

Fylke Sør-Trøndelag	Kommune Trondheim	Sted Sluppen	UTM 05698 70303
Byggherre Sluppen Eiendom AS m/fl.			
Oppdragsgiver Sluppen Eiendom AS m/fl.			
Oppdrag formidlet av AsplanViak AS, Trondheim v/Ane Kvamshagen/Kjell Ivar Kjølhamar			
Oppdragsreferanse Rambøll oppdragsbekreftelse dat. 16.11.08			
Antall sider 17	Tegn.nr 201 - 244	Bilag.nr. 1 - 5	Antall tillegg -

Prosjekt-tittel

Utbyggingsområde Sluppen

Rapport-tittel

Utredning av kvikkleiresone 228 Nidarvoll ihht. NVE 1/2008

Oppdrag nr: 6080734	Rapport nr: 02	Rev: 1	Dato: 14.10.2009	Kontr: RHR/CHK
Oppdragsleder: Stein-Are Strand		Utarbeidet av: Stein-Are Strand		

SAMMENDRAG

Utførte grunnundersøkelser innenfor sone 228 Nidarvoll viser et gjennomgående kvikkleirelag under øst- og sydlige deler av Sluppen-platået, med overkant mellom ca kote +35 og +25 og underkant mellom ca kote +15 og +5 lengst syd. Det er ikke påvist kvikkleire under sydvestlige, vestlige og nordlige deler av Sluppen-platået, hvor det reiser seg en fjellterskel under elvebredden opp mellom ca kote +5 og +15.

Det er også påvist et øvre kvikkleirelag i terrengryggformasjonen N - S mellom Sluppenvegen og Leirfossvegen.

Det er på grunnlag av samlede grunnundersøkelser i området foreslått en ny avgrensning av sone 228 Nidarvoll.

Stabiliteten langs N-S- terrengryggen sentralt i kvikkleiresona (mellom Sluppenvegen og Leirfossvegen) er lav både mot nordvest og sør - sørøst, med beregnet sikkerhet for dagens situasjon på total - og effektivspenningsbasis i størrelsesorden $\gamma_m=0.8 - 1.3$.

Mot TEs Driftssenter i nordøst fremstår stabiliteten tilfredsstillende, også ved en tenkt utbygging på området med en antatt utgraving 3 meter ned i forhold til dagens terreng.

Fra den lave skråningen fra TEVs administrasjonsbygg og vestover i retning Sluppenveien 17 er stabiliteten god.

For å tilfredstille krav i NVE 1/2008 er det nødvendig i gjennomføre stabiliserende tiltak langs terrengryggen for å oppnå nødvendig sikkerhet. Med en beregnet materialkoeffisient i størrelsesorden $\gamma_m=0.8 (1.0) - 1.3$ vil det medføre et krav om gjennomføring av tiltak som gir en prosentvis forbedring i størrelsesorden 3 - 15 % (vesentlig forbedring).

Ut fra utførte beregninger er det i rapporten skissert aktuelle tiltak i form av nedplanering av terrengryggen, samt motfylling i skråningsfoten mot nordvest (Sluppenvn. 8-10-12)). For mer detaljert beskrivelse av beregnet sikkerhet og foreslåtte sikringstiltak langs terrengryggen, se kap. 5.2 -5.5.

I sydskråningen ut mot Nidelva er det både på total - og effektivspenningsbasis beregnet lav sikkerhet ($\gamma_m=0.9 - 1.2$) for dagens situasjon. For å tilfredstille krav i NVE 1/2008 er det nødvendig å gjennomføre stabiliserende tiltak for oppnå nødvendig sikkerhet. Med en beregnet materialkoeffisient mellom $\gamma_m= 1.0 - 1.2$ vil dette medføre et krav til en prosentvis forbedring i størrelsesorden 8 - 15 % (vesentlig forbedring).

Aktuelle tiltak vil også her være nedplanering av skråningstoppene (høydedragene), utslaking av bratte skråningspartier og motfylling i skråningsfoten. For mer detaljert beskrivelse av beregnet sikkerhet og foreslåtte sikringstiltak i området, se kap. 5.6 -5.8.

Det skal også nevnes at de tiltakstypene som er beskrevet er normalt de mest sikre og effektive for å oppnå bedret sikkerhet. Det finnes alternative tiltakstyper, men disse vil normalt være mer kostbare i utførelse og usikre i virkning.

Det er langs Nidelva svært viktig snarest å iverksette en oppgradering av eksisterende sikringsanlegg mot sone Nidarvoll. Sikringsarbeidet må inkludere gjenfylling av kritiske erosjonsgroper under elvebunnen. Disse sikringsarbeidene bør prioriteres høyt, og gjennomføres uavhengig av videre tiltak for å sikre gjennomførbarhet av de planlagte reguleringer innenfor sone Nidarvoll.

INNHOOLD

1	INNLEDNING	6
1.1	Prosjekt.....	6
1.2	Oppdrag	6
1.3	Innhold	6
2	BEREGNINGSFORUTSETNINGER.....	6
2.1	Generelt	6
2.2	Beregningsprofiler.....	7
2.3	Terreng og grunnforhold.....	7
2.4	Poretrykk.....	7
2.5	Geometrieffekter vs plan tilstand.....	8
3	MATERIALPARAMETRE	8
3.1	Tyngdetetthet	8
3.2	Udrenert skjærstyrke	8
3.3	Effektiv skjærstyrke	9
3.4	Anisotropi og tøyningsskompatibilitet.....	9
3.5	Overkonsolidering og opprinnelig terrengnivå.....	10
3.6	Kvalitet av undersøkelser.....	10
4	KRAV TIL MATERIALKOEFFISIENT	10
5	STABILITETSBEREGNINGER.	10
	RESULTATER MED VURDERINGER – TILTAKSVURDERINGER.....	10
5.1	Generelt	10
5.2	Profil 1	11
5.3	Profil 2	11
5.4	Profil 3	12
5.5	Profil 4	12
5.6	Profil 5	13
5.7	Profil 6	14
5.8	Profil 7	15
6	ANDRE VURDERINGER.....	16
6.1	Klassifisering og utstrekning av Kvikkleiresone 228 Nidarvoll.....	16
6.2	Erosjonsforhold og tilstandsregistrering mot Nidelva	16
7	KONSEKVENSER FOR VIDERE PLANLEGGING OG UTBYGGING	17
8	VIDERE ARBEID	17
8.1	Detaljprosjektering av tiltak	17
8.2	Behov for supplerende undersøkelser	18
8.3	Kontroll under utførelse	18
9	REFERANSER.....	18

