

Eid kommune/Opal Entreprenør AS

Presteelva - Myroldhaug

Utredning av kvikkleiresone



Oppdragsnr.: 5176696/5176419 Dokumentnr.: 5176419-RIG01 Versjon: J03
2018-12-14

Oppdragsgiver: Eid kommune/Opal Entreprenør AS
Oppdragsgivers kontaktperson: Torfinn Myklebust/Ole Petter Henden
Rådgiver: Norconsult AS, Grandfjæra 24, NO-6415 Molde
Oppdragsleder: Magne Bonsaksen/Ingunn L. Simonhjell
Fagansvarlig: Torgeir Døssland
Andre nøkkelpersoner: Trym Abrahamsen/Tore Landsverk Blindheim

J03	2018-12-14	Etter andre runde uavhengig kontroll	ToDos	ToLBI	IngSim
J02	2018-09-24	Etter uavhengig kontroll	ToDos	RoGje	IngSim
J01	2018-06-11	Før uavhengig kontroll	TrOAb	ToDos	MaBon
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

Sammendrag

Mellom Presteelva i vest og Myroldhaug i øst, like nord for Nordfjordeid sentrum foreligger det tre ulike reguleringsplaner. Ett av disse planområdene er et boligfelt som Opal Entreprenør AS ønsker å bygge ut. Det er tidligere påvist kvikkleire i området, og derfor er det nødvendig med en kvikkleireutredning.

Flere rapporter fra tidligere grunnundersøkelser er gjennomgått og det er i tillegg utført supplerende grunnundersøkelser i 43 posisjoner. I store deler av tidligere og nye posisjoner er det indikasjoner på eller påvist sprøbruddmateriale. Kvikkleiresonenes utbredelse kan derfor ikke avgrenses utelukkende basert på ikke-kvikke posisjoner. I stedet avgrenses sonen av topografiske forhold som definerer løsne- og utløpsområdet.

Området preges av flere bratte skråninger og ravinedaler opp mot dalsiden. Det er sannsynlig at én eller flere av disse ravinedalene er forårsaket av skred.

Det er utført stabilitetsberegninger i 10 profiler i sonen. Kombinasjonen av kvikkleire og bratte skråninger og raviner karakteriserer store deler av dalen og det er derfor sannsynlig at tilsvarende utfordringer oppstår i forbindelse med andre kvikkleireutredninger. Det bør avklares med NVE hvordan dette kan løses for dette tiltaket og generelt i Nordfjordeid.

Det er satt følgende føringer for området.

- Konsekvensklasse: **CC3**
- Faregrad: **middels** (poengsum 24)
- Tiltaksklasse: **K4**
- Materialfaktor: **1,4** generelt (NVE)

Det er 1 område der det ikke er funnet tilfredsstillende beregningsmessig sikkerhet. Dette gjelder skråningen ned mot Presteelva. Basert på de styrkeparametrene som er brukt i denne rapporten må det derfor gjøres tiltak. Stabilitetsanalyser viser at det er mulig å oppnå tilfredsstillende stabilitet ved en utslaking av skråningen i nedre del av området kombinert med grunnforsterking i form av KS-peler i øvre del av området. Her kan muligens tilstrekkelig sikkerhet dokumenteres ved supplerende grunnundersøkelser og reviderte beregninger. Potensielle økonomiske innsparinger taler sterkt for at supplerende undersøkelser må utføres dersom det skal gjennomføres tiltak i dette området.

Innhold

1	Orientering	6
2	Grunn- og topografiske forhold	7
2.1	Grunnundersøkelser	8
3	Kvikkleirevurdering	10
3.1	Løsneområde	10
3.2	Utløpsområde	10
3.3	Tiltaksklasse og faregrad	10
4	Parametervalg	12
4.1	Lab	12
4.2	Poretrykksmåling	14
4.3	Trykksondering	14
4.4	Sammenhengen mellom skjærfasthet og overkonsolideringsgrad	14
4.5	Benyttede parametere	15
4.6	Materialfaktor	16
5	Stabilitetsberegninger	17
5.1	Profil 1-1	17
5.2	Profil 2-2	18
5.3	Profil 3-3	18
5.4	Profil 4-4	19
5.5	Profil 5-5	19
5.6	Profil 6-6	20
5.7	Profil 7-7	21
5.8	Profil 8-8	21
5.9	Profil 9-9	22
5.10	Profil 10-10	22
5.11	Vurderinger	22
5.12	Oppsummering av tiltak	23
6	Konklusjoner	25
6.1	Planområde 1; Skuleområdet	25
6.2	Planområde 2; Golvsengane	25
6.3	Planområde 3; Myroldhaug	25

Vedlegg

Innhold	Vedlegg
Geotekniske tegninger, plan og profiler	A
Tegningsforklaring totalsondering	B
Tegningsforklaring trykksondering	C
Poretrykksmålinger	D
Laboratorierapport	E
Tolkning av treaksialforsøk	F
Tolkning av ødometerforsøk	G
Tolkning av trykksondering	H

Tegninger

Innhold	Format	Målestokk	Tegn. nr.
Situasjonsplan	A0	1:1000	V101
Oversikt kvikkleiresone med relieffkart	A1	1:2000	V102
Oversikt med stabiliserende tiltak	A3		V103
Enkeltboringer	A3	1:200	V201 – V225
Stabilitetsberegninger	A3 / A3xA2	1:500 / 1:1000	V301 – V312

1 Orientering

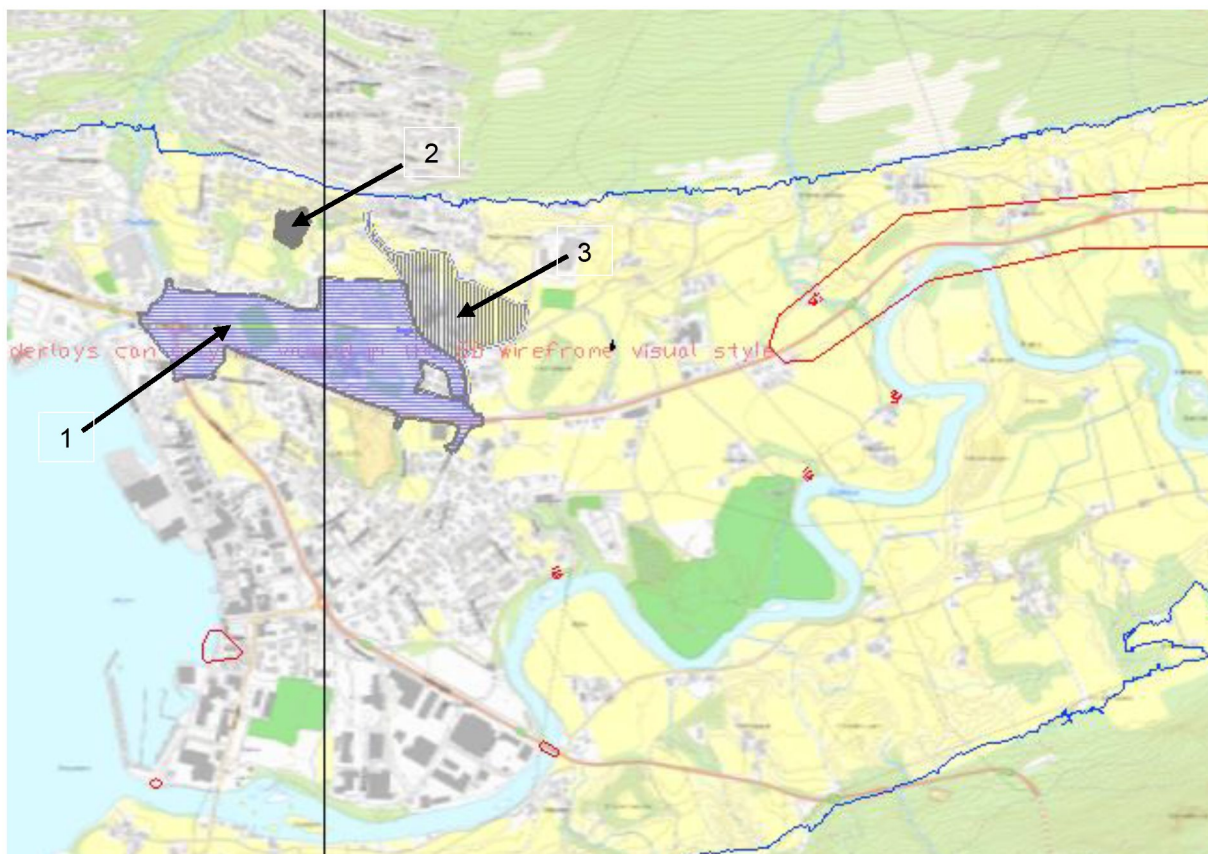
I et område i dalsiden like nord for Nordfjordeid sentrum, mellom Presteelva i vest og Myroldhaug i øst foreligger følgende planer:

1. Forslag til reguleringsplan for et område mellom E39 og Skulevegen fra Eid vgs til Myklebust, omtalt som Skule- og idrettsområdet.
2. Forslag til reguleringsplan for område B23 på Golvsengane
3. Vedtatt reguleringsplan for et område ved Myroldhaug

Planområdene er markert på kartutsnitt i Figur 1.

