

Eid kommune

Detaljreguleringsplan for Myroldhaug




Geoteknisk vurdering

Utredning av områdestabilitet

2014-11-19 Oppdrags-rapport nr.: 5143552-RIG03



Rapport tittel: Detaljreguleringsplan for Myroldhaug Geoteknisk vurdering Utredning av områdestabilitet	Rapport nr. : 5143552-RIG03 Revisjon nr. : [Status] Dato : 2014-11-19
---	--

Utført av:  Anne Mari Farstad Siv.Ing.	Kontrollert av:  Torgeir Døssland Dr.ing./Fagspesialist	Godkjent av:  Anne Mari Farstad Oppdragsleder
---	--	--

Oppdragsgiver: Eid kommune	Referanseperson: Cecilie Marie Åshamar
--------------------------------------	--

Sammendrag:

I forbindelse med detaljreguleringsplan for Myroldhaug er Norconsult engasjert for å vurdere områdestabilitet i henhold til NVE-veileder 7 (2014) jmfør prosedyre punkt 1-10. I første omgang ble det utført vurderinger for punkt 1-5, hvor det ble konkludert med at det var behov for videre utredning etter punkt 6-10.

Aktsomhetskart med avgrensning av løсне- og utløpsområder ble utarbeidet i den første utredningen. Etter nærmere gjennomgang av data fra grunnundersøkelser og topografi er det vurdert at det ikke er grunnlag for å avgrense løсне- og utløpsområder ytterligere.

Formålet med reguleringsarbeidet for Myroldhaug er å sette av områder for utvidelse av sykehjem med tilhørende fasiliteter. I henhold til Ref. 2 havner planområdet inn under tiltakskategori K4.

Prosjektet er vurdert å havne i pålitelighetsklasse 2 og geoteknisk kategori 3. Siden prosjektet ikke inneholder offentlig veg direkte er det valgt å benytte kravregimet i NVE-veileder 7 som grunnlag for stabilitetsberegninger og eventuelt forslag til forbedrende tiltak.

Stabilitetsanalysene viser at profilene A, B, D og E ligger innenfor kravet til sikkerhetsfaktor $F \geq 1,4$ ut fra dagens tilstand.

Profil C tilfredsstillende ikke kravet til sikkerhetsfaktor ved dagens situasjon. Det er foreslått motfylling som forbedrende tiltak, og det er vist ved nye beregninger at dette tilfredsstillende kravet til prosentvis forbedring. Det påpekes at det kan utføres andre stabiliserende tiltak enten i kombinasjon med foreslåtte tiltak eller som enkelt tiltak.

Etter gjennomgang av tilgjengelige grunnundersøkelser i området er det utarbeidet et kart over boringer med angitt fargekoder ut fra om det er påvist/ ikke påvist eller antatt/ ikke antatt kvikkleire og/eller sprøbruddmateriale. Resultatet fra dette er vist i Tegning T302, med inntegnet avgrensning mot nord av antatt utbredelse av kvikkleiresona.

Stikkord: Geoteknikk, grunnundersøkelse, kvikkleire, aktsomhetsområde, stabilitet	Posisjon (UTM sone 32V) N=6868184 E=342393
---	--

INNHold	Side
1 INNLEDNING	5
2 GRUNNUNDERSØKELSER	5
2.1 Tidligere utførte grunnundersøkelser	5
2.2 Supplerende grunnundersøkelser	6
3 TERRENG OG GRUNNFORHOLD	6
3.1 Terreng	6
3.2 Grunnforhold	7
3.3 Poretrykksforhold	7
4 SONEAVGRENSNING OG KLASSIFISERING	8
4.1 Vurdering og avgrensning av løsnemråder og sannsynlige utløpsområder	8
4.2 Faresoner	8
4.3 Faregradsklassifisering	8
5 SIKKERHETSKRAV FOR PLANLAGTE TILTAK	9
6 GRUNNLAG FOR STABILITETSVURDERINGER - STYRKEPARAMETERE	10
6.1 Tolkingsgrunnlag	10
6.2 Udrenerte styrkeparametere (totalspenningsanalyse)	10
6.3 Anisotropi og tøyingskompatibilitet	11
6.4 Drenerte styrkeparametere (effektivspenningsanalyse, α , ϕ)	12
7 STABILITETSVURDERINGER	13
7.1 Analyseverktøy	13
7.2 Stabilitetsvurderinger	13
8 KONKLUSJON	17
9 REFERANSER	18

VEDLEGG

Innhold	Vedlegg
Geoteknisk kategori og pålitelighetsklasse	A
Vurdering av faregrad	B
Ødometerforsøk	C
CPTU	D

TEGNINGER

Innhold	Målestokk	Format	Tegn. nr.
Borplan m. profiler	1:2000	A3	T301
Forekomst kvikkleire	1:2000	A3	T302
Stabilitetsberegninger Profil A	1:400	A3	T311
Stabilitetsberegninger Profil B	1:400	A3	T312
Stabilitetsberegninger Profil C	1:400	A3	T313
Stabilitetsberegninger Profil D	1:400	A3	T314
Stabilitetsberegninger Profil E	1:400	A3	T315
Stabilitetsberegninger Profil C m forbedrende tiltak	1:400	A3	T316

1 INNLEDNING

I forbindelse med detaljregulering for Myroldhaug er Norconsult engasjert for å utføre en geoteknisk utredning av områdestabilitet i henhold til NVE veileder 7 (2014) «Sikkerhet mot kvikkleireskred».

I første omgang ble utredning utført i samsvar med punkt 1-5 i veilederen. Konklusjonen fra dette arbeidet var at planområdet ligger innenfor aktsomhetsområde, som medfører behov for ytterligere utredning med hensyn på områdestabilitet, identifisering og avgrensning av faresoner og faregradsklassifisering i henhold til resterende punkt i prosedyren 6-10.

Som en del av den videre utredningen utførte Norconsult supplerende grunnundersøkelser i området høsten 2014. Resultatene er presentert i egen datarapport, Ref. 12.

Reguleringsplanene ligger under tiltakskategori K4 i henhold til Ref. 11.

2 GRUNNUNDERSØKELSER

2.1 Tidligere utførte grunnundersøkelser

Det er tidligere utført befaring og grunnundersøkelser innenfor planområdet, samt i tilgrensende områder mot vest.