TEGNINGER

Tegn. nr.	Tittel	Målestokk
201	Oversiktskart	1:50 000
202	Situasjonsplan m/profiler og forslag til tiltak	1:2 000
203	Profil 1 - Lagdeling	
204	Profil 2 - Lagdeling	
205	Profil 3 - Lagdeling	
206	Profil 4 - Lagdeling	
207	Profil 5 - Lagdeling	
208	Profil 6 - Lagdeling	
209	Profil 7 - Lagdeling	
210	Profil 1: Totalspenningsanalyse (ADP) - Dagens situasjon - Plan tilstand	
211	Profil 1: Effektivspenningsanalyse - Dagens situasjon - Plan tilstand	
212	Profil 2: Totalspenningsanalyse (ADP) - Dagens situasjon - Plan tilstand	
213	Profil 2: Effektivspenningsanalyse - Dagens situasjon - Plan tilstand	
214	Profil 2: Totalspenningsanalyse (ADP) - Dagens situasjon - rev. terreng	
215	Profil 2: Effektivspenningsanalyse - Dagens situasjon - rev. terreng	
216	Profil 2: Totalspenningsanalyse (ADP) - Tiltak TEV Eiendom AS	
217	Profil 2: Effektivspenningsanalyse - Tiltak TEV Eiendom AS	
218	Profil 3: Totalspenningsanalyse (ADP) - Dagens situasjon - Plan tilstand	
219	Profil 3: Effektivspenningsanalyse - Dagens situasjon - Plan tilstand	
220	Profil 3: Totalspenningsanalyse (ADP) - Dagens situasjon - rev. terreng	
221	Profil 3: Effektivspenningsanalyse - Dagens situasjon - rev. terreng	
222	Profil 3: Totalspenningsanalyse (ADP) - Stabiliserende tiltak	
223	Profil 3: Effektivspenningsanalyse - Stabiliserende tiltak	
224	Profil 4: Totalspenningsanalyse (ADP) - Dagens situasjon - Plan tilstand	
225	Profil 4: Effektivspenningsanalyse - Dagens situasjon - Plan tilstand	
226	Profil 4: Totalspenningsanalyse (ADP) - Dagens situasjon - rev. terreng	
227	Profil 4: Effektivspenningsanalyse - Dagens situasjon - rev. terreng	
228	Profil 4: Totalspenningsanalyse (ADP) - Stabiliserende tiltak	
229	Profil 4: Effektivspenningsanalyse - Stabiliserende tiltak	
230	Profil 5: Totalspenningsanalyse (ADP) - Dagens situasjon - Plan tilstand	
231	Profil 5: Effektivspenningsanalyse - Dagens situasjon - Plan tilstand	
232	Profil 5: Totalspenningsanalyse (ADP) - Stabiliserende tiltak	
233	Profil 5: Effektivspenningsanalyse - Stabiliserende tiltak	
234	Profil 6: Totalspenningsanalyse (ADP) - Dagens situasjon - Plan tilstand	
235	Profil 6: Effektivspenningsanalyse - Dagens situasjon - Plan tilstand	
236	Profil 6: Totalspenningsanalyse (ADP) - Dagens situasjon - rev. terreng	
237	Profil 6: Effektivspenningsanalyse - Dagens situasjon - rev. terreng	
238	Profil 6: Totalspenningsanalyse (ADP) - Stabiliserende tiltak	
239	Profil 6: Effektivspenningsanalyse - Stabiliserende tiltak	
240	Profil 7: Totalspenningsanalyse (ADP) - Dagens situasjon - Plan tilstand	
241	Profil 7: Effektivspenningsanalyse - Dagens situasjon - Plan tilstand	
242	Profil 7: Totalspenningsanalyse (ADP) - Stabiliserende tiltak	
243	Profil 7: Effektivspenningsanalyse - Stabiliserende tiltak	
244	Plan med forslag til stabiliserende tiltak - orienterende illustrasjon.	

BILAG

- 1 Tolking av CPTU, pkt. 3
- 2 Tolking av CPTU, pkt. 7
- 3 Tolking av CPTU, pkt. 9
- 4 Topografisk dybdekartlegging i Nidelva/Novatek (utdrag)
- 5 Tilsynsrapport/tilstandsregistrering Nidelva/NVE (utdrag)

1 INNLEDNING

1.1 Prosjekt

Sluppen Eiendom AS, Kjeldsberg Sluppen ANS, Trondheim kommune og Statens Vegvesen har i fellesskap igangsatt utredning av stabilitetsforholdene innenfor kvikkleiresone " 228 Nidarvoll".

Bakgrunn for utredningen er at samtlige parter arbeider med reguleringsplaner som i større eller mindre grad berøres av kvikkleiresone "228 Nidarvoll", og at NVE har varslet innsigelse dersom ikke skredfaren i forhold til reguleringsplanene er avklart i hht. NVEs Retningslinjer¹ ref./1/.

Prosjektet som her er rapportert omfatter resultater og vurderinger vedr. stabilitetsforhold og nødvendige tiltak innenfor kvikkleiresone " 228 Nidarvoll" for å tilfredsstille gjeldende krav i hht. NVEs Retningslinjer.