I planområdet B23 Golvsengane (merket 2) planlegger Opal Entreprenør AS en utbygging av boligfelt. Tiltaket er planlagt på et platå som avgrenses av raviner mot vest og øst samt en skråning mot sør.

Det er tidligere avdekket flere kvikkleireforekomster i nærheten av tiltaket som betyr at det må gjøres kvikkleireutredning av området. Norconsult AS er i den forbindelse engasjert som geoteknisk rådgiver.

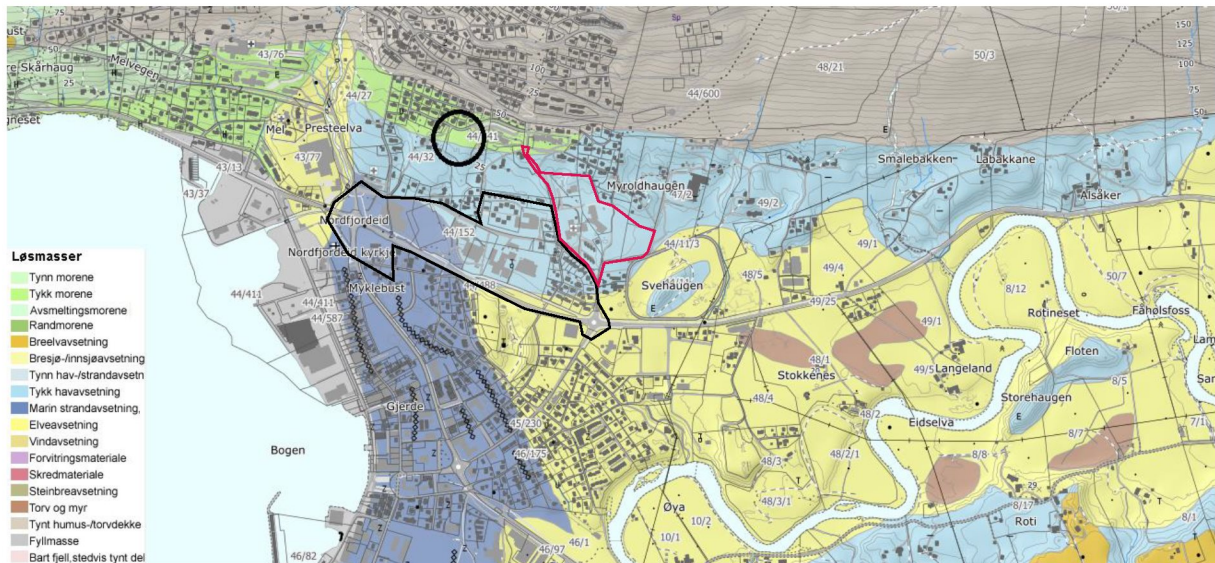


Figur 1: Områdekart av Nordfjordeid med beliggenhet av de aktuelle planområdene markert.

2 Grunn- og topografiske forhold

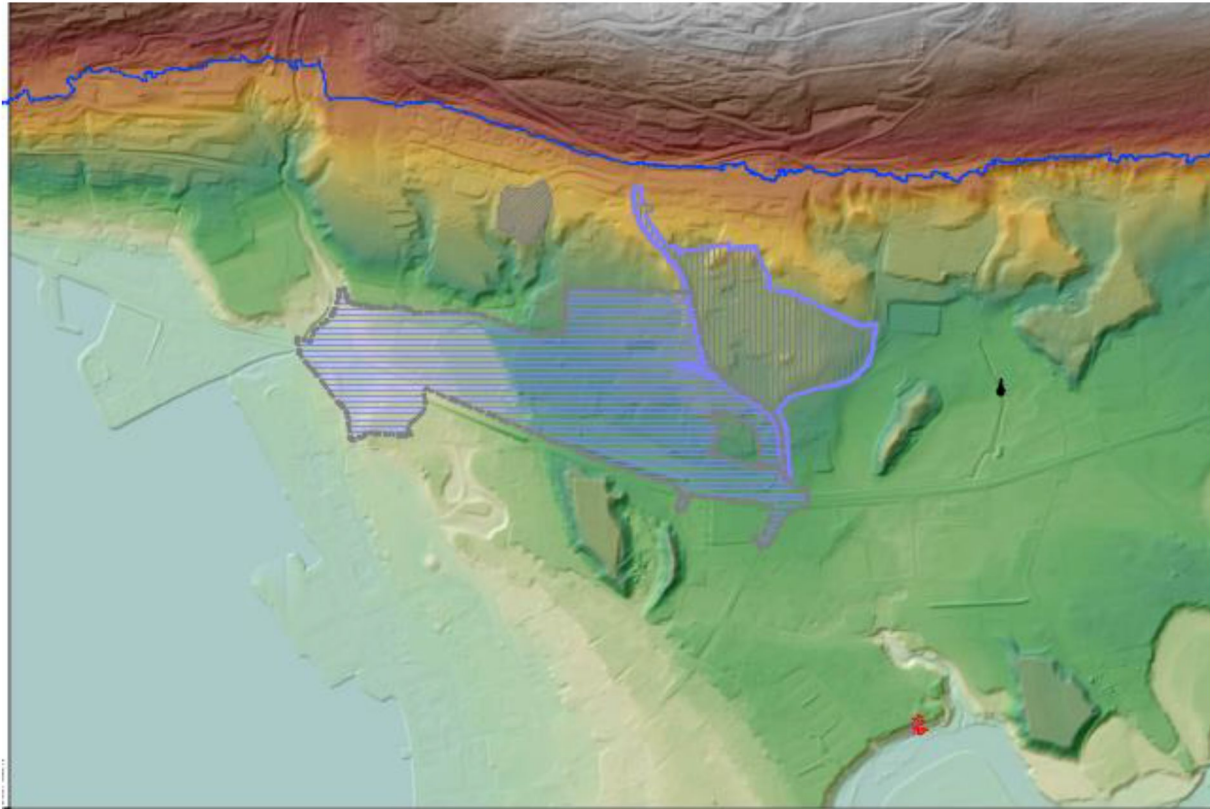
Løsmassekart fra NGU, Figur 2, tyder på at områdene langs dalsidene og i sjøkanten består av hav- og marin strandavsetning. Sentralt i dalen er løsmassene dominert av elveavsetninger. Tiltaket ligger, i følge kartet, på grensen mellom morene og havavsetning.

I henhold til Beskrivelse til kvartærgeologiske kart, Ref. 1, var det ved forrige istid (Nordtrinnet 10500-10000 år siden) en brefront ved vestenden av Hornindalsvannet, og Eidsdalen var havbunn.



Figur 2: Løsmassekart fra NGU.no. De aktuelle planområdene er markert med omriss og sirkel.

I området rundt tiltaket (og ellers i dalen) er det flere bratte skråninger og ravinedaler langs dalsiden. Det er sannsynlig at platåene som ligger langs dalsiden er tidligere havbunn og at skråningene og ravinedalene er forårsaket av en kombinasjon av elveerosjon og tidligere skredhendelser.



Figur 3: Laserscan av Nordfjardeid fra hoydedata.no. De aktuelle planområdene er markert med ulike skraverer.

2.1 Grunnundersøkelser

Det er utført grunnundersøkelser i 43 nye posisjoner i tillegg til at det er flere tidligere grunnundersøkelser tilgjengelig. På Tegning V101 og V102 er både nye og gamle posisjoner tegnet inn. Posisjoner som er utført i forbindelse med denne rapporten har prefiks «NO», mens prefiks og tilhørende rapport for tidligere undersøkelser er vist i Tabell 1.

Det henvises til Tabell 10 for oversikt over grunnundersøkelser som er utført i forbindelse med denne rapporten.

Tabell 1: Oversikt over tidligere grunnundersøkelser.

