid gjennom at vibrasjonenes frekvensinnhold er ulikt. Mens vibrasjoner fra jordskjelv har et typisk frekvensinnhold på 2 – 4 Hz i berg ligger frekvensinnholdet for vibrasjoner fra en sprengning i noen hundre meters avstand typisk over 100 Hz i fast berg. Forskjellen i frekvensinnhold medfører

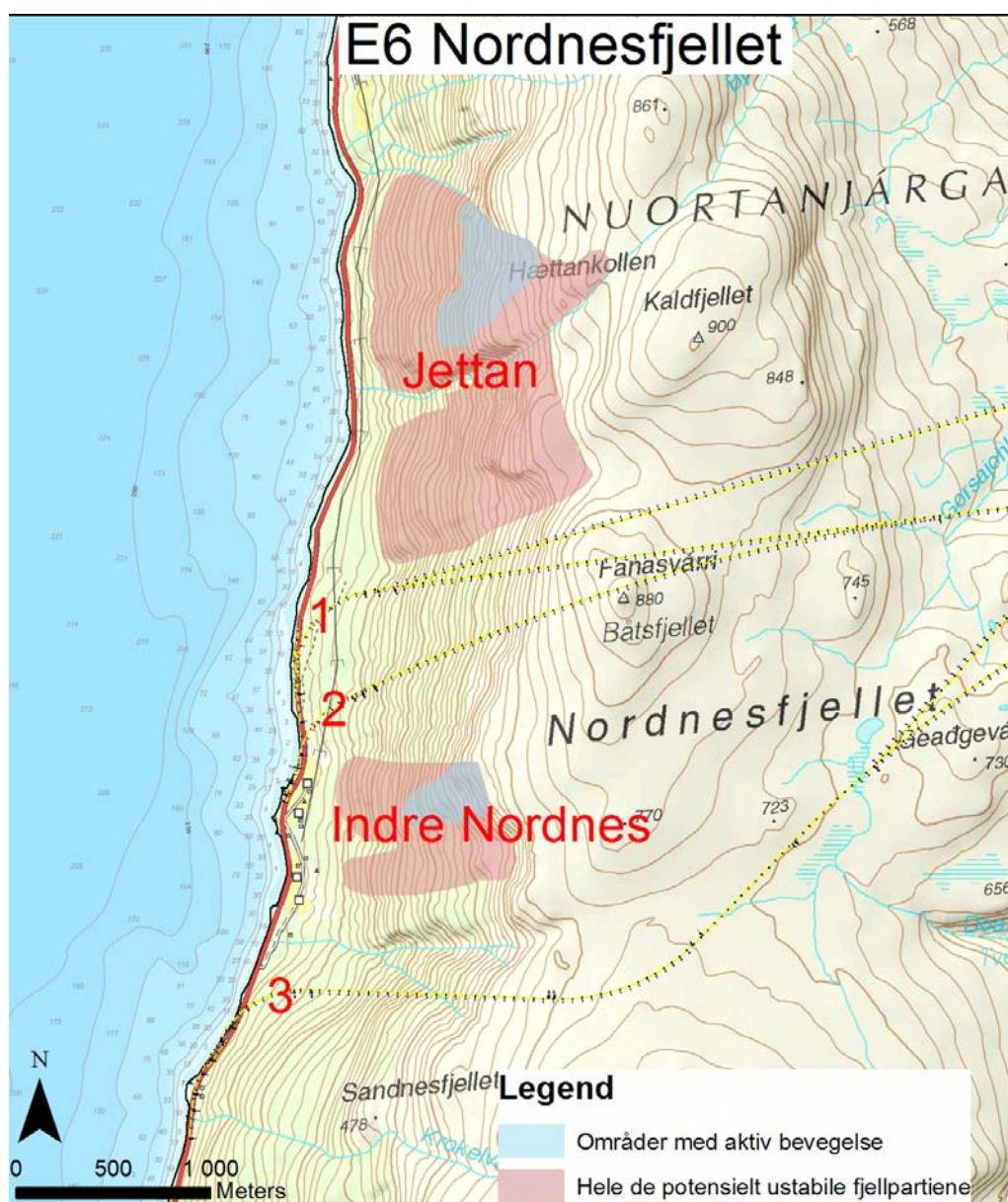
at for en og samme vibrasjonshastighet vil vibrasjoner fra jordskjelv gi vesentlig større forskyvninger men lavere akselerasjon enn vibrasjoner fra sprengning (Figur 2).



Figur 2. Forhold mellom vibrasjonshastighet, - akselerasjon og forskyvning for vibrasjoner i berg fra sprengning respektive jordskjelv.