1.2 Oppdrag

Sluppen Eiendom AS v/AsplanViak AS er oppdragskoordinator for de ovenfor angitte deltagende parter i prosjektet. Rambøll Norge AS har utført oppdraget, som beskrevet ovenfor.

Utredningen er basert på forutgående grunnundersøkelser, utført av Rambøll Norge AS, også iverksatt av partene. Datarapport herfra, med grunnlag for beregninger og vurderinger, er gitt i Rambøll sin rapport G-rap-001 6080607 datert 03.07.2009, samt resultater fra tidligere utførte grunnundersøkelser i området, i hovedsak utført av Rambøll Norge AS (tidl. Kummeneje AS) og Trondheim kommune.

Undersøkelsene er gjennomført spesielt med tanke på å avdekke forekomster av kvikkleire, både for avgrensning av sonen, og som grunnlag for denne utredning.

Ytelsesmessig er oppdraget i utgangspunktet som beskrevet i tilbud til AsplanViak i brev dat.30.10.2008, men er i denne rapporten noe modifisert i forhold til at flere profiler er vurdert.

1.3 Innhold

Rapporten inneholder resultater av stabilitetsberegninger for vurderinger av områdestabiliteten for "Sone 288 Nidarvoll", og vurdering av nødvendige tiltak for å oppnå tilfredsstillende stabilitet i henhold til NVEs Retningslinjer.

Rapporten gir prinsipper for stabiliseringstiltak. Tiltakene forutsettes nærmere detaljprosjektert og omfangsmessig optimalisert ved et samarbeid mellom Oppdragsgiver(e) og geoteknisk rådgiver.

2 BEREGNINGSFORUTSETNINGER

2.1 Generelt

Stabilitetsberegningene er utført både ved:

- Totalspenningsanalyse (udrenert korttidstilstand)
- Effektivspenningsanalyse (drenert langtidssituasjon).

Totalspenningsanalysen vurderes som kritisk ved de opptredende grunnforhold med leire, stedvis kvikk eller sensitiv, for å ta hensyn til en potensiell situasjon med udrenerte spenningsendringer i grunnen. Dette er ofte "worst case".

Effektivspenningsanalysen vurderes som representativ for langtidssituasjonen for skråningene slik de ligger i dag.

¹ NVE Retningslinjer 1/2008 rev. 05.03.2009: "Planlegging og utbygging i fareområder langs vassdrag", med Veileder for: "Vurdering av områdestabilitet ved utbygging på kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper".

Stabilitetsanalysene utføres med beregningsprogrammet GeoSuite Stabilitet, som er en del av GeoSuite - pakken. GeoSuite Stabilitet baserer seg på en likevektsbetraktning av potensielle bruddflater. Beregninger utføres for sirkulære og sammensatte glideflater.

Stabilitetsberegningene utføres for en plan tilstand i profilene. Vi har også utført beregninger basert på vurdering av relevante geometrieffekter på et "ekvivalent skråningsprofil" med plan spenningstilstand (se også kap. 2.5)

2.2 Beregningsprofiler

Det er utført beregninger i totalt 7 profiler 1 - 7. Beliggenheten av profilene er vist på situasjonsplanen, tegning 202, og profilene med antatte laggrenser er vist på tegning 203 - 209.

Laggrensene er tegnet både på grunnlag av nye og tidligere boringer. Enkelte boringer ligger noe til side for profilene, og de angitte laggrenser i profilene er basert på en samlet og konservativ vurdering av boringene langs de enkelte profilene.

2.3 Terreng og grunnforhold

Terrengtet i undersøkelsesområdet er sterkt kupert og preget av gamle gjenstående skredkanter og leirrygger etter skred, ravinedaler og rasgroper.

Det er store høydeforskjeller innenfor området. Terrengtet i sør, mot Nidelva, faller fra kote ca. +50 fra platåkanten ut mot elva til kote +10 ved bredden av elva.

I nordøst, ut mot Nidarvoll/Trondheim Energi sitt eiendomsområde, faller terrengtet fra den høyeste ryggen i området fra ca. kote +73 til ca. kote +40.

Det utbygde området ved Postterminalen og Kjeldsbergs eiendomsområde, ligger på ca. kote +35 - +37.

Grunnforholdene i området består generelt av middels fast til fast leire over stedvis sensitiv/kvikk leire.

Under hele området er det fra ca kt. +35 og nedover et gjennomgående lag av sensitiv/kvikk leire med ca. 10 - 20 meters mektighet. Dette laget fases noe av ut mot Nidelva, men overgangen ut mot Nidelva mellom kvikk/sensitiv leire og ikke-sensitiv leire er usikker da det pga ulendt terreng ikke har vært mulig å komme til med borerigg i skråningene for utførelse av grunnundersøkelse her.

Boringer utført langs bredden av Nidelva viser middels til fast leire, ikke kvikk eller sensitiv.

I nordøstre del av området, i de gjenstående terrengryggene (ved borpunkt 2, 3, 4 og 12) er det registrert et høyereliggende kvikkleirelag, mellom ca kt. + 60 og kt. +46 ved borpunkt 12, og mellom ca kt. +45 og kt. +38 i borpunkt 2.

For nærmere beskrivelse/visualisering av kvikkleiras utbredelse henvises til profilene, tegning 203 - 209.

For øvrig henvises det til datarapport G-rap-001- 6080734 datert 03.07.2009, samt øvrig grunnlagsmateriale i form av datarapporter fra tidligere undersøkelser i området, for mer detaljert beskrivelse av grunnforholdene.

2.4 Poretrykk

Det er utført poretrykksmåling i 2 punkt, begge med måling i 2 dybder. Lokalisering er vist på tegn. 202.

Målingene indikerer en grunnvannstand tilsvarende ca kt.+ 42 i pkt. 4 (måler i dybde 10m antas plassert over GV) og ca kt. +33 i pkt. 7, med henholdsvis 100 % og ca 25 % poretrykksfordeling i dybden. Antas grunnvannstand i terreng i pkt. 7, kt. +39, tilsvarer dette ca 15 % av hydrostatisk poretrykksfordeling.