Prefiks	Utførende	Rapportnr.	Rapportnavn
V	Norconsult	5171415	Eid VGS
VS	Norconsult	5171849	Eid VGS Grunnundersøkelser Eid VGS Supplerende
P	GeoVest Haugland	2007045-1	Grunnundersøkelser
MC	Multiconsult	614883-RIG-RAP-001	Eid - Myroldhaug
MM	Multiconsult	612964-RIG-RAP003	Mogrenda
TB	GeoVest Haugland	2008004-1	Nordfjardeid Skule
N	Norconsult	5145080	Nordfjardeid Skule og flerbrukshall
H	GeoVest Haugland	88.020	Eid barneskule
HK	SVV	023192-01	Hjelle - Korsen
KH	SVV	4009	Kryss Hjelle

G	GeoVest Haugland	2005.040 og 2008.169	Boligfelt Norfjordeid
S	Norconsult	5122365	Moengården
GS	Multiconsult	612964-1	G/S-veg Eid - Hjelle
FS	GeoVest Haugland	1998059-3 / 91.028-1	Sjøgata sør
NH	GeoVest Haugland	2002052-1	Nordfjordeid Næringshage
U	GeoVest Haugland	95.042-1	Utglidning på Hjelle
Ingen	Norconsult	5143552	Myroldhaug detaljregulering
M	Norconsult	5125320	Massedeponi Nordfjordeid

Innenfor aktuelt område viser de fleste sonderinger lignende lagdeling, selv om mektigheten av de individuelle lagene varierer. Generelt kan lagdelingen oppsummeres som følger, fra terreng til berg:

- topplag som stedvis er humusholdig.
- lag med kohesjonsmasser som i hoveddelen av området antas å være kvikke
- lag med friksjonsmasser som stort sett er faste
- lag med kohesjonsmasser som stort sett antas å være kvikke
- fast lag med friksjonsmasser. Dette laget mangler i flere av posisjonene.

Både lagdelingen og bergoverflaten ser ut til å falle mot sør. Mot nord og høyere terreng forsvinner de kvikke massene i de fleste posisjonene.

Det påpekes at nevnte lagdeling er en generell oppsummering av området og at det finnes posisjoner som fraviker fra dette.

3 Kvikkleirevurdering

Det er påvist kvikkleire i flere posisjoner i området der det er tatt opp prøver i tillegg til at flere totalsonderinger (uten prøvetaking) viser indikasjoner på sprøbruddmateriale.

3.1 Løsneområde

Mot nord, oppover i skråningen, ligger marin grense på kote +50 og det er i tillegg observert bergblotninger flere steder på denne høyden. Øst i området er det i tillegg flere posisjoner som vurderes som ikke-kvikke nedenfor marin grense.

Vest i området ligger Presteelva som avgrenser sonen. Løsneområdet mot vest begrenses av bunnen av skråningen ned mot elven, eller boringer som ikke vurderes som indikasjoner på kvikkleire.

Mot sør og øst avtar helningen og området blir relativt flatt, noe som avgrenser løsneområdet. Det påpekes at de aller fleste av posisjonene sør for løsneområdet også antas å inneholde kvikkleire/sprøbruddmateriale. Løsneområdet er markert med skravur på vedlagte tegning V101.

Nede ved fotballbanen (Profil 8, Tegning V101), er det en bratt skråning med høydeforskjell på rundt 8 m. Området både nedenfor og over skråningen er derimot flatt, så et eventuelt skred her vil ikke ha innvirkning på løsneområdet til resten av sonen. Likevel markeres dette som et separat løsneområde inne i utløpsområdet på tegning V101.

3.2 Utløpsområde

I NVE-rapport 14/2016, Ref. 2, er det foreslått metode for vurdering av utløpsområde basert på visse kriterier. I henhold til rapporten opptrer retrogressive skred når mektigheten av kvikkleire over kritisk skjærflate er over 40 %, i tillegg til at omrørt skjærfasthet er under 1 kPa. Dette er tilfellet for de aller fleste profilene som er analysert i den foreliggende rapporten. I motsatt tilfelle er det mest sannsynlig med flak- eller rotasjonsskred uten retrogressiv utvikling, avhengig av topografiske forhold.

Utløpsområdet som er knyttet til det store løsneområdet er markert med skravur på vedlagte tegning V101.

Ettersom løsneområdet i dette tilfellet omfatter et relativt stort område, vil trolig relevant bruddmekanisme avhenge av hvor et eventuelt initialras inntreffer. I tillegg er det varierende topografiske forhold i utløpsområde som vil spille inn på utløpsdistansen.

3.3 Tiltaksklasse og faregrad

Faregrad er vurdert i henhold til NVE veileder 7/2014, Ref. 3, og oppsummert i Tabell 2.

Innenfor løsne- og utløpsområdet er det ikke kjennskap til dokumenterte skredhendelser. Det er derimot flere ravinedaler langs skråningen som enten skyldes tidligere elveerosjon eller skredhendelser. Det er vanskelig å fastslå sikker årsak, men det vurderes som sannsynlig at én eller flere av disse er forårsaket av skred. Det er for øvrig flere dokumenterte skredhendelser andre steder i dalen opp mot Hornindalsvatnet. Ved Eid omsorgssenter (inne i planområde 3, Myroldhaug) er det funnet torv på rundt 10 m dybde, som kun kan forklares med tidligere skredhendelser.

Tabell 2: Vurdering av faregrad.

Faktorer		Vekttall	Faregrad, score				Score
			3	2	1	0	
Tidligere skredaktivitet		1	Høy	Noe	Lav	Ingen	2
Skråningshøyde, meter		2	> 30	20 - 30	15 - 20	< 15	4
Tidligere/nåværende terrengnivå (OCR)		2	1,0 - 1,2	1,2 - 1,5	1,5 - 2,0	> 2,0	0
Poretrykk	Overtrykk ¹⁾	3	> +30	10 - 30	0 - 10	Hydrostatisk	6
	Undertrykk	-3	> -50	-(20 - 50)	-(0 - 20)		
Kvikkleiremektighet		2	> H/2	H/2 - H/4	< H/4	Tynt lag	6
Sensitivitet		1	> 100	30 - 100	20 - 30	< 20	3
Erosjon ²⁾		3	Aktiv/glid	Noe	Lite	Ingen	0
Inngrep	Forverring ³⁾	3	Stor	Noe	Liten	Ingen	3
	Forbedring	-3	Stor	Noe	Liten		
Sum			51	34	17	0	24
% av maksimal sum			100 %	67 %	33 %	0 %	47 %

¹⁾ Det er registrert både over- undertrykk i området. Plasseringa er slik at profiler med overtrykk ligger i foten av bratte partier, og dette tillegges størst vekt i denne vurderinga. Se også punkt 4.2.

²⁾ Erosjon kunne tenkes å opptre i/ved Presteelva. Men her der det dels synlig berg i elveløpet og dels er det murt forbygning slik at erosjonsfaren i realiteten er ubetydelig.

³⁾ Inngrep er begrenset til mindre planeringsarbeid og små tilleggslaster fra boligbygg på område B23 på Golvsengane.

Samlet poengsum blir 24, som betyr at sonen kategoriseres med middels faregrad. I henhold til Tabell 5.2 i Ref. 3 havner tiltaket i tiltakskategori K4 ettersom det medfører tilflytting/personopphold av mer enn 2 boenheter. For faregrad lav og middels og tiltakskategori K4 er det i henhold til tabellen krav om:

- a) Sikkerhetsfaktor for områdestabilitet $F \geq 1,4$ eller
- b) Forbedring i henhold til Figur 5.1 (Ref. 3) hvis $F < 1,4$.

Videre kreves det at utredningen kvalitetssikres av uavhengig foretak. Det henvises til Ref. 3 for oversikt over hvilke aspekter som skal dekkes av kvalitetssikringen.

4 Parametervalg

4.1 Lab

Det er tatt opp 23 uforstyrrede prøver fordelt på 8 posisjoner. I posisjon NO15 er det tatt opp 4 blokkprøver, mens det er 54 mm sylinderprøver i posisjon NO16, NO17 og NO52. De resterende uforstyrrede prøvene er 75 mm sylinderprøver.

I tillegg er det tatt opp flere representative poseprøver. Det henvises til Vedlegg E for fullstendig oversikt over prøvetaking og laboratoriearbeid.

4.1.1 Treksialforsøk

Kvaliteten av treksialforsøkene er vurdert i henhold til Figur 2.20 i SVV hb V220 (Ref. 5) som vurderes etter utpresset porevann under konsolidering. Med verdier oppgitt i cm^3 , angis det at 0-5 er «godt» forsøk, 5-10 er «akseptabelt», mens >10 er «dårlig» forsøk.

Tabell 3: Tolkede verdier fra treksialforsøk.