2 Situasjonsbeskrivelse

Det finnes tre alternative tunneltraseer mellom vest- og østsiden av Nordnesfjellet (Figur 3). Tunnelpåhugget vil ligge rundt kote 10 og tunnelen skal bygges med stigning 1 % inn mot høybrekket ved tunnelens midtpunkt. Høyeste punkt i tunnelen blir kote 36.



Figur 3. Vestre deler av tre alternative tunneltraseer (gule linjer) og de potensielle fjellskredene Jettan og Indre Nordnes. Ekvidistansen er 20 m. Modifisert fra figur utarbeidet av oppdragsgiver.

Berggrunnen ved Jettan og Indre Nordnes består av ulike typer glimmerskifre og marmor (Rønning et al. 2008 og Blikra og Kristensen 2011). Skredmodellene som er utviklet betegnes som høyst foreløpige, og ulike skredvolum er estimert (Blikra og Kristensen 2011). Måling av forskyvninger ved forskjellige metoder pågår ved begge lokalitetene. Største forskyvninger er målt ved Jettan: lokalt opp til mer enn 50 mm per år innenfor grått område på Figur 3. Ved Indre Nordnes er forskyvningene noen få millimeter per år. For Jettan foreligger en skredmodell i form av et lengdesnitt som viser at laveste glideflate i det aktive området (Figur 3) ligger mellom kote 400 og kote 550.

Tilsvarende modell er ikke utarbeidet for Indre Nordnes, men fra Figur 3 indikeres at lavest glideflate for det aktive området ligger mellom kote 350 og kote 600.

Grunnundersøkelser er utført ved Jettan i form av ulike typer geofysiske målinger, inklusive refraksjonsseismikk (Rønning et al. 2008). Refraksjonsseismikken indikerer (delvis usikker tolkning) at trykkbølgehastigheten er større enn 5000 m/s under en horisont med lavere trykkbølgehastigheter. Det er ikke utført egne grunnundersøkelser for noen av de tre tunnelalternativene.

3 Estimering av sprengningsinduserte vibrasjoner

3.1 Inndata til beregningene

3.1.1 Ladningsstørrelser

Statens vegvesen v/ Elisabeth Rasmussen opplyser i e-post til NGI at med etthulls nonel tenning og halv salvelengde vil antagelig minste mulige enhetsladning per tennerintervall kunne komme ned i 4 kg. For full salvelengde vil minste mulige enhetsladning være 7 kg. Uten rystelsesbegrensning vil man ved maksimal uflaks med samtidlighet kunne få enhetsladninger opp i 40 kg.

Vi har derfor regnet med to alternative ladningsstørrelser:

- Alt 1 (Sannsynlig tilfelle): samvirkende ladning 7 kg
- Alt 2 (Worst case) samvirkende ladning 40 kg

3.1.2 Avstander

Korteste avstand mellom tunnel og de potensielle skredområdene er beregnet fra kart (Figur 3) og informasjon om kotehøyder for tunnelen. Avstandene er vist i Tabell 1.

Tabell 1. Korteste avstand fra tunnel til nærmeste potensielt fjellskredsområde.

Tunnel alternativ	Område	Korteste avstand (ca.)
1	Jettan: hele området med potensielt ustabilt fjellparti.	130 m
	Jettan: område med aktiv bevegelse.	1100 m
2	Indre Nordnes: hele området med potensielt ustabilt fjellparti.	200 m
	Indre Nordnes: område med aktiv bevegelse.	600 m
3	Indre Nordnes: hele området med potensielt ustabilt fjellparti.	500 m
	Indre Nordnes: område med aktiv bevegelse.	900 m