Innenfor planområdet er det tidligere utført grunnundersøkelser av Geovest Haugland AS i 2009, Ref.6, og av Multiconsult AS i 2013, Ref. 6 og 8.

Geovest Haugland AS gjennomførte i 2009 16 totalsonderinger, 2 trykksonderinger og 4 prøvetakinger i sørøstlig del av planområdet inntil eksisterende bygningsmasse, Ref.6.

Ved planoppstart i 2013 ble det bestemt at det skulle utføres ytterligere undersøkelser innenfor planområdet. Norconsult AS utførte da en befaring til området for å utarbeide borplan, Ref.13.

Multiconsult utførte i 2013 nye grunnundersøkelser i øvre deler av planområdet. Undersøkelsene bestod av 16 totalsonderinger, 4 prøveserier og 3 trykksonderinger, Ref. 8. I tillegg ble det installert 1 piezometer og 1 grunnvannsbrønn, Ref.9.

Golvsengane barnehagetomt

Det er også utført grunnundersøkelser for tilgrensede prosjekter mot vest. Dette gjelder grunnundersøkelser utført for Golvsengane Barnehagetomt i 2009, Ref.4, og for reguleringsplan for Høgebakken/Golvsengane i 2005, Ref. 6, utført av tidligere Geovest-Haugland AS (Norconsult AS).

Geovest Haugland AS utførte i 2005 innledende stabilitetsvurderinger for Eid kommune i forbindelse med planlegging av ny barnehage, Ref.5. Som nevnt over ble Geovest Haugland AS engasjert for å utføre grunnundersøkelser for Golvsenga barnehagetomt i 2009, Ref.4. Resultatene fra grunnundersøkelsene og erfaringene fra dette arbeidet er inkludert i vurderingen i denne rapporten.

Eid flerbrukshall

Norconsult AS ble engasjert av Eid kommune i 2014 for å utføre grunnundersøkelser i forbindelse med planlegging av flerbrukshall ved Nordfjordeid skole, Ref. 23. Resultatene fra disse undersøkelsene blir ikke presentert her, men er inkludert i vurderingen.

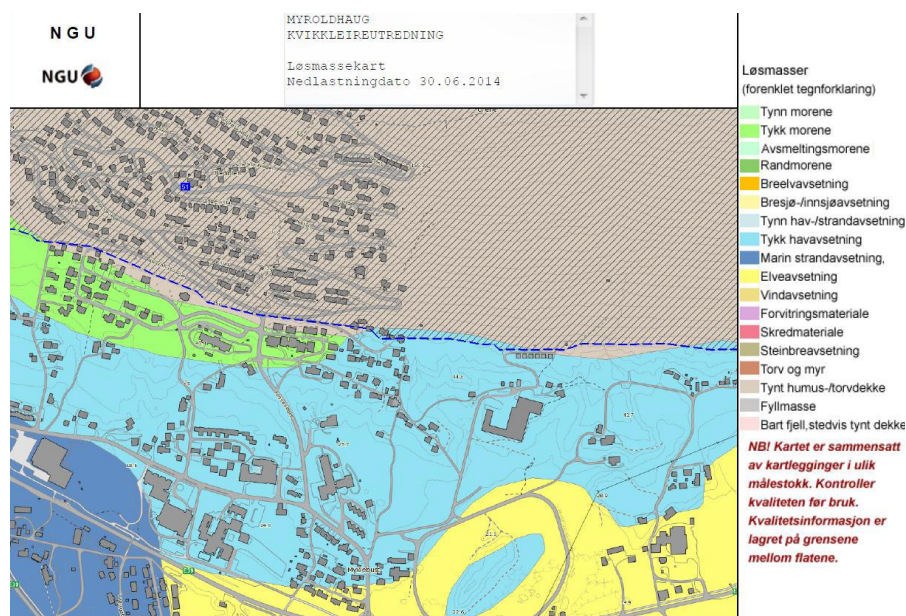
2.2 Supplerende grunnundersøkelser

Med bakgrunn i tidligere grunnundersøkelser og oppgavens hovedformål ble behovet for supplerende grunnundersøkelser kartlagt. Det ble utarbeidet en foreløpig plan for videre undersøkelser, som ble justert underveis etter hvert som ny informasjon ble hentet inn fra undersøkelsene.

Norconsult AS utførte de supplerende grunnundersøkelser høsten 2014 (uke 39, 40 og 42). Det vises til datarapporten for presentasjon av undersøkelser og resultater, Ref. 12.

3 TERRENG OG GRUNNFORHOLD

I rapporten fra første utredningsfase presenteres kvartærgeologisk kart fra NGU med modellert marin grense (MG), Ref.11. Kart fra skrednett over kartlagte faresoner har ikke dekning i området i Nordfjordeid per dags dato.



Figur 1: Utklipp fra kvartærgeologisk kart fra NGU med modellert marin grense (blå stiple linje).

3.1 Terreng

Planområdet ligger i et slakt korrugert/skrånende terreng med stigende høyde i nordlig retning. Terreng høyden ut fra boreposisjonene varierer fra laveste punkt 17,8 til høyeste punkt 40,1. Terreng i området kan beskrives som ravinert med markerte terrasserester under marin grense.

Det ble utarbeidet et helningskart basert på oversendt kartgrunnlag fra kommunen som med fargekoder viser helningsgraden til terreng i området, Ref. 11.

3.2 Grunnforhold

Fjellnivået er registrert ved totalsonderinger ved om lag 8 – 40 meter under terreng. Lavest løsmassemekthet er registrert lengst mot nordvest innenfor terrassekanten, og øker mot sør og mot øst.

Oppbygningen av løsmassene i området varierer noe, men kan generelt beskrives som et 4-lags system:

1. Det øvre laget (A1) har relativt lav motstand og består av humusholdige masser av siltig leire med sand og gruskorn. Mektheten av laget varierer mye mellom borepunktene, og øker i sørøstlig retning. Topplaget A1 er tilnærmet ikke eksisterende i boringene lengst mot nordvest for Golvsengane barnehagetomt, mens lagtykkelsen er om lag 20 meter i boreposisjon lengst mot sørøst. Noen av prøvene fra dette laget viser at den siltige leira er meget sensitiv/kvikk.
2. Under topplaget er det registrert et fastere mellomlag (B1) av antatt sand, grus og innhold av grovere fraksjoner. Det er ikke tatt opp prøver fra dette laget. Laget varierer i tykkelse over området.
3. Videre er det registrert et lag med lavere motstand (C1) der prøvene består av siltig leire. Boringene viser at mektigheten til dette laget varierer mye mellom borepunktene. Ut fra laboratorieresultatene er det påvist at den siltige leira i noen av borepunktene er svært sensitiv/kvikk.
4. Det siste laget ned mot berg (D1) er fast til meget fast og varierer i tykkelse fra om lag 0,5 m til om lag 5 m. Det er ikke tatt opp prøver fra dette laget, men ut fra totalsonderingene vurderer vi det til å bestå av bunnmorene eller grus/sand.