Pos.	Lab nr.	Dybde [m]	Type	Skjærfasthet		Friksjons- vinkel ϕ [°]	Attraksjon a [kPa]	Brudd- tøyning ϵ_f [%]	Kvalitet
				C_{uc} [kPa]	C_{ue} [kPa]				
NO15	2049B	4,7	CUIC	71,4		35	15	1,5	Godt
NO15	2050B	6,5	CUIC	82,4		35	17	0,7	Godt
NO15	2052B	7,6	CUIC	99,5		35	25	0,7	Godt
NO15	5052B	7,6	CUIE		45,8	35	12	0,4	Godt
NO16	1977D	7,7	CUIC	74,6		35	14	1,8	Godt
NO17	1965C	1,6	CUIC	20,3		35	14	8,0	Akseptabelt
NO17	1982A	8,4	CUIC	150,0		35	10	10,0	Akseptabelt
NO17	1938B	9,5	CUIE		29,0	35	0	2,0	Akseptabelt
NO32	1999C	3,6	CUIC	87,0		35	13	4	Godt
NO52	391B	32,5	CUAC	173,0		35	5	1,5	Akseptabelt

4.1.2 Direkte skjærforsøk

Tabell 4: Tolkede verdier fra direkte skjærforsøk.

Posisjon	Lab nr.	Dybde [m]	Skjærfasthet	Bruddtøyning
			C_{uD} [kPa]	ϵ_f [%]
NO15	2052A	7,54 - 7,56	58	5
NO16	1977A	7,36 - 7,38	49	5,5
NO17	1982D	8,66 - 8,68	68,5	14
NO17	1983D	9,64 - 9,66	40	14

4.1.3 Ødometerforsøk

Kvaliteten av ødometerforsøkene er vurdert i henhold til Figur 2.20 i SVV hb V220 (Ref. 5) der det antas at prøvens volumendring tilsvarer volum av utpresset porevann.

Det er en generell forståelse av at ødometerforsøk uten lettolkelig prekonsolideringsspenning indikerer forstyrret prøve. Selv om den dypeste prøven i NO17 klassifiseres som «akseptabelt» i henhold til klassifiseringsmetoden, er det derfor i realiteten ikke et godt forsøk.

Tabell 5: Tolkede verdier fra ødometerforsøk.

Pos.	Lab nr.	Dybde [m]	Type	Pre-konsolidering σ_c' [kPa]	Referanse-spenning σ_r [kPa]	Modul-tall m [-]	Modul M [MPa]	Kvalitet
NO15	2049B	4,60 - 4,62	CRS	600	240	17	13,5	Akseptabelt
NO15	2052A	7,52 - 7,54	CRS	530	240	20	12	Godt
NO16	1977B	7,42 - 7,44	CRS	380	110	14	9,5	Akseptabelt
NO17	1981D	1,64 - 1,66	CRS	60	10	10	2,5	Akseptabelt
NO17	1982D	8,62 - 8,64	CRS	-	-500	19	-	Akseptabelt*
NO32	1999D	3,64 - 3,66	CRS	400	40	18,5	12	Akseptabelt
NO32	2002C	13,52 - 13,54	CRS	-	-90	29	-	Dårlig

4.1.4 Overkonsolidering

Ut fra tolkede verdier fra ødometerforsøkene og data for in-situ spenningstilstand for hver prøve som framgår av Vedlegg E og Vedlegg F kan vi beregne overkonsolideringsgraden (OCR) for hver prøve. Dette forholdet kan videre brukes til å stipulere hvor stor vertikal tilleggsspenning prøven har vært utsatt for, og dette kan igjen gi oss en indikasjon på om området har vært fylt opp med sedimenter (nesten) helt opp til marin grense.

Tabell 6: Tolket overkonsolidering fra ødometerforsøk.

Pos.	Lab nr.	Dybde [m]	In-situ spenning σ_o' [kPa]	Pre-konsolidering σ_c' [kPa]	OCR	$\Delta\sigma_c'$ [kPa]
NO15	2049B	4,60 - 4,62	74	600	8,1	526
NO15	2052A	7,52 - 7,54	103	530	5,1	427
NO16	1977B	7,42 - 7,44	78	380	4,9	302
NO17	1981D	1,64 - 1,66	20	60	3,0	50
NO32	1999D	3,64 - 3,66	42	400	9,5	358

Som en ser av Tabell 6, er det klare indikasjoner på en betydelig overkonsolidering for 5 av de 7 prøvene som er testet i ødometer.

4.2 Poretrykksmåling

Det er installert elektriske piezometer i 5 posisjoner. Alle piezometerne viser et trykk tilsvarende grunnvannstand grunnere enn ca. 2 m fra terreng. Enkelte målinger tyder videre på at det er et svakt undertrykk nær toppen av skråningen (NO16) og et svakt overtrykk nær bunnen av skråningen (NO17 og NO32). Posisjon NO18 ligger også i bunnen av en skråning, men antyder nær hydrostatisk poretrykksfordeling.

4.3 Trykksondering

Det er utført trykksondering med poretrykksmåling (CPTU) i 12 posisjoner i grunnundersøkelsen for dette oppdraget. I tillegg har vi benyttet resultater fra 8 trykksonderinger utført i tidligere oppdrag.

Trykksonderingene er tolket med hensyn på udrenert aktiv skjærfasthet som det framgår av Vedlegg H. Disse vedleggene viser også anbefalt skjærfasthetsprofil etter en samlet vurdering av hver sondering.

Vedlegg H inneholder innledningsvis en nærmere beskrivelse av de metodene som er brukt ved tolking av trykksonderingene.

4.4 Sammenhengen mellom skjærfasthet og overkonsolideringsgrad

I deler av det undersøkte området mangler både prøveserier og trykksonderinger, og fastlegging av skjærfasthetsparametre må derfor baseres på empiriske metoder.

Vi har valgt å bruke SHANSEP-metoden, se Ref. 10, der udrenert skjærfasthet beregnes etter formelen $C_{uc} = \alpha \cdot \sigma'_o \cdot OCR^m$, der σ'_o er dagens vertikale effektivspenning og OCR er overkonsolideringsgraden.

Ved å forutsette at området har vært dekket av sedimenter opp til marin grense og å tilpasse parametrene i ovenstående ligning til de tolkede trykksonderingsprofilene for 19 av de 20 trykksonderingene har vi funnet at α varierer mellom 0,29 og 0,58 med et gjennomsnitt på 0,40 og m varierer mellom 0,65 og 0,95 med et gjennomsnitt på 0,68. Under denne tilpasningen benyttes et konservativt prinsipp, i det tilpasningskurvene legges gjennom de laveste verdiene i anbefalt profil. Detaljer er vist i Vedlegg H.

Vi har valgt å bruke $\alpha = 0,3$ og $m = 0,65$ for å anslå udrenert skjærfasthet i områder uten målinger. Dette gjelder først og fremst for analyser i profil 1-1 og 2-2 lengst vest i området, men prinsippet er også benyttet til å vurdere skjærfasthetsvariasjoner langs profiler der vi bare har målinger i 1 posisjon.

Vedlegg H viser også en sammenstilling av anbefalte C-profiler og SHANSEP-kurve framstilt for fire intervaller av terrengkoter. Som det framgår av disse grafene, er det ut fra tolkede trykksonderinger vanskelig å påvise en helhetlig tendens med jevnt stigende skjærfasthet mot dybden. Dette tilskrives hovedsakelig at forholdene i området er komplekse og at det er store variasjoner innenfor hvert av de definerte lagene og hyppig veksling og diffuse overgangssoner mellom lagene i en sekundær, mikrolagdeling innenfor hvert av «hovedlagene». Figurene viser likevel at skjærfasthetsprofiler etter SHANSEP med $\alpha=0,3$ og $m=0,65$ representerer en klar nedre grense for skjærfasthet mot dybden. Ved å bruke et slikt styrkeprofil i stabilitetsanalysene får vi fram effekten av høyere overkonsolideringsgrad i lavereliggende terreng. Men resultatene vil generelt ligge klart på den sikre siden. Om vi eksempelvis hadde valgt α -verdi ut fra statistiske betraktninger som middelverdi – $0,5 \cdot \text{standardavvik}$, ville vi fått $\alpha=0,35$ i stedet for 0,3, og dette ville gi en økning på 17% i skjærfasthetsverdier og dermed en tilsvarende forbedring av sikkerhetsfaktorene.

4.5 Benyttede parametere

I de fleste profilene er det 2 kohesjonslag som er separert av et fastere friksjonslag. Flere steder er det også et lag med friksjonsmasser over berg og et noe fastere topplag. Grunnlaget for å bestemme materialparametere er størst for kohesjonslagene. I friksjonslaget er det i enkelte posisjoner tatt representative prøver, men det foreligger ikke uforstyrrede prøver som kan benyttes til å anslå styrkeparametere.

I friksjonslagene er det benyttet friksjonsvinkel fra $\phi=33 - 37^\circ$ og attraksjon fra $a=1,9$ til $5,1$ kPa, Dette er basert på hvor faste massene ser ut til å være i totalsonderinger.

Alle treaksialforsøk tyder på at leiren har høy friksjonsvinkel og attraksjon. I beregningene er det valgt å benytte noe mer konservative verdier. For kvikkleire er det brukt friksjonsvinkel $\phi=30^\circ$ og attraksjon $a=12,1$ kPa.