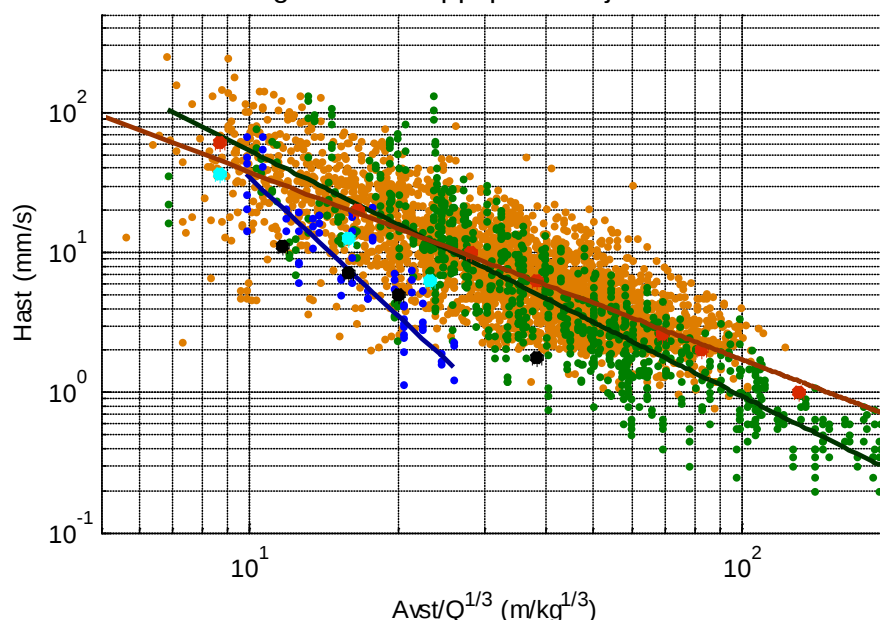
3.2 Beregningsmetode

I forbindelse med pågående revisjon av NS 8141 har NGI bygget opp en database for vibrasjoner fra sprengning. Databasen inneholder per i dag mer enn 9700 målinger hentet fra utbyggingen av dobbeltsporet Lysaker – Sandvika, Norra Länken i Stockholm, Apenesfjellet i Fredrikstad og ny jernbanetunnel under Holmestrand. Til mer enn 5100 av målingene er det også koblet informasjon om ladningsstørrelser (målinger fra Holmestrand, Norra Länken og Apenesfjellet). Vi har brukt databasen til å estimere hvilke vibrasjonsverdier som kan oppstå i de potensielle skredområdene ved utbyggingen av tunnel gjennom Nordnesfjellet. For sammenligning er det også utført beregninger i henhold til metode beskrevet i 14A-98 Fjellsprengningsteknikk (NTNU). Beregningene er utført for kompendiets tre ulike fjellkvaliteter: ”homogent uoppsprukket fjell”, ”basiskurve” og ”sterkt oppsprukket fjell”.

Figur 4 viser målt toppverdi av vibrasjonshastighet plottet mot avstand/ladningsstørrelse^{1/3} i log-log skala. Vi har også lagt inn rett linje som beste tilpassning til måledataene. Beregnede vibrasjonsverdier i henhold til metode beskrevet i 14A-98 er også plottet sammen med måledata for sammenligning. Figur 4 viser at det er best overensstemmelse mellom måledata og beregnede verdier fra Norra Länken/Apenesfjellet og beregningsverdier hvis man antar ”homogent uoppsprukket fjell” (i hht metode i 14A-98). Måledata fra Holmestrand avtar raskere med avstand/ladningsstørrelse^{1/3} enn beregningsverdiene for alle tre fjellkvalitetene i 14A-98. Med hensyn til vibrasjonsverdier vil situasjonen med homogent uoppsprukket fjell gi de kraftigste vibrasjonene ettersom vibrasjonsverdiene avtar mindre med avstand/ladningsstørrelse^{1/3} for denne fjellkvaliteten enn for mer oppsprukket fjell. Som en konservativ tilnærming har vi derfor brukt den røde kurven i Figur 4 (basert på måledata fra Norra länken) til grunn i beregningene av hvilke vibrasjonsverdier som kan oppstå i de potensielle skredområdene ved utbyggingen av tunnel gjennom Nordnesfjellet.

Figur 4 viser at spredningen i måledata er relativt stor. Vi har ikke tatt hensyn til dette i våre beregninger ettersom vi antar at en stor del av spredningen kan forklares med at faktisk ladningsstørrelse i mange tilfeller avviker fra den som er oppgitt i sprengningsprotokollen (utilsiktet samtidighet). Spredningen er da indirekte tatt hensyn til gjennom at det også er regnet på en ”worst case” enhetsladning på 40 kg.

Vibrasjonshastighet som funksjon av avstand/ladning^{1/3}
Grønt: Målt Norra länken, Blått: Målt Holmestrand, Orange: Målt Apenes
Rødt beregnet homogent fjell. Turkise beregnet basiskurve
Svart: beregnet sterkt oppsprukket fjell



Figur 4. Toppverdi av vibrasjonshastighet i mm/s plottet mot avstand/ladningsstørrelse^{1/3}.

3.3 Beregnede vibrasjonshastigheter

Beregnede vibrasjonshastigheter vises i Tabell 2.

Tabell 2. Beregnede vibrasjonshastigheter.