3.3 Poretrykksforhold

Registrering av grunnvann er utført i flere av de tidligere fasene med grunnundersøkelser. Innenfor planområdet ble grunnvannstand registrert i åpne hull for boreposisjoner 1, 2, 9, 10 og 14 i 2009, Ref. 6. I 2013 ble det plassert en grunnvannsbrønn og et piezometer ved posisjon MC4, Ref.9. Registreringene fra disse målingene er presentert i Tabell 1. Det presiseres at målingene er utført ved varierende tidspunkt etter installasjon, samt at noen målinger er gjort i åpne hull.

I posisjon MC4, MC7 og 23 er det plassert piezometer ved hhv 15,5, 13 og 29 meter under terreng. Posisjon MC 7 ligger like nedenfor terrasseskråningen, og her er det målt artesisk poretrykk i piezometeret. Posisjon MC 4 ligger et stykke fra terrasseskråningen, og her er det målt et svakt artetisk poretrykk. Posisjon 23 ligger lengst unna terrasseskråningen av boringene innenfor planområdet, og her er det målt at poretrykket øker mindre med dybden enn det som tilsvarer hydrostatisk poretrykk.

Tabell 1 Poretrykksmålinger

Pos./ID	Installert	Dybde [m]	Målt vannivå relativt terreng [m]
1	09	-	0,7
2	09	-	0,7
9	09	-	0,75
10	09	-	0,95
14	09	-	1,8
15	09	-	1,85
MC4	7.11.13	-	0 - 0,9
MC4	7.11.13	15,5	0,3 – 0,2(over terreng)

25	24.09.14	14,5	0,9
23	26.09.14	7	0,6
23	26.09.14	19	2,1
MC7	29.09.14	13	0,7 (over terreng)

Det er også målt grunnvannstand og poretrykk for tilgrensende prosjekter. For Eid flerbrukshall er det registrert at grunnvannstand ligger 5,2 meter under terreng, mens det for Golvsengane barnehage ble registrert at grunnvannstand stod opp til terrengnivå på grunn av store nedbørmengder ved avlesningstidsrommet. Dette kan tyde på at grunnvannsnivået ligger høyere i øvre deler av området, mens det øker i dybde under terreng i sørlig retning.

Målingene av poretrykk og grunnvannstand innenfor planområdet viser at grunnvannsdybden varierer mellom 0,6 og 1,85 m over området.. Det er antatt at poretrykket ligger høyere enn hydrostatisk vanntrykk like nedenfor terrassen på grunn av tilsig, og at denne effekten avtar med økende avstand fra skråningen.

4 SONEAVGRENSNING OG KLASSIFISERING

4.1 *Vurdering og avgrensning av løsneområder og sannsynlige utløpsområder.*

Som en del av de innledende arbeidene for vurdering av områdestabilitet iht punkt 1-5 i veilederen, ble det utarbeidet kart over aktsomhetsområder, Ref.11. I samsvar med veilederen skal det utføres en ny vurdering og avgrensning av potensielle løsne- og utløpsområder etter at de supplerende grunnundersøkelser er utført.

Etter nærmere gjennomgang av topografi og grunnundersøkelser er det vurdert at det ikke er grunnlag for å avgrense løsne- og utløpsområder ytterligere. Grunnundersøkelsene viser at utarbeidet kart over aktsomhetsområder fortsatt bør være gjeldende.

4.2 *Faresoner*

Potensielt løsneområde i henhold til utarbeidet aktsomhetskart, Ref. 11. er vurdert som en og samme faresone. Det er ikke delt inn i flere soner innenfor løsneområdet fordi det er vurdert at et mindre initialskred kan utløse en retrogressivt skredutvikling som igjen fører til et større områdeskred. Av den grunn inkluderer faresonen det arealet som er vurdert å påvirke områdestabiliteten, altså hele løsneområdet.

Utløpsområdet er gitt samme faregrad som løsneområdet.

4.3 *Faregradsklassifisering*

Faregradsklassifisering av faresonen er presentert i Vedlegg B, og vurderingene oppsummeres her.

I terrenget er terrassene gjennomskåret av raviner, som beskrevet i Ref. 5. Raviner dannes som følge av erosjon i terrenget. Det kan likevel ikke utelukkes at det som fremstår som raviner kan være tidligere skredgroper. Skredaktiviteten i faregradsklassifiseringen er satt til Noe, som anses som en konservativ vurdering.

Skråningshøyden er målt ut fra vedlagte kart. Det er tatt utgangspunkt i de høyeste skråningene som går opp mot terrassene i bakkant, og de er målt til å ligge mellom 15-10 meter i høyde.

Tidligere/nåværende terrengnivå, (overkonsolideringsgrad, OCR) er hentet ut fra tolkingen av resultatene fra ødometerforsøket, presentert i Vedlegg C.

Geotekniske data som sensitivitet, kvikkleiremektighet og poretrykk som er brukt i klassifiseringen er hentet fra datarapport 5143552-RIG02, Ref. 12.

Vurdering av erosjon er satt som liten da det ikke er funnet noen tydelige tegn på elver eller bekker i området, bortsett fra de ravinene som antyder at det har eksistert bekkeløp i tidligere tider.

Aktuelle inngrep er vurdert som en forverring, da det er antatt at arbeidet med å bygge ut vil medføre noe utgraving og utretting av areal.

5 SIKKERHETSKRAV FOR PLANLAGTE TILTAK

På grunn av dokumentert forekomst av kvikkleire i området har NVE gått til innsigelse mot reguleringsplan for Myroldhaug. Det er bakgrunnen for det arbeidet som er presentert i Ref. 11, 12 og i den foreliggende rapporten.