Det presiseres at disse målingene ikke er utført lengre enn i ca 2 mnd i vår/sommerhalvåret, slik at eventuelle årstidsvariasjoner er ikke "fanget opp". Som utgangspunkt for senere detaljprosjektering/optimalisering av tiltak, bør målingene i de nedsatte piezometre fortsette.

Tidligere målinger/observasjoner av grunnvannstand (bl.a ved TEVs område) tyder på at grunnvannstanden lengre nord i sonen kan antas å ligge i ca 1 m under terreng (ca. kt. +43), mens det mer sentralt i sonen (ved Sluppenveien 10) er målt en grunnvannstand ca 2 m under terreng (tilsvarende kt. + 37). Ved Postterminalen er det målt grunnvannstand ca 1.5 m under terreng, tilsvarende ca kt. +33.

Det ovenstående er benyttet som grunnlag i forbindelse med tolkning av materialparametre (kap. 3) og ved utførelse av stabilitetsberegninger (kap. 5). Spesielt for pkt.7: I tolkning av CPTU er det benyttet poretrykk tilsvarende GV i kt.+33, og 60 % poretrykksfordeling i dybden. I forbindelse med revisjonen ihht. gjennomført 3.partskontroll, har vi også tolket CPTU med poretrykksfordeling lik 16% av hydrostatisk fra terreng og 25% av hydrostatisk fra antatt GV kt. +33. Disse tolkningene gir noe høyere udrenert skjærstyrke, men gir ikke så store utslag at det vil gi nevneverdige utslag på beregnet sikkerhet (materialkoeffisient).

2.5 Geometrieffekter vs plan tilstand

Ved utførelse av stabilitetsberegninger legges som regel beregningssnittene langs de mest ugunstige profilene i et området. Dette er ofte langsetter rygger, og mot skråningstopper med begrenset utstrekning.

Stabilitetsberegningene utføres tradisjonelt for en plan spenningstilstand, dvs. at profilenes bredde antas å være av "uendelig".

For et profil med begrenset utstrekning (for eks. et profil langs en terrengrygg) vil dermed en slik antagelse om plan spenningstilstand være konservativ, og vurdering av den "romlige" virkningen bør gjennomføres.

For beregninger utført totalspenningsbasis er dette særlig relevant, da materialkoeffisienten (sikkerheten) for de kritiske skjærflatene i stor grad er avhengig av skråningens høydeforskjell.

For å hensynta romvirkningen er det i dette prosjektet valgt å benytte et såkalt "ekvivalent profil/høyde" i stabilitetsberegningene, basert på studier av topografien i det aktuelle området. Det blir for det valgte "ekvivalente" profilet gjennomført stabilitetsberegninger ved plan spenningstilstand. For dette prosjektet har dette vært aktuelt for Profil 2, som ligger langsetter en relativ smal terrengrygg, og for Profil 3 og Profil 4 som er lagt opp på en skråningstopp med begrenset utstrekning, og for Profil 6 hvor en liten og begrenset ås/rygg er vurdert til ikke å være representativ for en plan spenningstilstand for skråningen ned mot Nidelva.

Profilene 5 og 7 vurderes å være relevante for de aktuelle skråningene ned mot Nidelva uten at det benyttes et såkalt "ekvivalent profil".

Ved vurdering av et eventuelt behov for sikringstiltak, i hovedsak nedplanering eller motfylling (passive tiltak), vil det ekvivalente profilet bli lagt til grunn for beregningene.

3 MATERIALPARAMETRE

3.1 Tyngdetetthet

Tyngdetetthet (romvekt) for bruk i stabilitetsberegningene er for de stedlige massene bestemt ut fra utførte laboratorieundersøkelser.

3.2 Udrenert skjærstyrke

Udrenert skjærstyrke som benyttes i stabilitetsberegningene er valgt på grunnlag av tolkede CPTU – sonderinger og skjærstyrkemålinger utført på uforstyrrede 54 mm prøver i laboratoriet.

Tolkning av CPTU er utført på grunnlag av poretrykksfaktoren $N_{\Delta u}$ og spissmotstandsfaktoren N_{kt} . Generelt er $N_{\Delta u}$ benyttet ved B_q – verdi (poretrykksrespons) høyere enn 0,5 - 0,6 og N_{kt} er benyttet ved B_q lavere enn 0,5 - 0,6.

For bestemmelse av faktorene $N_{\Delta u}$ og N_{kt} er korrelasjoner basert på CAUC – treaksialforsøk på blokkprøver av høy kvalitet benyttet, kfr Lunne et al, ref /2/ og Karlsrud, ref /3/. For de valgte korrelasjonene for $N_{\Delta u}$ - og N_{kt} - faktorene er det skilt mellom leire med sensitivitet (S_t) lavere og høyere enn 15.

Ved tolking av CPTU er det benyttet romvekt 20 kN/m³.

In situ poretrykk er bestemt ved poretrykksmålinger i de aktuelle punkter, eller vurdert ut fra måling i nærliggende punkter/dybder. Det er valgt å benytte hydrostatisk poretrykksfordeling i dybden ved CPTU – tolkningen, noe som kan være noe konservativt antatt da det i dybden er målt noe under hydrostatisk poretrykksfordeling (ref. borpkt 7). Denne konservative effekten vil være større på N_{kt} – faktorene enn på $N_{\Delta u}$ – faktorene. OCR (overkonsolideringsgrad) er ved tolking av CPTU beregnet ut fra forutsetningen om et tidligere terrengnivå lik kt. +85 med hydrostatisk poretrykksfordeling fra tidligere terreng (sjøbunn) (se også kap. 3.5).