Benyttede parametere per profil er oppsummert i Tabell 7

Tabell 7: Benyttede parametere

		Topplag	Kvikkleire	Leire	Friksjonsmat.	Kvikkleire	Leire	Kvikkleire	Friksjonsmat.
Profil 1	γ		19		19	19			19
	ϕ		30		35	30			35
	C'		0		3,6	5			3,6
	c_u		C-prof shansep			C-prof shansep			
Profil 2	γ		19		19	19			19
	ϕ		30		35	30			35
	C'		0		3,6	7			3,6
	c_u		C-prof shansep ¹⁾			C-prof shansep ¹⁾			
Profil 3	γ	19	19		18	19			18
	ϕ	30	30		33	30			33
	C'	0	5		3,1	5			3,1
	c_u		C-prof shansep ²⁾			C-prof shansep ²⁾			
Profil 4	γ	20	19		18	19			18
	ϕ	30	30		37	30			34
	C'	0	7		3,8	7			1,3
	c_u		C-prof fra 4 cptu			C-prof fra 4 cptu			
Profil 5	γ	14,5 / 19,4	19,1		18		19	19	18
	ϕ	30	30		37		30	30	35
	C'	5	7		7,5		7	7	3,5
	c_u		C-prof fra 2 cptu ³⁾				C-prof fra 2 cptu ³⁾	C-prof fra 2 cptu ³⁾	
Profil 6	γ	19,4	19	19	18		19	19	18
	ϕ	30	30	30	37		30	30	35
	C'	0	7	7	7,5		7	7	3,5
	c_u		C-prof fra 3 cptu ⁴⁾				C-prof fra 3 cptu ⁴⁾	C-prof fra 3 cptu ⁴⁾	

		Topplag	Kvikkleire	Leire	Friksjonsmat.	Kvikkleire	Leire	Kvikkleire	Friksjonsmat.
Profil 7	γ	14,5 / 19			18		19	19	18
	ϕ	30			35		30	30	35
	C'	0			3,5		7	7	3,5
	C _u						100	60	
Profil 8	γ	19			18	19			18
	ϕ	30			33	30			35
	C'	0			3,1	5			3,5
	C _u					C-prof			
Profil 9	γ	19	19		18		19	19	18
	ϕ	30	30		35		30	30	35
	C'	0	5		3,5		5	5	3,5
	C _u		80				80	80	
Profil 10	γ	19	19	19	18	19	19		18
	ϕ	30	30	30	35	30	30		35
	C'	0	5	5	3,5	5	5		3,5
	C _u		C-prof	C-prof		80	80		

- 1) Shansep-profil tolket fra CPTu i 2 posisjoner
- 2) I dette profilet er vi en kombinasjon av anbefalt profil fra CPTu hentet fra borepunkt i naboprofilet på samme kotehøyde i øvre kvikkleirelag og mot dybden er profilet basert på Shansep
- 3) + c-profil fra Shansep i borepunkt G19
- 4) + c-profil fra Shansep i borepunkt G14.

4.5.1 Anisotropifaktorer

Det er utført måling av skjærstyrkeparametere ved både aktivt og passivt treaksialforsøk, samt direkte skjærforsøk og enaksialforsøk. Forholdene mellom aktiv, direkte og passiv skjærstyrke kan dermed beregnes.

I Tabell 1 i NVE-rapport 14/2014, Ref. 4, er det oppgitt anbefalte anisotropifaktorer (ADP-faktorer) avhengig av leirens plastisitet. Ettersom disse verdiene ikke avviker nevneverdig fra de målte ADP-verdiene, velges det å bruke forholdstallene oppgitt i Ref. 4.

For sensitive leirer reduseres også aktiv skjærfasthet med 15 %.

Oppsummert brukes det for C_{uC}/C_{uD}/C_{uE} ADP-faktorer henholdsvis 0,85/0,63/0,35.

4.6 Materialfaktor

I henhold til NVEs veileder 7/2014 (Ref. 3) er det som nevnt i 3.3 krav til sikkerhetsfaktor $F \geq 1,4$ eller forbedring.

5 Stabilitetsberegninger

Stabilitetsberegninger er utført i 10 profiler med GeoSuite Stability, versjon 15.2.2.0. I de fleste beregninger er det brukt metode Beast 2003, men også Bishop Simplified er benyttet i enkelte tilfeller. Dette er i så fall oppgitt i beregningsteksten.

I Tabell 8 er lavest beregnede sikkerhetsfaktor for hvert profil og beregningstilfelle oppsummert. Røde tall indikerer at beregnet sikkerhetsfaktor er lavere enn kravet.

Innledende beregninger ble gjort med konstant C_{uc} innen ett og samme lag. Etter innspill fra NGI i forbindelse med uavhengig kontroll ble det kjørt nye beregninger for noen profiler med c-profiler i stedet for konstant C_{uc} innen ett og samme lag. Resultatene fra disse beregningene er markert med grønn skrift.

Tabell 8: Beregnet sikkerhetsfaktor.

Profil	Uten last			Med last		
	Tegn.	a- ϕ	c_u	Tegn.	a- ϕ	c_u
1-1	V301A	1,59	0,99			
2-2	V302	2,64	1,44			
3-3	V303	1,77	1,92			
4-4	V304	1,46	1,45			
5-5	V305A	1,80	1,46	V305B	1,77	1,41
6-6	V306A	1,86	1,46	V306B	1,82	1,41
7-7	V307	1,98	1,59			
8-8	V308	1,95	1,47			
9-9	V309	2,26	1,75			
10-10	V310	1,84	1,95			
Krav		1,40	1,40		1,40	1,40

5.1 Profil 1-1

Tegning V301A.

Profilen befinner seg på et jordbruksområde som avsluttes med en bratt skråning ned mot Presteelva og Sjukehusvegen. På det bratteste har skråningen en helning på om lag 1:1,6. Det ligger 3 borer langs profilen og det er tatt opp representative prøver ned til 2 m dybde i posisjonen lengst vekk fra skråningen. Massene fra prøvene er visuelt klassifisert som matjord og siltig grusig sand.

Totalsonderingene viser at løsmassene ned mot skråningen består av 2 lag med leirige masser som er adskilt av et fastere lag med friksjonsmateriale. Det er ikke tatt opp prøver fra de leirige lagene, men det er konservativt antatt at det kan være sprøbruddsmateriale.

Det eksisterer ikke målinger av poretrykk eller grunnvannsstand i umiddelbar nærhet, men det antas at grunnvannet ligger nært terreng som ellers i området. I den bratteste delen av skråningen er det antatt at grunnvannet ligger noe dypere.

Ettersom det heller ikke er kjørt CPTu i de tre posisjonene, er det ikke grunnlag for å bestemme materialparametere. Det er derfor brukt forsøk fra posisjonene i profil 2-2 i kombinasjon med c-profiler basert på SHANSEP-metoden, se kap.4.4, for å sette materialparametere.

Laveste beregnede sikkerhetsfaktor på totalspenningsbasis er 0,99 mens det for effektivspenningsbasis er 1,59. Vi må altså konstatere at kravet til sikkerhet ikke er innfridd.

Dersom beregnet sikkerhetsfaktor før utbygging blir under 1,0, skal ifølge NVE veileder 7/2014 beregningsforutsetningene revurderes og nye beregninger utføres slik at beregnet sikkerhetsfaktor før utbygging blir tilnærmet lik 1,0. I dette tilfellet ligger beregnet sikkerhetsfaktor så nær opp under 1,0 at vi har funnet det unødvendig å gjennomføre denne prosedyren.

Ved dette profilet er det altså lav beregningsmessig sikkerhet ned mot elva, men samtidig er det usikkerhet rundt materialparameterne. Dersom det skal gjøres tiltak i nærheten av skråningen, er det absolutt påkrevet at det gjennomføres supplerende grunnundersøkelser og tilhørende stabilitetsberegninger.

5.2 Profil 2-2

Tegning V302.

Dette profilet har i praksis samme utgangspunkt som forrige profil, men går ned mot sentrum av Nordfjordeid. Total høydeforskjell i profilet er på ca. 44 m, fra kote +50 til +6. Gjennomsnittlig helning i profilet er om lag 1:10.

Samtlige sonderinger i profilet viser to lag med bløte masser og to lag med faste masser. Mektighet og motstanden i lagene varierer mellom de ulike posisjonene. I enkelte av posisjonene er det tatt opp prøver som viser ikke-kvikke masser. For beregningene er det konservativt antatt at de bløte massene er sprøbruddmateriale.

Materialparametere er basert på Shansep-profiler som er tilpasset resultatene fra CPTu i posisjon NO6 og NO9 samt treaksialforsøk fra andre posisjoner i området. Resterende profil er basert på SHANSEP-metoden med $\alpha=0,3$ og $m=0,65$.