Grunnundersøkelsene har som hovedmål å skaffe grunnlag til avgrensning av kvikkleiresone og faregradsklassifisering, samt å bestemme styrkeparametere for stabilitetsvurdering.

Resultatene fra grunnundersøkelsene viser at kvikkleiresona kan avgrenses mot nord innenfor eller like utenfor planområdet. Det er derimot ikke utført en avgrensning mot sør, øst og vest, da kvikkleiresona strekker seg langt utenfor planområdet. Det er mulig at et skred som utløses utenfor regulerte områder som med progressiv utvikling kan føre til utglidning av områder innenfor grensene av reguleringsplanen.

Eurocode 7/ Statens Vegvesen Håndbok V220

Geoteknisk kategori benyttes for å definere omfanget av geotekniske undersøkelser og kontroll, og settes i henhold til Eurokode 7. Ref. 1.

Ut fra Tabell 1 i Vedlegg A, vil reguleringsplan som har til hensikt å utvide sykehjemmet bli plassert i pålitelighetsklasse 2.

For konsekvensklasse/pålitelighetsklasse 2 er det iht. NS-EN 1990 krav om kontrollklasse Normal (dvs. egenkontroll og sidemannskontroll), se Tabell 3 Vedlegg A.

Geoteknisk kategori er fastsatt ut fra Eurokode 7 Ref. 1, til å tilhøre Geoteknisk Kategori 3, der det også er hensyntatt betydningen av grunnforholdene.

Observert jordart vurderes å ha sprøtt/kontraktant brudd bruddmekanisme. Ifølge Tabell 5 gir dette partialfaktor $\gamma_M \geq 1,5$ for konsekvensklasse CC2.

NVE veileder

Som beskrevet i tidligere rapport 5143552-RIG01, Ref. 11 er prosjektet plassert i tiltakskategori K4 ut fra kravregimet i NVE-veileder 7, Ref. 2.

Valg av material- /partialfaktor

Ingen av de planlagte tiltakene involverer offentlig veg direkte. Det er derfor valgt å benytte kravene i NVE veilederen som basis for stabilitetsberegninger og forslag til evt forbedrende tiltak. Dette betyr at for å oppnå tilfredsstillende sikkerhet før utbygging stilles følgende krav til γ_M :

- 1) $\gamma_M \geq 1,4$, eller
- 2) Forbedring hvis $\gamma_M < 1,4$, iht Figur 5.1 Ref. 2

6 GRUNNLAG FOR STABILITETSVURDERINGER - STYRKEPARAMETERE

6.1 *Tolkningsgrunnlag*

Tolking av styrkeparametere er konsentrert omkring laget/-ene av siltig leire.

CPTU sonderinger i 5 posisjoner, samt treaksial- og ødometerforsøk i 1 posisjon utgjør det primære tolkningsgrunnlaget sammen med øvrige data fra felt og laboratorium.

6.2 *Udrenerte styrkeparametere (totalspenningsanalyse)*

Treksialforsøk (CAUC)

Tolket udrenert aktiv skjærfasthet (C_{uc}) fra treksforsøk er oppsummet i Tabell 2og vist i Figur D4.

Tabell 2: Tolkning av treksialforsøk

Prøveidentifikasjon					Aktiv udrenert skjærfasthet C_{uc}	Aksial bruddtøyning ϵ_a	Attraksjon a	Friksjonsvinkel
Pos. nr.	Prøve-diam.	Sylinder nr.	Dybde	Jordart				
	[mm]		[m]		[kPa]	[%]	[kPa]	[°]
23	54	-	5,65	Siltig leire (kvikk)	116	~4,2	35	32,8

For mer detaljerte plott vises det til tabell 6 i Ref.12.

Trykksonderinger (CPTU)

Aktiv udrenert skjærfasthet (C_{uc}) er tolket ut fra trykksonderingene (CPTU) etter metoder beskrevet hovedsakelig i Ref. 16.

I Ref. 16, er det angitt forskjellige N-faktorer for sensitivitet $S_t < 15$ og $S_t > 15$.

Følgende N-faktorer benyttes i intervall der $S_t > 15$:

$$\begin{aligned} N_{kt} &= 8,5 + 2,5 \cdot \log(\text{OCR}) \\ N_{ke} &= 12,5 - 11,0 \cdot B_q \geq 2,0 \\ N_{\Delta u} &= 9,8 - 4,5 \cdot \log(\text{OCR}) \end{aligned}$$

Følgende N-faktorer benyttes i intervall der $S_t < 15$:

$$\begin{aligned} N_{kt} &= 7,8 + 2,5 \cdot \log(\text{OCR}) + 0,082 \cdot I_p \\ N_{ke} &= 11,5 - 9,05 \cdot B_q \geq 2,0 \\ N_{\Delta u} &= 6,9 - 4,0 \cdot \log(\text{OCR}) + 0,07 \cdot I_p \end{aligned}$$

Plastisitetsindeksen (I_p) inngår i prosent (%).

I Ref. 16 er tre forskjellige OCR-korrelasjonsvarianter vurdert; én av dem, OCR relatert til Q_t , er anbefalt som den beste og vi har med bakgrunn i dette valgt å kun bruke den i våre tolkninger med denne metoden.

Følgende OCR-korrelasjon benyttes:

$$\begin{aligned} \text{OCR} &= (Q_t / 2)^{1.11} && (\text{der } S_t > 15) \\ \text{OCR} &= (Q_t / 3)^{1.20} && (\text{der } S_t < 15) \end{aligned}$$

Aktiv udrenert skjærfasthet (c_{uC}) tolkes deretter ut på vanlig måte som:

$$\begin{aligned} c_{uC} &= (q_t - \sigma_{v0}) / N_{kt} \\ c_{uC} &= (q_t - u) / N_{ke} \\ c_{uC} &= \Delta u / N_{\Delta u} \end{aligned}$$

N-korrelasjonene beskrevet ovenfor er basert på korrelasjoner mellom CPTU og laboratorieforsøk på blokkprøver.

For hver trykksondering har vi ved tolkningen benyttet et antatt beste estimat for grunnvannstanden. Videre er poretrykket justert for hver CPTU-posisjon i henhold til registrert poretrykk. Ved bestemmelse av anbefalt C_{uC} har vi lagt mest vekt på korrelasjoner fra Ref. 16.