Tunnel alternativ	Område	Ladningsstørrelse kg	Toppverdi vibrasjonshastighet (mm/s)
1	Jettan: hele området med potensielt ustabilt fjellparti.	7	2,8
		40	6,3
	Jettan: område med aktiv bevegelse.	7	0,2
		40	0,4
2	Indre Nordnes: hele området med potensielt ustabilt fjellparti.	7	1,8
		40	3,9
	Indre Nordnes: område med aktiv bevegelse.	7	0,4
		40	0,8
3	Indre Nordnes: hele området med potensielt ustabilt fjellparti.	7	0,5
		40	1,0
	Indre Nordnes: område med aktiv bevegelse.	7	0,2
		40	0,5

4 Konklusjon og forslag til videre arbeid

Beregningene viser at for en 40 kg enhetsladning kan det forventes en vibrasjonshastighet rundt 6 mm/s for alternativ 1 i nærmeste området med potensielt ustabilt fjellparti (Jettan). For alternativ 2 og 3 kan det forventes ca. 4 mm/s respektive ca. 1 mm/s ved Indre Nordnes.

Hvis man istedenfor ser på vibrasjonshastigheten i nærmeste område med aktiv bevegelse, hvilket vi anser som mest relevant, gir alternativ 1 den laveste forventede vibrasjonshastigheten med 0,4 mm/s ved Jettan, mens alternativ 2 og 3 gir 0,8 mm/s respektive 0,5 mm/s ved Indre Nordnes.

En reduksjon av ladningsstørrelsen fra 40 kg til 7 kg vil gi omtrent halvparten så høye vibrasjonshastigheter som det som er beskrevet over.

Konklusjonen er at de estimerte vibrasjonene er så små at de ikke vil påvirke stabiliteten av de ustabile fjellpartiene ved Jettan og Indre Nordnes. Vi mener at det ikke er nødvendig å utføre flere analyser/beregninger i prosjektet med hensyn til denne problematikken.

5 Referanser

Blikra L H og Kristensen L (2011). The unstable rock slopes at Nordnesfjellet in Troms: Displacements, revised scenarios and early-warning levels. Report nr. Åknes 06.2011, Draft.

Glimsdal S og Harbitz C B (2008). Beregning av mulige fjellskred og flodbølger. NGI rapport 20071677-1 datert 2008-01-23.

Glimsdal S (2010). Grovanalyse for et skredvolum på 22 millioner m³. NGI rapport 20100617-00-1-R datert 2010-08-13.

Henderson I H C, Saintot A, Venvik-Ganerød G og Blikra L H (2007). Fjellskredkartlegging i Troms. NGU rapport 2007.041.

Keefer D K (1984). Landslides caused by earthquakes. Bull. Geol. Soc. Am 1984;95:406-421.

Moen B (2007). Åknes – Vurdering av mulighet for drenering og andre stabiliserende tiltak. Prosjektoppgave ved NTNU. Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi. Institutt for geologi og bergteknikk.

Rønning J S, Dalsegg E, Heincke B H, Juliussen H og Tønnesen J F (2008). Geofysiske målinger på Nordnesfjellet sommeren 2007, Kåfjord kommune, Troms. NGU rapport 2008.024.

14A-98 Fjellsprengeteknikk Sprengning med restriksjoner NTNU Institutt
for bygg- og anleggsteknikk

NS8141:2001 Vibrasjoner og støt Måling av svingehastighet og beregning av
veiledende grenseverdier for å unngå skade på byggverk.

Kontroll- og referanseside/ Review and reference page



Dokumentinformasjon/Document information							
Dokumenttittel/Document title Estimering av sprengningsinduserte vibrasjoner ved potensielle fjellskredlokaliteter						Dokument nr./Document No. 20120019-00-2-TN	
Dokumenttype/Type of document		Distribusjon/Distribution				Dato/Date 23. januar 2012	
☐ Rapport/Report ☒ Teknisk notat/Technical Note		☐ Fri/Unlimited ☒ Begrenset/Limited ☐ Ingen/None				Rev.nr./Rev.No.	
Oppdragsgiver/Client Statens vegvesen region nord - seksjon geo og lab.							
Emneord/Keywords Sprengning, vibrasjoner, fjellskred							
Stedfesting/Geographical information							
Land, fylke/Country, County Norge, Troms.						Havområde/Offshore area	
Kommune/Municipality Kåfjord.						Feltnavn/Field name	
Sted/Location Nordnesfjellet						Sted/Location	
Kartblad/Map 1634 III Lyngseidet						Felt, blokknr./Field, Block No.	
UTM-koordinater/UTM-coordinates Sone 33 N7725087 E709927							
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	KMR <i>[signature]</i>	for CM <i>[signature]</i>			VK	<i>[signature]</i>
Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release		Dato/Date 2012-01-23		Sign. Prosjektleder/Project Manager <i>[signature]</i> Vidar Kveldsvik			

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

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 NGI.

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 NGI.



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