Det er lagt hovedvekt på følgende verdier ved bestemmelse av aktiv udrenert skjærstyrke:

$S_t < 15$:

$$N_{kt} = 7,8 + 2,5 * \log OCR + 0,082 * I_p$$

$$N_{\Delta u} = 6,9 - 4,0 * \log OCR + 0,07 * I_p$$

$S_t > 15$:

$$N_{kt} = 8,5 + 2,5 * \log OCR$$

$$N_{\Delta u} = 9,8 - 4,5 * \log OCR$$

OCR og I_p er henholdsvis overkonsolideringsgrad og plastisitetsindeks.

Det er i hht. anbefaling i NVEs Retningslinjer lagt inn en styrkereduksjon på 15 % i lag med kvikk eller sensitiv leire. Styrkereduksjonen legges inn ved beregningene, ikke ved tolking av skjærstyrken. Vurdering av leiras sensitivitet er basert på utførte laboratorieundersøkelser og vurdering/tolkning av sonderinger (trykk – og dreietrykksondering).

Valg av udrenert skjærstyrke er prioritert i forhold til følgende:

1. CPTU – tolkning
2. Laboratorieundersøkelser (konus – og enaksiale trykkforsøk samt aktive treaksialforsøk) på 54 mm prøver

Karakteristisk aktiv skjærstyrke benyttet i stabilitetsvurderingene er bestemt ut fra sammenhengen $S_{uA} = 0,29 * p_0' * OCR^{0,65}$ (ihht. Sanshep), med et antatt tidligere terreng på kt. +85 for bestemmelse av OCR i dybden.

Effektiv overlagering (p_0') er bestemt ut fra tyngdetetthet, bestemt ved utførelse av laboratorieundersøkelser, samt antatt in situ poretrykk analogt som ved tolkning av CPTU. Det er videre valgt å benytte en nedre grense for karakteristisk aktiv skjærstyrke i den faste leira lik 75 og 85 kPa, for henholdsvis området mot Nidelva (Profil 5, 6 og 7) og området med terrengryggen sentralt (Profil 1, 2, 3 og 4). Denne nedre grense er basert på utførte skjærstyrkemålinger (konus, enaks og treaksialforsøk) i dette prosjektet og i tidligere oppdrag med grunnundersøkelser utført i området.

3.3 Effektiv skjærstyrke

Bestemmelse av effektive skjærstyrkeparametere i kvikkeleire og fast leire (øvre, midtre og nedre leirlag) er basert på utførte treaksialforsøk. For tørrskorpeleire og lag med sand/silt er erfaringsverdier lagt til grunn. Følgende verdier er benyttet:

Kvikk og sensitiv leire:	$a = 50 \text{ kN/m}^2$	$\text{tg}\phi = 0,38$
Fast leire	$a = 20 \text{ kN/m}^2$	$\text{tg}\phi = 0,45$
Sand/silt	$a = 0 \text{ kN/m}^2$	$\text{tg}\phi = 0,65$
Tørrskorpeleire/rasmasse	$a = 0 \text{ kN/m}^2$	$\text{tg}\phi = 0,60$

3.4 Anisotropi og tøyningsskompatibilitet

I beregningene tas det hensyn til spenningsanisotropien i leira, dvs at udrenert skjærstyrke varierer med hovedspenningsretningene (ADP-analyse). Utgangspunktet er udrenert aktiv skjærstyrke s_{uA} .

Direkte og passiv skjærstyrke er beregnet ut fra følgende formler:

- $s_{uD} = 0,7 s_{uA}$ (styrke for den tilnærmet horisontale delen av glideflaten)
- $s_{uP} = 0,35 s_{uA}$ (styrke der glideflaten ligger i passiv sone)

Det er for dette prosjektet utført til sammen 2 passive og 4 aktive treaksialforsøk, mens det ikke er utført direkte skjærforsøk. Anvendt s_{uD}/s_{uA} – forhold er basert på de utførte forsøk (0.35 og 0.37 for prøver fra henholdsvis pkt. 3 og pkt. 10), mens s_{uP}/s_{uA} – forhold er anvendt i hen-

hold til erfaringer fra tidligere forsøk utført bl.a. ved NGI. Bruk av de angitte verdier vurderes å ta hensyn til prinsippet om tøyingskompatibilitet. Det samme gjelder styrkereduksjonen på 15 % som er foretatt i kvikkleire, som skal ivareta både sprøbruddegenskaper og prinsippet om tøyingskompatibilitet.

Det er også tatt hensyn til tøyingskompatibilitet ved at så vel effektive skjærstyrkeparametere som udrenert skjærstyrke tolket fra treaksialforsøk er tatt ut ved tilnærmet like deformasjoner (ca 1.0 %).

3.5 Overkonsolidering og opprinnelig terrengnivå

Overkonsolideringsgrad og tidligere terrengnivå er tolket ut fra ødometerforsøk.

Forkonsolideringsspenning (P_c') er målt til å ligge i størrelsesorden 400 – 600 kPa, noe som tilsvarer en overkonsolideringsgrad (OCR) i område 3 – 4. Dette tilsvarer et antatt tidligere terrengnivå mellom kt. +80 – kt. +90 i området.

3.6 Kvalitet av undersøkelser

Prøvetaking av sensitiv eller kvikk leire med 54 mm sylindreprøvetaker vurderes å ligge i kvalitetsklasse 1 – 2.

Prøvekvaliteten ligger i kvalitetsklasse 1 Perfekt til 1 Akseptabel for prøver tatt opp i pkt. 3 og pkt. 9, og kvalitetsklasse 2 Forstyrret for prøvene tatt opp i pkt. 10. Vurdering av prøve kvalitet er basert på volumtøyning (utpresset porevann) i hht Tabell 5.1 i ref /1/.

CPTU-sonderingene ligger i forsøksklasse 3 eller 4. Dette skyldes bl a at maks avstand mellom målinger er større enn 20 mm (her 25 mm) og at helningen i dybden overstiger 5°.

Dette vurderes å ha liten betydning for tolking av selve forsøksresultatene, men kan ha en viss betydning for nøyaktighet av angitt dybde, spesielt ved store dybder. Helningsavviket kan medføre en litt konservativ vurdering av skjærstyrken i dybden.