6.3 Anisotropi og tøyingskompatibilitet

Det er i dette tilfellet ikke utført skjærforsøk for bestemmelse av direkte udrenert (c_{uD}) og passiv udrenert skjærfasthet (c_{uE}). Uten slik informasjon blir direkte- og passiv udrenert skjærfasthet ofte etablert som 0,6-0,7 og 0,3-0,4 av tolket c_{uC} .

I beregningene er det valgt å benytte korrelasjon mellom anisotropi i skjærfasthet og plastisitetsindeksen for sensitive norske leirer slik den er presentert i Ref. 18 som

$$\begin{aligned} c_{uD}/c_{uC} &= 0,0053 \cdot I_p + 0,5840 \\ c_{uE}/c_{uC} &= 0,0070 \cdot I_p + 0,2289 \end{aligned}$$

Plastisitetsindeksen (I_p) inngår i prosent (%).

Med bakgrunn i utført laboratoriearbeid har vi ut fra en totalvurdering valgt å benytte en plastisitetsindeks på $I_p=5\%$ for hele det undersøkte området. Dette tilsvarer anisotropifaktorer på $C_{uD}/C_{uC}=0,61$ og $C_{uE}/C_{uC}=0,26$ primært for alle leirslag, basert på C_{uC} uten reduksjon.

Karakterisk skjærfasthet

På basis av utførte undersøkelser har vi endt opp med et anbefalt karakteristisk aktivt skjærfasthetsprofil (c_{uC}) mot dybden for hver posisjon der CPTU er utført; det vises til figurer i Vedlegg D for detaljerte plott.

Ifølge Ref. 17 og Ref. 2 skal tolket aktiv skjærfasthet (c_{uC}) reduseres med 15% i tilfeller der meget sensitive/kvikke leirer er påtruffet. Dette gjelder alle materialer der omrørt skjærfasthet (c_{uo}) under 0,5 kPa samt alle materialer som både har omrørt skjærfasthet under 2,0 kPa og en sensitivitet (S_t) større enn 15 – såkalte sprøbruddmaterialer. Figurene i Vedlegg D viser c_{uC} -profil uten styrkereduksjon.

Ved etablering av karakterisk c_{uC} -profil er NC-linjen (dvs $c_{uC} = 0,28 \cdot \sigma'_0$) antatt å være en nedre begrensning. Dette gjelder også for større dybde i finkornige masser enn det som er dekt via sonderinger/forsøk i felt/laboratorium; dvs. videre ned til fast grunn eller berg.

6.4 Drenerte styrkeparametere (effektivspenningsanalyse, a , φ)

Treksialforsøk (CAUC)

Tolkede styrkeparametere (a og φ) på effektivspenningsbasis ut fra spenningsstiene fra utført treksial trykkforsøk er oppsummert i Tabell 2, samt vist i figur D4.

Trykksonderinger (CPTU)

Effektive styrkeparametere (a og φ) er videre tolket ut fra CPTU-ene i de aktuelle 15 posisjonene ved bruk av den såkalte NTNU-metoden (også kalt NTH-metoden), primært etter Ref. 24.

Denne tolkningsmetoden er implementert i vårt tolkningsregneark; jf. Ref. 19

Erfaringsmessig kan det ved CPTU-tolking være vanskelig å bestemme en entydig fast β selv for et gitt tilfelle med antatt uniform leire. I mange tilfeller har det således blitt funnet påkrevd å benytte mere negativ β enn hva relevant faglitteratur har anbefalt eller indikert for å få god overenstemmelse med verdier fra treksialforsøk.

Basert på egne erfaringer og relevant faglitteratur har vi derfor som regel sett på en variasjonsbredde i denne parameteren før endelig valg av friksjonsvinkel blir gjort; dvs. utført en sensitivitetsstudie. I praksis er det funnet hensiktsmessig å utføre dette for antatt rimelige kombinasjoner av plastifiseringsvinkel (β) og attraksjon (a).

For hver CPTU har vi derfor utført tolking for følgende 3 kombinasjoner $a=20\text{kPa}$ $\beta = -20^\circ$, $a=30\text{kPa}$ $\beta = -30^\circ$ og $a=40\text{kPa}$ $\beta = -40^\circ$. Deretter har vi utfra en totalvurdering foretatt det endelige valget av aktuell friksjonsvinkel og attraksjon.

Karakteriske effektivspenningsparametere (a og ϕ)

Med bakgrunn i utførte undersøkelser og tolkninger i kombinasjon med erfaring fra lignende forhold har vi endt opp med å anbefale karakteriske effektivspenningsbaserte styrkeparametere mot dybden for hver posisjon der CPTU er utført; se figurer i Vedlegg D.

For større dybde i finkornige masser enn det som er dekt via sonderinger/forsøk i felt/laboratorium, antas samme styrkeparametere videre ned til fast grunn eller berg.

Videre ned er det et fastere lag av varierende mektighet, og prøver viser at det består av sand og silt. For dette laget har vi valgt å benytte drenerte styrkeparametere for attraksjon (a) lik 5 kPa (kohesjon $c=2,9$ kPa) og friksjonsvinkel (ϕ) lik 30° i etterfølgende stabilitetsanalyser.

Der det er påtruffet faste masser under leirlaget, evt. mellom leirlaget og berg, antas en karakteristisk friksjonsvinkel (ϕ) på 33° og en karakteristisk attraksjon (a) på minst 10 kPa (kohesjon $c=6,5$ kPa).

7 STABILITETSVURDERINGER

7.1 Analyseverktøy

Stabilitetsanalyser

Stabilitetsanalysene er utført med programmet GeoSuite Stability; jf. Ref. 15. Stabilitetsvurderingene er utført på både totalspenning- og effektivspenningsbasis. Drenert effektivspenningsanalyse er forkortet DESA i fremstillingen, mens udrenert totalspenningsanalyse er forkortet UTSA.