Minste beregnede sikkerhetsfaktor er henholdsvis 1,44 og 2,64 for total- og effektivspenningsanalyse, og dermed er kravene til sikkerhet innfridd. Den relativt lave sikkerhetsfaktoren for totalspenningsanalysen gjelder for en skjærflate som går gjennom øverste del av skråningen hvor det er anvendt svært konservative Shansep-verdier.

5.3 Profil 3-3

Tegning V303.

Profilet ligger i en ravinedal i nord-sør-retning mellom profil 2-2 og 4-4. Den øvre delen av profilet er vinklet mot nordøst, vinkelrett på høydekotene. I den bratteste delen av profilet er helningen ca. 1:4 og 12 meter høydeforskjell.

Øverst er det et topplag med tørrskorpeleire. Deretter er det som i tidligere profil 2 lag med bløte masser adskilt av et lag med friksjonsjord.

I posisjonene som ligger i profilet er det kun utført totalsonderinger, men det er tatt opp prøver ned til friksjonslaget i posisjon NO12 som ligger rundt 25 m øst for profilet. I nedre delen av det bløte laget er det påvist kvikkleire. Udrenerte skjærfasthetsparametre er basert på data fra følgende nærliggende posisjoner: NO19, G6, NO15, NO6 og G10, se detaljer i Tabell 11.

Minste beregnede sikkerhetsfaktor er henholdsvis 1,92 og 1,77 for total- og effektivspenningsanalyse, og dermed er kravene til sikkerhet innfridd.

5.4 Profil 4-4

Tegning V304.

Hoveddelen av profilet ligger på et jordbruksareal med svak helning mot sør. I nedre ende av profilet er det derimot en bratt skråning med gjennomsnittlig helning ca. 1:2,5 ned mot bebyggelse. Høydeforskjellen i den bratte delen er om lag 10 m.

Lagdeling er lignende som tidligere med 2 friksjonslag og 2 kohesjonslag.

I dette profilet er det utført prøvetaking og trykksondering i flere posisjoner i det øverste kohesjonslaget.

I posisjon NO15 er det utført både aktivt og passivt treaksialforsøk, direkte skjærforsøk og enaksialforsøk. Det er relativt stor spredning i resultatene med skjærstyrke fra ca. 45 – 105 kPa, selv om forsøkene tyder på god prøve kvalitet. Det er påvist kvikkleire og meget høy sensitivitet i alle opptatte prøver i denne posisjonen. Triaksialforsøkene viser at skjærfastheten øker med dybden og samsvarer bra med CPTu-resultatet i samme posisjon.

I opptatt prøve fra 10-11 m dybde i posisjon G3 viser enaksial- og konusforsøk skjærstyrkeverdier som samsvarer bra med CPTu-resultatene i samme posisjon, (se vedlegg H Figur 3.3) og kvikke masser.

Det er ikke tatt opp prøver eller utført CPTu i det dypeste av kohesjonslagene, men i flere av totalsonderingene finnes det indikasjoner på sprøbruddmateriale. I beregningene er det derfor antatt at også dette er kvikkleire. For de tre boreposisjonene oppe på terrassen er skjærfasthetsprofilene i dette laget basert på Shansep-prinsippet, som altså gir en økning mot dybden og en økning mot lavereliggende terreng. For boreposisjon G3 og G10 ved topp og bunn av den bratte skråningen er maksimal skjærfasthet fra det øvre kvikkleirelaget benyttet som konstant verdi ned i det nedre laget. Dette vurderes som en konservativ tilnærming.

Vi har altså benyttet c-profiler fra 4 trykksonderinger i nærheten av profilet (NO15, G17, G3 og G10) dels med Shansep-ekstrapolering og dels med konstant verdi ned i det nederste kvikkleirelaget. Beregningene gir minste sikkerhetsfaktor $F_c=1,45$, mens drenert analyse gir minste sikkerhetsfaktor $F_{c\phi}$ på 1,46. Begge disse resultatene tilfredsstiller kravet til sikkerhetsfaktor.

I begge tilfeller beskriver den kritiske skjærflaten lokalstabiliteten av den bratte skråningen i nedre del av profilet. Skjærflater som beskriver områdestabiliteten viser høyere sikkerhetsfaktorer (1,71 til 2,28).

5.5 Profil 5-5

Tegning V305A og V305B.

Øvre del av dette profilet går gjennom tiltakets beliggenhet. Det er derfor utført beregninger både med og uten last fra tiltaket.

Selve boligfeltet befinner seg på et relativt flatt område, men er avgrenset av ravinedal både mot vest og øst i tillegg til en skråning mot sør. Profil 5-5 går fra nordvest til sørøst der nedre del av profilet svinger av parallelt med ravinedalen.

I øvre del av profilet er det to lag med kohesjonsmasser der nedre del av lagene antas å være kvikkleire. Opptatte prøver fra posisjon NO16 bekrefter kvikkleireforekomst. Mektigheten av det øverste kohesjonslaget avtar mot bunnen av skråningen og prøver fra NO17 viser ikke kvikke masser. Dette kan muligens skyldes tidligere skred eller erosjon av det øverste kvikkleirelaget.

Det er tatt opp prøver av topplaget både i posisjon NO17 i bunnen av skråningen og i NO16 på toppen av skråningen, der gjennomsnittlig målt romvekt er henholdsvis 19,4 og 14,5 kN/m³. Det er valgt å benytte ulik romvekt på topplaget i bunnen (lav romvekt) og toppen (høy romvekt) av skråningen.

Styrkeparametere i det øverste laget med kvikkleire er basert på trykksondering og laboratorieforsøk i posisjon NO16. I det dypeste kohesjonslaget er det kun tatt opp prøver fra den ikke-sensitive (øverste) delen av laget i posisjon NO17. I posisjon NO19, som ligger på platået et lite stykke fra profilet, er det utført trykksondering i begge lagene med antatt kvikkleire. Parametere for (det ikke kvikke) leirlaget er bestemt fra prøver i posisjon NO17, mens parametere for kvikkleirelaget under er bestemt fra CPTu i posisjon NO19 med oppskalert styrke etter SHANSEP-prinsippet for økende overkonsolideringsgrad nedover (sydover) i profilet.

Etter innhenting av opplysninger om planlagte bygg på tomta, er dimensjonerende nyttelast (egenlast+nyttelast-avlastning ved utgraving) beregnet til 11 kPa for nederste husrekke og 16 kPa for de andre rekkene, og plasseringen av disse lastene er basert på mottatte snitt fra utbygger. Stabilitetsanalysene gir praktisk talt de samme sikkerhetsfaktorene både for dagens situasjon og for situasjonen med belastning fra planlagte bygg. Drenert analyse med u-profil som avviker fra hydrostatisk trykk ved posisjon NO16 har gitt sikkerhetsfaktor på hhv 1,80 og 1,77 uten og med terrenglast. Udrenert analyse gir sikkerhetsfaktor på hhv 1,46 og 1,41 uten og med terrenglast.

Vi kan altså fastslå at kravet til sikkerhet er innfridd for dette profilet.

5.6 Profil 6-6

Tegning V306A og V306B.

I likhet med forrige profil ligger tiltaket i øvre del av dette profilet. Beregninger både med og uten last er derfor utført. Forutsetningene for lasten er de samme som for profil 5-5.

Profilet går fra nordøst til sørvest og svinger av parallelt med ravinedalen. Enkelte posisjoner fra profil 5-5 går igjen i øvre del av dette profilet og grunnforholdene ligner dermed også forrige profil. Boringer i bunnen av skråningen viser derimot atypiske karakteristikk for dette området.

Både posisjon NO20 og NO18 viser 2 kohesjonslag og 2 friksjonslag, som er vanlig lagdeling i området. Totalsonderingene viser derimot ikke tydelige indikasjoner på sprøbruddmateriale og det er i posisjon NO18 også tatt opp prøver fra store deler av begge leirlagene. Ingen av prøvene viser heller kvikkleire. Det er derfor antatt at leirlagene i bunnen av skråningen ikke er kvikke.

Ettersom avstanden til profil 5-5 er liten, er parametervalgene tilsvarende for begge profilene.

Lavest beregnede sikkerhetsfaktor for drenert og udrenert analyse uten last er henholdsvis $F_{c\phi} = 1,86$ og $F_c = 1,46$.

Med last er beregnet sikkerhetsfaktor $F_{c\phi} = 1,82$ drenert og $F_c = 1,41$ udrenert.

Beregninger av udrenert tilstand er utført med c-profiler fra 3 ulike trykksonderinger i nærheten av profilet (NO19, NO16 og NO18) supplert med et teoretisk profil etter SHANSEP-prinsippet i mellomliggende punkt G14

Også for dette profilet er konklusjonen at kravet til sikkerhetsfaktor er innfridd.