Poretrykksresponsen ved CPTU-sonderingene vurderes å være god.

4 KRAV TIL MATERIALKOEFFISIENT

I områder med fare for skred i sprøbruddmaterialer (kvikkleire) stiller NVEs Retningslinjer krav til minste sikkerhet (materialkoeffisient). Kravet gjelder arealer med potensielle glideflater gjennom sprøbruddmaterialet, og er differensiert i forhold til arealets Tiltakskategori.

Tiltakskategori avhenger av i hvilken grad planlagt utbygging påvirker sikkerheten, og hvilken konsekvens tiltaket innebærer mht. skade på omgivelsene, infrastruktur eller mennesker dersom skred inntreffer.

Tiltak som innebærer tilflytting av mennesker/arbeidsplasser (boliger, institusjoner, næringsbygg og lignende) er definert innenfor strengeste Tiltakskategori K3.

De aktuelle tiltak innenfor sone 228 Nidarvoll vurderes på dette grunnlag å ligge innenfor tiltakskategori K3.

I henhold til ref /1/ kreves det da materialkoeffisient $\gamma_m=1,4$ eller vesentlig forbedring ihht figur 3.1.

5 STABILITETSBEREGNINGER.

RESULTATER MED VURDERINGER – TILTAKSVURDERINGER.

5.1 Generelt

Stabiliteten langs N-S- terrengryggen sentralt i kvikkleiresona (Profil 3 og 4) er lav både mot nordvest og sør - sørøst, med beregnet sikkerhet for dagens situasjon på total – og effektivspenningsbasis i størrelsesorden $\gamma_m=0.8 - 1.3$.

Mot TEs Driftssenter i nordøst fremstår stabiliteten tilfredsstillende, også ved en tenkt utbygging på området med en antatt utgraving 3 meter ned i forhold til dagens terreng.

Fra den lave skråningen fra TEVs administrasjonsbygg og vestover i retning Sluppenveien 17 er stabiliteten god (Profil 1).

For å tilfredstille krav i NVE 1/2008 er det nødvendig å gjennomføre stabiliserende tiltak langs etter terrengryggen for å oppnå nødvendig sikkerhet. Med en beregnet materialkoeffisient i størrelsesorden $\gamma_m=0.8$ (1.0) – 1.3 vil det medføre et krav om gjennomføring av tiltak som gir en prosentvis forbedring i størrelsesorden 3 – 15 % (vesentlig forbedring). Vi har ut fra utførte beregninger skissert aktuelle tiltak i form av nedplanering av terrengryggen, samt motfylling i skråningsfoten mot nordvest (Sluppenvn. 8-10-12)). For mer detaljert beskrivelse av beregnet sikkerhet og foreslåtte sikringstiltak langs terrengryggen, se kap. 5.2 -5.5.

I området ut mot Nidelva (profil 5, 6 og 7) er det både på total – og effektivspenningsbasis beregnet lav sikkerhet ($\gamma_m=0.9$ – 1.2) for dagens situasjon. For å tilfredstille krav i NVE 1/2008 er det nødvendig å gjennomføre stabiliserende tiltak for oppnå nødvendig sikkerhet. Med en beregnet materialkoeffisient mellom $\gamma_m= 1.0$ – 1.2 vil dette medføre et krav til en prosentvis forbedring i størrelsesorden 8 – 15 % (vesentlig forbedring).

Aktuelle tiltak vil også her være nedplanering av skråningstoppene (høydedragene), utslaking av bratte skråningspartier og motfylling i skråningsfoten. For mer detaljert beskrivelse av beregnet sikkerhet og foreslåtte sikringstiltak i området, se kap. 5.6 -5.8.

Det skal spesielt nevnes at det ut mot elveskråningen i syd er målt poretrykk ca 60% lavere enn hydrostatisk fordeling i dybden, men denne (for effektivspenningsanalysen positiv) effekten er ikke medtatt i beregningene fordi målingene kun er utført i en begrenset tidsperiode (vår/sommer 2009), slik at større årstidsvariasjoner ikke kan utelukkes.

Det skal også nevnes at de tiltakstypene som er beskrevet er normalt de mest sikre og effektive for å oppnå bedret sikkerhet. Det finnes alternative tiltakstyper, men disse vil normalt være mer kostbare i utførelse og usikre i virkning.

5.2 Profil 1

For Profil 1, fra TEVs eiendom og ned i retning Sluppenveien, er stabiliteten god. Det er her beregnet en materialkoeffisient $\gamma_m>2.0$ på totalspenningsanalysene, og $\gamma_m>1.7$ for drenert langtidssituasjon (effektivspenningsanalyse).

I forhold til opprinnelig situasjon er stabiliteten i profilet betydelig forbedret ved nedplanering og oppfylling, utført på 1970-tallet.

Tiltaksbeskrivelse – Profil 1: *Vår vurdering er at det ikke er nødvendig med stabiliserende tiltak med utgangspunkt i dette profilet.*

5.3 Profil 2

Stabiliteten av terrengryggen er tilfredsstillende ned mot TE/Driftssenteret, med en beregnet materialkoeffisient $\gamma_m=1.40$ – 1.52 på totalspenningsbasis (udrenert korttidssituasjon) og $\gamma_m=1.60$ – 2.31 for effektivspenningsanalysen (langtidsstabiliteten).

For et ekvivalent terrengprofil, ref. kap 2.5, oppnås materialkoeffisient $\gamma_m=1.75$ – 2.29 for totalspenningsanalysen og $\gamma_m=1.68$ – 2.92 på effektivspenningsbasis.

Det er også utført stabilitetsberegninger for et tenkt fremtidig utbyggingstiltak ved TEs Driftssenter, med utgraving ca 3 meter under dagens terreng inntil 4 m fra tomtegrensen mot S-SV. På totalspenningsbasis er det for denne situasjonen beregnet en materialkoeffisient $\gamma_m=1.52$ – 1.59 for kritiske skjærflater gjennom det øvre kvikkleirelaget, mens det for dypere skjærflater er beregnet $\gamma_m=1.85$.