Totalspenningsanalyser er utført ved bruk av såkalte skjærfasthetsprofiler (C-Profil) for å definere skjærfastheten i udrenerte lag. Skjærfasthetsprofilene er modellert etter anbefalt skjærfasthet mot dybden presentert i Fig D8-D14. Totalspenningsanalyser utført for profiler der leirlaget er tolket å gå fra ikke sensitivt/kvikt til sensitivt/kvikt er det lagt inn C-profil med 15% styrkereduksjon C_{UC} i for sensitivt/kvikt materiale. Dersom hele leirlaget er tolket som sensitivt/kvikt er C-profilene lagt inn uten 15% styrkereduksjon for C_{UC} , mens det er lagt inn styrkeanisotropiforhold for aktiv skjærfasthet med 15% reduksjon ($Aa = 0.85$). Alle totalspenningsanalyser for udrenert tilstand er utført med styrkeanisotropiforhold $C_{pr}/C_{UD}/C_{UE}$ på 1,00/0,61/0,26.

For effektivspenningsanalysene i drenert tilstand er beregningene utført i henhold til vanlig praksis uten styrkereduksjon og uten anisotropi i styrkeparametere i bruddflatene.

Beregningene er utført i alle profiler både med sirkulærsylindriske skjærflater og sammensatte skjærflater etter antatt svakeste partiet i hver profil. Det viste seg at sirkulærsylindriske skjærflater var de mest kritiske i alle tilfeller.

7.2 Stabilitetsvurderinger

Innledende vurderinger og områdestabilitet

Vi har valgt å analysere det aktuelle området ut fra kriterier for kartlegging og risikoklassifisering av kvikkleiresoner gitt i Ref. 2. Kriteriene for nærmere analyse er

1. Jevnt hellende terreng brattere enn 1:15
2. Høydeforskjeller på 5 meter eller mer.

For å ta stilling til punkt 1 har vi utarbeidet et helningskart over et større område, Ref.11.

På denne bakgrunn samt studie av høydekurver har vi endt opp med å velge 5 profiler for nærmere analyse. Dette med hensyn både til lokal stabilitet av skråninger samt områdestabilitet der større glideflater er involvert. For detaljer om plassering og lengde av beregningsprofiler fra stabilitetsanalysene vises det til-Tegning T301. Profilene er valgt med den hensikten at de skal dekke områder med brattest terrenghelning, som kan medføre skred/utglidninger som vil påvirke planområdet.

Vi har benyttet samme kriterier i alle profiler, uansett om de ligger innenfor grensene på reguleringsplanen eller ikke. Det kan diskuteres om dette er strengt for områder som ligger utenfor reguleringsplanen med større margin enn forventet maksimal skredlengde.

Profil A

Borpunkt 25 ligger på toppen av terrassen i dette profilet, mens MC10 ligger nedenfor skråningen. Det er utført CPTU i borpunkt 25, samt representativ prøvetaking i leirlaget som viser at løsmassene her ikke er sprøbruddmaterialer. Borpunkt MC10 er ut fra sammenligning med totalsonderinger i området vurdert å ikke bestå av sprøbruddmaterialer.

Det er benyttet C-profil ut fra en forenklet versjon av anbefalt C_{UC} Figur D14 i borpunkt 25 og MC10.

Grunnvannsnivået gjennom profilet er vurdert ut fra innmåling av grunnvannstand i borpunkt 25.

Beregnete materialfaktorer fra utførte stabilitetsanalyser i Profil A er vist i Tabell 3.

Tabell 3: Beregnede materialfaktorer (γ_M) fra stabilitetsanalyser i Profil A

Situasjon Profil A	Materialfaktor γ_M				Tegn. nr
	UTSA sirkulær	UTSA sammensatt	DESA sirkulær	DESA sammensatt	
Dagens tilstand	1,75	1,83	1,69	1,8	T311
min. %-bedring/1,4	-	-	-	-	

Stabilitetsanalysene viser at materialfaktoren er lavest for drenert analyse med sirkulær glideflate, og ut fra resultatene er sikkerhetsfaktoren for profilet $F \geq 1,4$.

Profil B

Borpunkt 17 og MC9 ligger på toppen av terrassen i dette profilet, mens MC11 ligger nedenfor skråningen. I Borpunkt 17 og MC9 er løsmassene vurdert å ikke bestå av sprøbruddmateriale, mens i Borpunkt MC11 er løsmassene vurdert som antatt sprøbruddmaterialer.

Det er benyttet C-profil i 17 og MC9 fra forenklet anbefalt C_{UC} -profil for borpunkt 25, Figur D14. I borpunkt MC11 er det benyttet C-profil fra forenklet anbefalt C_{UC} -profil for borpunkt MC7, Figur D10, som er redusert med 15 % iht Ref. 2.

Grunnvannsnivået gjennom profilet er vurdert ut fra innmåling av grunnvannstand i borpunkt 25.

Beregnete materialfaktorer fra utførte stabilitetsanalyser i Profil B er vist i Tabell 4.

Tabell 4: Beregnede materialfaktorer (γ_M) fra stabilitetsanalyser i Profil B

Situasjon Profil B	Materialfaktor γ_M				Tegn. nr
	UTSA sirkulær	UTSA sammensatt	DESA sirkulær	DESA sammensatt	
Dagens tilstand	1,50	1,61	1,50	1,61	T312
min. %-bedring/1,4	-	-	-	-	

De mest kritiske glideflatene for effektiv og totalspenningsanalyse i profilet går ikke gjennom leirlaget. For totalspenningsanalysen er det også lagt inn en glideflate som er tvunget ned gjennom leirlaget for å finne sikkerhetsfaktoren til en større utglidning, se Tegning T312.

Resultatene fra analysene viser at sikkerhetsfaktoren $F \geq 1,4$ for dette profilet.

Profil C

Borpunkt 18 ligger på toppen av terrassen i dette profilet, mens 19 og MC7 ligger i eller nedenfor skråningen. MC 13 er også inkludert i profilet, men denne boringen ligger et godt stykke unna skråningsfoten. I Borpunkt 18 og 19 er løsmassene vurdert å ikke bestå av sprøbruddmateriale, mens i Borpunkt MC7 og MC13 er løsmassene vurdert som antatt sprøbruddmaterialer.

For det øverste leirlaget er det benyttet valgt konstant verdi for udrenert skjærfasthet for hele laget. Verdien for laget er vurdert ut fra CPTU i MC13, Ref. 8, og tabell 17, Ref.25. I dette laget er det lagt inn styrkeanisotropiforhold $C_{pr}/C_{uc}/C_{ud}/C_{ue}$ på 1,00/0,85/0,61/0,26; dvs. med 15% reduksjon av aktiv skjærfasthet.