5.7 Profil 7-7

Tegning V307.

Dette profilet følger ravinedalen øst for platået der tiltaket ligger.

I de to foregående profilene (5-5 og 6-6) medfører SHANSEP-prinsippet en relativt lav skjærfasthet i det øverste kvikkleirelaget i øvre del av profilet. I profil 7-7 mangler det øverste laget med kvikkleire som har vært til stede i alle foregående profiler. Dette kan skyldes at dette laget er erodert bort eller har forsvunnet i tidligere skredhendelser.

Det er ikke tatt opp prøver som bekrefter sprøbruddmateriale, men det antas, basert på totalsonderinger, at den dypeste delen av kohesjonslaget er kvikkleire i deler av profilet.

Som i profil 5-5 er det tatt opp prøver fra topplaget som viser lav romvekt. Også i dette profilet er det valgt ulik romvekt for topplaget i topp og bunn av skråningen.

Parametere for leirlaget er basert på posisjon NO17, mens det for kvikkleirelaget benyttes trykksondering i posisjon NO19.

Lavest beregnede sikkerhetsfaktor er $F_{c\phi} = 1,78$ for drenert analyse og $F_c = 1,59$ for udrenert analyse.

Siden hele profilet ligger i bunnen på en ravine, vil vi få et betydelig stabiliserende bidrag fra 3D-effekter, slik at den reelle sikkerhetsfaktoren vil være høyere enn den beregnede.

Innledende drenert analyse var basert på hydrostatisk poretrykksfordeling fra angitt grunnvannsnivå. Tilleggsberegninger for drenert analyse med målt poretrykk som avviker fra hydrostatisk fordeling i posisjon NO17 har overraskende gitt høyere sikkerhetsfaktor (1,98) enn de innledende beregningene. Siden poretrykkprofilene er lagt inn med økende «poreovertrykk» mot dybden i nedre del av skråningen og hydrostatisk profil i øvre del av skråningen, finner vi ikke noen annen forklaring på dette, enn at beregningsprosedyrene med interpolering mellom poretrykkprofil kan være noe unøyaktige.

Konklusjonen er at dette profilet har tilfredsstillende sikkerhet.

5.8 Profil 8-8

Tegning V308.

Dette profilet går gjennom en bratt skråning som i utgangspunktet ligger i utløpsområdet for sonen.

Grunnforholdene i profilet er basert på én sondering i bunn av skråningen og én på toppen. I begge sonderingene er det et humusholdig topplag. Deretter er det 2 lag med friksjonsmasser som gjennomskjæres av et mektig lag med kvikkleire. Representative prøver fra den øverste delen av kohesjonslaget karakteriseres som kvikk leirig silt.

Styrkeparametere i laget med kvikkleire er basert på trykksondering i posisjon NO25.

Lavest beregnede sikkerhetsfaktor for drenert og udrenert analyse er henholdsvis $F_{c\phi} = 1,95$ og $F_c = 1,47$.

Det ble vurdert å kjøre en supplerende beregning basert på c-profil fra tolking av trykksondering i posisjon NO25 og et justert c-profil ved toppen av skråningen basert på SHANSEP-metoden. Men forskjellen i skjærfasthet ved topp og bunn av skråning ble så liten at det ikke var hensiktsmessig å gå videre med dette.

Konklusjonen er at profil 8-8 har tilfredsstillende stabilitet.

5.9 Profil 9-9

Tegning V309.

Profilen ligger et stykke øst for tiltaket og går gjennom en skråning som delvis består av vegfylling.

I posisjon 25 som ligger øverst i profilen, i tillegg til posisjon NO29 og MC10 vest og øst for profilen, er det tatt opp prøver som ikke viser kvikke masser. Øverste del av profilen ligger derfor på oversiden av sonens løsningsområde.

Boringene i profilen viser lignende lagdeling som tidligere profiler med 2 kohesjonslag og 2 friksjonslag. I posisjon NO31 er det tatt opp prøver fra begge kohesjonslagene som viser kvikkleire. Selv om kun 1 av 6 omrørt konusforsøk fra det øverste kohesjonslaget viser kvikkleire, er det i beregningene konservativt antatt at hele laget er kvikt.

Udrenerte parametere er basert på CPTu og prøvetaking i posisjon NO31. Det er ikke utført treksialforsøk i noen av posisjonene, men det antas at resultater fra andre posisjoner i området er representative også her.

Minste beregnede sikkerhetsfaktor er $F_c = 1,75$ og $F_{c\phi} = 2,26$ for henholdsvis udrenert og drenert analyse, og dermed er kravet til sikkerhet innfridd.

5.10 Profil 10-10

Tegning V310.

Profilen ligger øst og nord for Eid omsorgssenter og går gjennom en skråning som på det bratteste har en helning 1:2,4 og høydeforskjell på ca. 5 m.

Som i resten av området består profilen av 2 kohesjonslag og 2 friksjonslag. I posisjon 18 og 19 i øverste del av profilen er ingen av disse lagene vurdert som sprøbruddmateriale. I posisjon MC7 er det tatt opp prøver fra det dypeste kohesjonslaget der omrørt skjærfasthet er målt til 1,5-1,6. Det er ikke gjort målinger av uomrørt skjærstyrke, men selv meget konservative antakelser leder til sensitivitet over 15 som betyr at det trolig er sprøbruddmateriale. Det øverste leirlaget i posisjon MC7 antas ikke å være kvikt.

Mot posisjon MC13 og MC6 øker mektigheten av det øverste kohesjonslaget og det antas at også dette laget er kvikt.

Udrenerte materialparametere er basert på CPTu i posisjon MC6 i det øverste laget og på trykksønderingen i posisjon MC7 i det dypeste laget. Det antas at skjærstyrken er lik for leire og kvikkleire (aktiv skjærstyrke reduseres fortsatt med 15 % for kvikkleire).

Det antas at drenerte parametere fra tidligere profil også er gjeldende her.

Lavest beregnet sikkerhetsfaktor er 1,95 for totalspenningsanalyse og 1,84 for effektivspenningsanalyse. Dette betyr at profil 10-10 tilfredsstiller kravet til sikkerhet.

5.11 Vurderinger

For profiler der det ikke kan vises tilstrekkelig sikkerhetsfaktor vil det være krav om å utføre tiltak for å bedre stabiliteten.

5.11.1 Tiltak profil 1-1

Ved dette profilet ligger kritisk skjærflate i en bratt skråning ned mot Sjukehusvegen og Presteelva. På toppen av skråningen ligger det jordbruksareal.

Ett alternativ for å bedre stabiliteten kan være å redusere helningen på skråningen.

Det er ikke utført undersøkelser som kan benyttes til å tolke materialparametere ved profilet. Det er åpenbart påkrevet med supplerende grunnundersøkelser med prøvetaking og/eller trykksondering for å gi bedre grunnlag for å bestemme materialparametere. Reviderte stabilitetsberegninger basert på nye parametere kan potensielt redusere eller fjerne behovet for stabiliserende tiltak.

Med de c-profilene som ble brukt i tilleggsberegningene er laveste sikkerhetsfaktor 0,99. Stabiliserende tiltak må her ta sikte på å vise en prosentvis forbedring av områdestabiliteten på minimum 15%.

Reduksjon av helningen kan en oppnå ved motfylling i nedre del, og/eller senking av terrenget ved toppen av det bratte partiet. Siden det ligger en kommunal veg ved foten av profilet, er det vanskelig å få plass til en motfylling. Dermed står vi igjen med terrengsenking.

En innledende analyse med terrengsenking på ca. 4 m viser laveste sikkerhetsfaktor på $F_c = 1,04$. Dette representerer en forbedring på bare 5,1 % som altså ikke er tilfredsstillende.

Det er deretter lagt inn skjærstyrkeprofiler for forsterking med KS-peler i øvre del av profilet, og nye beregninger viser at laveste sikkerhetsfaktor $F_c = 1,61$. Utbredelsen av den KS-stabiliserte sonen må muligens gjøres noe større enn det som er vist på tegning V301C, dersom supplerende undersøkelser skulle vise at det er behov for å øke sikkerheten i øvre del av profil 2-2. Dette må vurderes nærmere ved detaljprosjektering av stabiliserende tiltak.

Området med terrengsenking og KS-stabilisering er vist på tegning V103.

5.11.2 Tiltak profil 3-3

Ved profil 3-3 er ikke beregnet sikkerhet under kravet, men det er observert tegn på sig i skråningen, blant annet krummede trær og overflateerosjon. For å unngå at dette utvikler seg videre anbefales det å fylle opp ravinen.

5.12 Oppsummering av tiltak

Det er påvist behov for stabiliserende tiltak i 2 profil. Foreslåtte tiltak er terrengsenking og i tillegg KS-stabilisering i Profil 1-1, og oppfylling av ravinen i profil 3-3.