Effektivspenningsanalysen gir materialkoeffisienter i størrelsesorden 1.42 – 1.85, alle skjærflater som ikke griper ned i det nedre kvikkleirelaget.

Tiltaksbeskrivelse – Profil 2: *Vår vurdering er at det ikke er nødvendig med stabiliserende tiltak med utgangspunkt i dette profilet. I forbindelse med aktuelle inngrep/utgraving på Driftssenter-tomta, bør det senere vurderes om evt. mer kritiske profiler kan opptre – og som bør kontrolleres stabilitetsmessig.*

5.4 Profil 3

Stabiliteten i Profil 3, fra terregryggen sentralt på området og ned mot Sluppenveien 8-10-12, er anstrengt.

For en plan spenningstilstand, slik profilet er lagt på kartet, er det på totalspenningsbasis beregnet en materialkoeffisient $\gamma_m=0.84 - 0.86$. På effektivspenningsbasis viser beregningene en oppnådd materialkoeffisient $\gamma_m=1.27 - 1.36$, for kritiske skjærflater som går henholdsvis gjennom det øvre og det nedre kvikkleirelaget.

Tilsvarende oppnås det materialkoeffisienter lik $\gamma_m= 0.98 - 0.99$ og $1.30 - 1.47$ for kritiske skjærflater for et ekvivalent profil som er vurdert til ivareta romvirkningen (ref. kap. 2.5.). Det ekvivalente profilet vurderes å være representativt for stabilitetsforholdene i terregryggen mot vest ut mot Sluppenveien 8 - 10 - 12.

Tiltaksbeskrivelse – Profil 3: For å oppnå tilstrekkelig forbedring av stabiliteten ihht NVE 1/2008, har vi i dette profilet som nødvendig stabiliserende tiltak vurdert en kombinasjon av nedplanering av terregryggen og motfylling i skråningsfoten:

Skråningsryggen nedplaneres til ca kt. +63, mens motfyllingen bygges opp til kt. +44. Forslaget til nedplanering og motfylling er visualisert med blå strek og skravur i tegn. 222 og 223, og med blå skravur med påførte kotehøyder og tekst i tegn. 244.

Resultatene fra stabilitetsberegningene, med beregningsmessig oppnådd forbedring av sikkerheten i form stabiliserende tiltak er oppsummert i tabellene under.

Dagens situasjon uten tiltak [γ_m]	Krav til forbedring [%]	Situasjon med tiltak [γ_m]	Oppnådd forbedring med tiltak [%]
0.98	15	1.15	15
0.99	15	1.25	25

Tabell 5.1 Resultater stabilitetsberegninger på totalspenningsbasis (ADP) Profil 3

Dagens situasjon uten tiltak [γ_m]	Krav til forbedring [%]	Situasjon med tiltak [γ_m]	Oppnådd forbedring med tiltak [%]
1.31	3.4	1.70	$\gamma_m > 1.4$
1.45	-	1.78	$\gamma_m > 1.4$

Tabell 5.2 Resultater stabilitetsberegninger på effektivspenningsbasis Profil 3

5.5 Profil 4

Stabiliteten fra terregryggen sentralt i sona og ned i sør – sørøstlig retning er lav for dagens situasjon, basert på analyse av profil 4.

For korttidssituasjon med totalspenningsanalyse av en plan spenningstilstand og slik profilet er lagt, er det beregnet en materialkoeffisient $\gamma_m=0.99$ for dype skjærflater ned i det nedre kvikkleirelaget og $\gamma_m=1.24$ for skjærflater som går grunnere og kun "skjærer" gjennom kvikkleirelaget som ligger høyt i terrengformasjonen.

For langtidstilstanden, effektivspenningsanalysen, er det for de tilsvarende flatene (dype og grunne) oppnådd materialkoeffisienter lik henholdsvis $\gamma_m=1.67$ og $\gamma_m=1.35 - 1.46$.

Tilsvarende er det ved totalspenningsanalyse beregnet materialkoeffisienter lik $\gamma_m=1.18$ og $1.41 - 1.53$, og ved effektivspenningsanalyse $\gamma_m=1.89 - 1.37 - 1.46$ for kritiske skjærflater for et ekvivalent profil som er vurdert til ivareta romvirkningen (ref. kap. 2.5.).

Dette ekvivalente profilet er vurdert til å være representativt for terregryggen og skråningen mot sør – sørøst, fra Leirfossvegen 23 og i retning Smidalen barnehage.

Tiltaksbeskrivelse – Profil 4: Som nødvendig stabiliserende tiltak for å oppnå tilstrekkelig forbedring av stabiliteten ihht krav i NVE 1/2008, foreslår vi at det utføres en nedplanering av platået til ca kt. +62.

Forslaget til nedplanering er visualisert med blå strek og skravur i tegn. 228 og 229, og med blå skravur med påførte kotehøyder og tekst i tegn. 244.

Resultatene fra stabilitetsberegningene i Profil 4, med beregningsmessig oppnådd forbedring av sikkerheten i form stabiliserende tiltak er oppsummert i tabellene under.

Dagens situasjon uten tiltak [γ_m]	Krav til forbedring [%]	Situasjon med tiltak [γ_m]	Oppnådd forbedring med tiltak [%]
1.18	8.3	1.29	9.3
1.41	-	1.59	$\gamma_m > 1.4$

Tabell 5.3 Resultater stabilitetsberegninger på totalspenningsbasis (ADP) Profil 4

Dagens situasjon uten tiltak [γ_m]	Krav til forbedring [%]	Situasjon med tiltak [γ_m]	Oppnådd forbedring med tiltak [%]
1.37	1.1	1.44	$\gamma_m > 1.4$
1.46	-	1.60	$\gamma_m > 1.4$

Tabell 5.4 Resultater stabilitetsberegninger på effektivspenningsbasis Profil 4

5.6 Profil 5

Stabiliteten i østlig del av skråningen fra Sluppen-platået på ca kt. +36 – +39 ned mot Nidelva er for dagens situasjon på totalspenningsanalyse (korttidstilstand) beregningsmessig lav, med en oppnådd materialkoeffisient $\gamma_m = 1.11 - 1.17$.