For det nederste leirlaget er det tegnet inn C-profilet for udrenert skjærfasthet. Det er benyttet C-profil i 18 og 19 fra forenklet anbefalt C_{uc} -profil for borpunkt 25, Figur D14. I borpunkt MC7 er det benyttet C-profil fra forenklet anbefalt C_{uc} -profil for MC7, Figur D8, hvor skjærfastheten er redusert med 15 %. Dette fører til at skjærfastheten i nedre del av profilet blir noe for lav i direkte skjær (D) og passiv sone (E). Derfor er resultatene fra UTSA noe for lave.

Grunnvannsnivået gjennom profilet er vurdert ut fra innmåling av grunnvannstand i borpunkt 25 og fra poretrykkmåling i MC7.

Beregnete materialfaktorer fra utførte stabilitetsanalyser i Profil C er vist i Tabell 5.

Tabell 5: Beregnede materialfaktorer (γ_M) fra stabilitetsanalyser i Profil C

Situasjon Profil C	Materialfaktor γ_M				Tegn. nr
	UTSA sirkulær	UTSA sammensatt	DESA sirkulær	DESA sammensatt	
Dagens tilstand	1,54	1,68	1,27	1,32	T313
min. %-bedring	-	-	1,58	1,65	
2,7 m motfylling	1,96	-	1,6	1,69	T316

Resultatene fra analysene viser at materialfaktoren for drenert analyse ikke tilfredsstillende kravet til sikkerhetsfaktor $F \geq 1,4$. Det kreves derfor at tiltak innenfor planområdet må føre til en forbedring på om lag 2,5 % i henhold til Figur 5.1 i NVE veilederen, Ref.2.

Foreslått forbedringstiltak her er motfylling, som er et forholdvis enkelt og rimelig tiltak. Det er utført stabilitetsanalyser med innlagt motfylling i bunn av skråningen som vist i Tegning T316, som viser

at en slik utførelse gir tilfredsstillende resultat i henhold til NVE-veilederen. Motfyllingen er lagt inn med max høyde på 1,4 meter. Det kan også utføres andre forbedrende tiltak i kombinasjon eller istedenfor motfylling, som for eksempel utslaking av skråningskanten.

Profil D

Borpunkt 20 ligger på toppen av terrassen i dette profilet, mens 21 ligger i eller nedenfor skråningen. I Borpunkt 20 og 21 er løsmassene vurdert å ikke bestå av sprøbruddmateriale.

For det nederste leirlaget er det tegnet inn C-profilet for udrenert skjærfasthet. Det er benyttet C-profil i 20 og 21 fra forenklet anbefalt C_{UC} -profil for borpunkt 25, Figur D14.

For det øverste leirlaget er det benyttet valgt konstant verdi for udrenert skjærfasthet for hele laget. Verdien for laget er vurdert ut fra tabell 17, Ref.25 samt korrelert med tilsvarende lag i profil C. Fordi dette laget er antatt ikke sprøbruddmateriale er det ikke lagt inn reduksjon i skjærfasthet for dette laget.

Grunnvannsnivået gjennom profilet er vurdert ut fra innmåling av grunnvannstand i borpunkt 25 og fra poretrykksmåling i MC7.

Beregnete materialfaktorer fra utførte stabilitetsanalyser i Profil D er vist i Tabell 6.

Tabell 6: Beregnede materialfaktorer (γ_M) fra stabilitetsanalyser i Profil D

Situasjon Profil D	Materialfaktor γ_M				Tegn. nr
	UTSA sirkulær	UTSA sammensatt	DESA sirkulær	DESA sammensatt	
Dagens tilstand	1,40	1,46	1,44	1,53	T314
min. %-bedring/1,4	-	-	-	-	

De mest kritiske glideflatene for effektiv og totalspenningsanalyse i profilet går ikke gjennom leirlaget. For totalspenningsanalysen er det også lagt inn en glideflate som er tvunget ned til det nederste leirlaget for å finne sikkerhetsfaktoren for en større utglidning, se Tegning T314.

Stabilitetsanalysen viser av sikkerhetsfaktoren er akkurat innenfor kravet $F \geq 1,4$.

Profil E

Dette profilet har den slakeste terrenghelningen av de profilene som er valgt. Profilet er valgt for å representere området nedenfor terrassene. Det er forsøkt å velge ut det profilet i dette området med lengst skråning og brattest helningen.

Borpunkt 22 ligger på toppen av terrassen i dette profilet, mens MC1 og 23 ligger henholdsvis i og omtrent ved foten skråningen.

I profilet er det øverste og det nederste profilet antatt sprøbruddmateriale. Det er derfor lagt inn styrkeanisotropiforhold $C_{pr}/C_{UC}/C_{UD}/C_{UE}$ på 1,00/0,85/0,61/0,26; dvs. med 15% reduksjon av aktiv skjærfasthet

Det øverste leirlaget er delt inn to ulike lag (lag 1 øverst og lag 2 nederst). For lag 1 er det valgt en konstant verdi for hele leirlaget etter vurderinger ut fra de øverste meterne i fra anbefalt C_{UC} for borpunkt 23A og 23 B, Figur D10. For lag 2 er det tegnet et forenklet C-profil ut fra anbefalt C_{UC} for borpunkt 25, Figur D10 og D11.

For det nederste leirlaget er det tegnet inn C-profil i borpunkt 22 og MC1 fra forenklet anbefalt C_{UC} for 22, Figur D9. I borpunkt 23 er det benyttet et forenklet C-profil ut fra anbefalt C_{UC} -profil for borpunkt 23A og 23 B, Figur D10 og D11.

Grunnvannsnivået gjennom profilet er vurdert ut måling av grunnvannstand og poretrykk i borpunkt MC4, samt fra poretrykksmåling i 23.

Beregnete materialfaktorer fra utførte stabilitetsanalyser i Profil E er vist i Tabell 7

Tabell 7: Beregnede materialfaktorer (γ_M) fra stabilitetsanalyser i Profil E

Situasjon Profil E	Materialfaktor γ_M				Tegn. nr
	UTSA sirkulær	UTSA sammensatt	DESA sirkulær	DESA sammensatt	
Dagens tilstand	2,02	2,19	1,94	1,99	T315
min. %-bedring/1,4	-	-	-	-	

Stabilitetsanalysen viser av sikkerhetsfaktoren er godt innenfor kravet $F \geq 1,4$.