Stabilitetsberegninger har vist at det er mulig å oppnå tilfredsstillende stabilitet med de foreslåtte tiltakene, se Tabell 9.

Tabell 9 Oppsummering av tiltak og effekt av disse

Profil	Tegning nr	Sikkerhetsfaktor uten tiltak	Sikkerhetsfaktor etter tiltak	Prosentvis forbedring el. Absoluttkrav	Tiltak
1-1	V301B	0,99	1,04	5,1	4 m terr.senking
1-1	V301C	0,98	1,61	i.r.	4 m terr.senking+KS-peler
1-1*)	V301C	1,10	1,67-1,93	i.r.	4 m terr.senking+KS-peler

*) Andre skjærflater enn den kritiske

6 Konklusjoner

Den påviste kvikkleiresonen (løsneområde og utløpsområde) berører alle de tre omtalte planområdene.

6.1 Planområde 1; Skuleområdet

Vestre del av planområdet sør for Skulevegen er berørt av utløpsområdet for eventuelle områdeskred i profil 1-1 og 3-3. Det er behov for stabiliserende tiltak i profil 1-1, dersom en ikke ved tilleggsundersøkelser kan påvise høyere skjærfasthet enn forutsatt i denne rapporten.

Videre østover er planområdet berørt av utløpsområdet for eventuelle områdeskred utløst i profil 4-4, 5-5 og 6-6. De to sistnevnte går gjennom planområde 2, men viser ikke behov for stabiliserende tiltak.

6.2 Planområde 2; Golvsengane 23

Planområdet ligger i løsneområdet for eventuelle områdeskred. Det er ikke identifisert behov for stabiliserende tiltak.

6.3 Planområde 3; Myroldhaug

Området øst for Eid omsorgssenter ligger i løsneområdet for eventuelle områdeskred. Men faren for et slikt områdeskred er vurdert som mindre enn for profil 10-10 på grunn av gunstige topografi- og grunnforhold. Det er tidligere utført stabilitetsanalyser for dette området i forbindelse med oppdrag 5143552 Myroldhaug detaljregulering. Skråningen rett nord for planområdet er vurdert som kritisk profil. Analysene viste tilfredsstillende stabilitet, og det er derfor ikke behov for stabiliserende tiltak innenfor dette planområdet.

Referanser

- Ref. 1 NGU Skrifter 71, Nordfjordeid, Beskrivelse til kvartærgeologisk kart, kartblad 1218 I, 1985.
- Ref. 2 Norges vassdrags- og energidirektorat (2016): Metode for vurdering av løsne- og utløpsområde for områdeskred. Naturfareprosjektet: Delprosjekt 6 Kvikkleire. Rapport 14/2016.
- Ref. 3 Norges vassdrags- og energidirektorat (2014): Sikkerhet mot kvikkleireskred. Vurdering av områdestabilitet ved arealplanlegging og utbygging i områder med kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper. Veileder 7/2014..
- Ref. 4 Norges vassdrags- og energidirektorat (2014): En omforent anbefaling for bruk av anisotropifaktorer i prosjektering i norske leirer. Naturfareprosjektet: Delprosjekt 6 Kvikkleire. Rapport 14/2014.
- Ref. 5 Statens vegvesen (2010): Geoteknikk i vegbygging – Håndbok V220.
- Ref. 6 Eurocode 8-1, NS-EN 1998-1, 1998-1:2004+A1:2013+NA:2014, datert 2014-05-01, Prosjektering av konstruksjoner for seismisk påvirkning - Del 1: Allmenne regler, seismiske laster og regler for bygninger
- Ref. 7 Eurocode 8-5, NS-EN 1998-5 2004+NA:2014, datert 2014-05-01, Prosjektering av konstruksjoner for seismisk påvirkning - Del 5: Fundamenter, støttekonstruksjoner og geotekniske forhold
- Ref. 8 RIF – veileder, Dimensjonering for jordskjelv, versjon datert 16.03.2010.
- Ref. 9 Eurokode 0, NS-EN 1990: 2002+A1:2005+NA:2016 Engelsk, versjonsdato 2016-05-01: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner
- Ref. 10 Ladd, C.C., Foott, R. (1974). New design procedure for stability of soft clays. *Journal of the Geotechnical Engineering Division* 100(7), 763-786.

Tabell 10: Utført feltarbeid

Pos. /ID	Koordinater terrengpunkt UTM32 / EUREF 89 NN2000			Metode	Boredybde i [m]	
	X	Y	Z		Løsm	Fjell
NO1	6868396,8	341639,3	35,2	Total	19,5	2,0
NO2	6868429,0	341679,2	41,6	Total	15,4	2,6
NO3	6868473,9	341730,9	48,3	Total Prøve	5,3	2,1
NO4	6868399,7	341732,0	38,4	Total	14,9	2,0
NO5	6868311,9	341732,3	29,4	Total	19,2	2,1
NO6	6868259,9	341729,9	24,2	Total Cpt Prøve	24,1	2,1
NO7	6868209,1	341727,0	15,6	Total Prøve	20,0	2,0
NO8	6868108,4	341729,7	7,9	Total	19,1	3,0
NO9	6868036,7	341726,3	5,9	Total Cpt	25,0	2,0
NO10	6867961,6	341733,8	9,2	Total Prøve	30,1	
NO11	6868305,2	341828,2	23,8	Total	17,6	3,0
NO12	6868296,0	341851,6	31,2	Total Prøve	23,7	3,0
NO13	6868247,8	341819,0	22,3	Total	20,3	2,0
NO14	6868190,5	341806,7	14,3	Total	13,6	1,9
NO15	6868265,4	341920,5	29,0	Total Cpt Prøve	21,0	2,0
NO16	6868286,6	342001,7	35,0	Total Cpt Prøve PZ	20,0	3,2
NO17	6868258,2	342029,4	25,0	Total Prøve PZ	13,9	3,0
NO18	6868215,3	341965,5	19,1	Total Cpt Prøve PZ	16,3	2,0
NO19	6868348,0	341999,9	39,3	Total Cpt	20,6	3,0
NO20	6868181,2	341976,7	16,8	Total	20,7	2,0
NO21	6868135,1	341870,2	12,7	Total	19,4	2,0
NO22	6868039,9	341848,4	9,7	Total Cpt Prøve	30,5	2,0
NO24	6868103,7	341956,6	18,6	Total	30,5	2,0
NO25	6868032,0	341960,3	12,3	Total Cpt Prøve	28,6	2,0
NO26	6868043,2	341976,0	19,1	Total	35,5	2,0
NO27	6867992,8	341952,9	11,4	Total	32,2	2,0
NO28	6868124,4	341759,3	9,6	Total	18,5	3,0
NO29	6868270,1	342133,1	32,6	Total Prøve	16,6	3,0
NO30	6868230,1	342206,8	32,0	Total	17,9	3,0
NO31	6868193,7	342185,4	25,7	Total Cpt Prøve	21,8	3,0
NO32	6868167,0	342460,7	28,6	Total Cpt Prøve PZ	17,7	3,0
NO33	6868084,3	342582,3	18,7	Total	14,2	2,0
NO34	6868057,5	342608,7	18,3	Total Prøve PZ	19,0	2,0
NO35	6867952,5	342547,4	15,8	Total	26,0	
NO36	6867881,0	342543,5	14,7	Total Prøve	27,9	
NO37	6867865,4	342442,8	18,3	Total	28,0	
NO38	6867867,8	342289,6	17,4	Total	28,1	
NO39	6867895,0	342204,7	17,6	Total	26,0	
NO40	6867948,3	342058,3	18,0	Total Prøve	43,4	2,1
NO41	6868212,9	342197,7	28,7	Total	18,1	3,0
NO51	6866951,1	341654,4	1,5	Total Cpt Prøve	21,1	4,0
NO52	6867877,9	341532,4	2,4	Total Cpt Prøve	51,6	
NO53	6868082,8	341332,0	2,4	Total Prøve	32,2	3,0

Tabell 11: Skjærfasthetsdata til stabilitetsanalyser

Profil 3-3		
Posisjon	CPTU	Kommentar
G18	NO19	Øverste lag fra anbefalt profil i CPTU, nederste lag forenklet med SHANSEP fra CPTU ark
G5	G6	SHANSEP fra CPTU ark
G12	NO15	Anbefalt profil i CPTU
NO13	NO6	Øverste lag fra anbefalt profil i CPTU-ark. Nederste lag forenklet med CPTU regneark ($\alpha = 0,3$ og $m = 0,65$)
NO14	G10	Øverste lag forenklet med SHANSEP fra CPTU. Nederste lag SHANSEP fra regneark ($\alpha = 0,55$ og $m = 0,65$)