Områdestabilitet

Innledningsvis har vi utført en analyse av terrengets skråningshelning i det aktuelle området, som ledet fram til skråningshelningskartet, Ref.11. Med bakgrunn i dette har vi identifisert profiler som vi vurderte kritiske med hensyn til stabilitet.

Vi har i hvert profil begynt med søk etter den mest kritiske skjærflaten på et bredt område over antatt mest kritiske skråning og basert på resultatene har vi siden gjentatt beregningene med redefinert søkeområde inntil vi er sikker på at vi har funnet den mest kritiske glideflaten. I tillegg har vi i alle profiler også utført stabilitetsberegninger for lange sammensatte glideflater.

Studie av slike sammensatte flater over hele området har vist at ettersom skjærflatene blir lengre heves generelt materialfaktoren. I samtlige profiler er derfor sirkulær glideflate den mest kritiske.

Ut fra overnevnte erfaringer vurderes derfor lange glideflater ved dagens situasjon som ikke kritiske. Stabiliteten av større områder blir helst truet ved et lite initialscred som utvikler seg retrogressivt bakover inntil større områder kan gli ut.

8 KONKLUSJON

Etter å ha gått gjennom boringer som er registrert utført i område er det utarbeidet kart over samtlige boreposisjoner med inntegnet påvist eller antatt/mulig tilstedeværelse av kvikkleire og /eller sprøbruddmateriale og påvist eller antatt ikke tilstedeværelse av kvikkleire og/eller sprøbruddmateriale.

Videre er det inntegnet en antatt avgrensning av kvikkleiresona mot nordlig retning. Den er ikke avgrenset sideveis eller sørover fordi det er antatt at kvikkleiresona kan strekke seg langt utenfor planområdet.

Overnevnte vurderinger er inntegnet i Tegning T302.

Det er utført stabilitetsanalyser for utvalgte profiler som representerer dagens tilstand. Analysene viser at stabiliteten er tilfredsstillende for alle profiler unntatt profil C-C som ligger nær midten av nordre begrensning av planområdet. Tilleggsanalyser viser at det er mulig å oppnå tilfredsstillende sikkerhet ved enkle tiltak som for eksempel en lav motfylling eller noe utslaking av terrassekanten.

9 REFERANSER

- Ref. 1 **Eurokode 7-1. 2008.** NS-EN 1997-1:2004+NA:2008. *Geoteknisk prosjektering. Del 1: Allmenne regler.* 2008.
- Ref. 2 **NVE. 2014.** *Veileder 7: Sikkerhet mot kvikkleireskred.* Oslo : Norges vassdrags- og energidirektorat, 2014.
- Ref. 3 **TEK 10: FOR 2010-03-26 nr 489: Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift).**
- Ref. 4 **Geovest-Haugland AS. 2009.** *Eid kommune - Golvsengane Barnehagetomt. 2008.169-1.* 2009.
- Ref. 5 **Geovest-Haugland AS. 2005.** Notat: *Nordfjordeid - Golvsenga barnehage. Innledende stabilitetsvurderinger, Del A. Prosjektnummer 2005.040.*
- Ref. 6 **Geovest-Haugland AS. 2009.** *Eid kommune - Ny sjukeheim Nordfjordeid.* 2009.
- Ref. 7 **Geovest-Haugland AS. 2006.** *Eid kommune - Reguleringsplan for Høgebakken/Golvsenga - Orienterende grunnundersøkelse. 2005040-1.* 2006.
- Ref. 8 **Multiconsult AS. 2013.** *Eid - Myroldhaug: 614883-RIG-RAP-001.* 2013.
- Ref. 9 **Multiconsult AS.. 2014.** Notat: *Eid-Myroldhaug. 514883-RIG-NOT-001 .* 2014.
- Ref.10 **NGI. 2001.** *Program for økt sikkerhet mot leirskred - Metode for kartlegging og klassifisering av faresoner, kvikkleire. Rapport 20001008-2, Revisjon 3, datert 8.oktober 2008.* s.l. : Norges Geotekniske Institutt, 2001.
- Ref.11 **Norconsult AS. 2014.** *Detaljreguleringsplan for Myroldhaug - Vurdering av grunnforhold - Utredning av aktsomhetsområder og faresoner. 5143427-RIG01 Rev A. .* 2014.
- Ref.12 **Norconsult AS. 2014.** *Myroldhaug detaljregulering - Grunnundersøkelser - Datarapport 5143552-RIG02.* 2014.
- Ref.13 **Norconsult AS. 2013.** *Reguleringsplan for Myroldhaug. Vurdering - Borplan. Notat 5130561-1.* 2013.
- Ref.14 **Nordplan. 2014.** *Detaljregulering for Myroldhaug.* s.l. : Eid kommune, 2014.
- Ref.15 **Novapoint:** GeoSuite Stability Version 4.4.0.26
- Ref.16 **Karlsrud, K., Lunne, T., Kort, D. A. and Strandvik, S. 2005.** CPTU correlations for clays. International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 16. Osaka 2005. Proceedings, Vol. 2, pp. 693-702.
- Ref.17 **NVE. 2014.** *Retningslinjer nr 2/2011: Flaum og skredfare i arealplanar.*
- Ref.18 **NVE. 2012.** *Bruk av anisotropiforhold i stabilitetsberegninger i sprøbruddmaterialer*
- Ref.19 **Arne Åsmund Skotheim. 2010.** *Bruk av CPTU i Geovest-Haugland AS. Foredrag CPTU-seminar Vegdirektoratet 26.april 2010.*
- Ref.20 **NGI. 2001.** *Program for økt sikkerhet mot leirskred . Metode for kartlegging og klassifisering av faresoner, kvikkleire.*
- Ref.21 **Eurocode 0, 2008.** NS-EN 1990:2002+NA:2008.
- Ref.22 **Statens Vegvesen, 2010.** *Statens vegvesen Håndbok V220.*
- Ref.23 **Norconsult AS. 2014.** *Nordfjordeid skole - Flerbrukshall - Grunnundersøkelser. Datarapport 5145080-RIG01.*

Ref.24 **Rolf Sandven. 1990.** *Strength and deformation properties of fine grained soils obtained from piezocone tests.*

Ref.25 **NGF. 1982.** *Melding nr 2. Veiledning for symboler og definisjoner i geoteknikk. Identifisering og klassifisering av jord, revidert 2011.*