På effektivspenningsbasis (langtidstilstand) er den beregnede sikkerheten (materialkoeffisient) enda lavere, $\gamma_m = 0.99 - 1.43$, med lavest sikkerhet for de ytre deler av profilet.

For området lenger bak, med ryggene og åsene på ca kt. +45 – +50, er også sikkerheten lav. For kritisk skjærflate på totalspenningsbasis ned mot platået på ca kt. +36 – kt. +39 er det beregnet en materialkoeffisient $\gamma_m = 1.14$.

For dypere skjærflater som går ned mot/i Nidelva er beregnet materialkoeffisient $\gamma_m = 1.17 - 1.18$. For kritiske skjærflater på effektivspenningsbasis er disse beregnet til en materialkoeffisient større enn $\gamma_m = 1.4$ (1.49)

Tiltaksbeskrivelse – Profil 5: Som nødvendig stabiliserende tiltak for å oppnå tilstrekkelig forbedring av sikkerheten ihht krav i NVE 1/2008, foreslår vi at det utføres en nedplanering av platået og de bakenforliggende åsene/ryggene, samt at det etableres en motfylling i skråningsfoten ved bredden av Nidelva.

Motfyllinga foreslås utført i sammenheng med réetablering/oppgradering av erosjonssikringen langs elva. For platået er det nødvendig med en nedplanering til ca kt. +33 – kt. +35, mens området bak nedplaneres til ca kt. +47. Motfyllinga er skissert til ca kote +10.

Forslaget til nedplanering og motfylling (som del av erosjonssikring) er visualisert med blå strek og skravur i tegn. 231 og 232, og med blå skravur med påførte kotehøyder og tekst i tegn. 244.

Resultatene fra stabilitetsberegningene, med beregningsmessig oppnådd forbedring av sikkerheten i form stabiliserende tiltak er oppsummert i tabellene under.

Dagens situasjon uten tiltak [γ_m]	Krav til forbedring [%]	Situasjon med tiltak [γ_m]	Oppnådd forbedring med tiltak [%]
1.17	8.6	1.27	8.6
1.11/1.12	10.5	1.25	11.6

1.14	9.8	1.67	$\gamma_m > 1.4$
1.18	8.3	1.30	10.2
1.17	8.6	1.32	12.8

Tabell 5.6 Resultater stabilitetsberegninger på totalspenningsbasis (ADP) Profil 5

Dagens situasjon uten tiltak [γ_m]	Krav til forbedring [%]	Situasjon med tiltak [γ_m]	Oppnådd forbedring med tiltak [%]
0.99	15	1.15-1.23	>15
1.09	11.6	1.31	20.2
1.24	6.0	1.37	10.5
1.43	Ikke forverring	>1.43	Ikke forverring

Tabell 5.7 Resultater stabilitetsberegninger på effektivspenningsbasis Profil 5

5.7 Profil 6

Stabiliteten i Profil 6, i vestlig del av skråningen fra Sluppen-platået ut mot Nidelva, er beregningsmessig lav, både for total – og effektivspenningsanalysen (henholdsvis kort – og langtids-tilstand).

Ved totalspenningsanalysen med plan spenningstilstand og terreng fra ca kt. +50 (topp høyde- drag) ned mot kt. +10 elva, oppnås det for en laveste materialkoeffisient $\gamma_m = 0.92$ for dype skjærflater, og $\gamma_m = 0.98$ for skjærflater som går ut lengre opp i skråningen (ca kt. +20).

For effektivspenningstilstanden oppnås laveste materialkoeffisient $\gamma_m = 1.06$ for lang skjærflate som går ut under Nidelva, mens det for kortere, mer lokale skjærflater, er beregnet en laveste materialkoeffisient $\gamma_m = 1.01$.

Tilsvarende oppnås materialkoeffisienter lik $\gamma_m = 1.0 - 1.11 - 1.09 - 1.05$ for kritiske skjærflater for et ekvivalent profil som er vurdert til ivareta romvirkningen (ref. kap. 2.5.).

Tiltaksbeskrivelse – Profil 6: Som stabiliserende tiltak i profil 6, for å oppnå tilstrekkelig forbedring av stabiliteten ihht krav i NVE 1/2008, foreslår vi at det utføres en nedplanering av platået. Videre at det etableres en motfylling i skråningsfoten ved bredden av Nidelva.

I tillegg er det pga relativ bratt skråningsprofil nødvendig med utslaking av skråningen i toppen for å oppnå tilstrekkelig prosentvis forbedring av sikkerheten på effektivspenningsbasis (overflatestabilitet).

Motfyllinga foreslås utført i sammenheng med reetablering/oppgradering av erosjonssikringen langs elva. For platået er det nødvendig med en nedplanering til ca kt. +38 – kt. +39, med en gradvis utslaking ut mot skråningstoppen.

Forslaget til nedplanering, utslaking og motfylling (som del av erosjonssikring) er visualisert med blå strek og skravur i tegn. 233 og 239, og med blå skravur med påførte kotehøyder og tekst i tegn. 244.

Resultatene fra stabilitetsberegningene, med beregningsmessig oppnådd forbedring av sikkerheten i form stabiliserende tiltak er oppsummert i tabellene under.

Dagens situasjon uten tiltak [γ_m]	Krav til forbedring [%]	Situasjon med tiltak [γ_m]	Oppnådd forbedring med tiltak [%]
1.00	15	1.20	20
1.11	10.9	1.64	$\gamma_m > 1.4$

Tabell 5.8 Resultater stabilitetsberegninger på totalspenningsbasis (ADP) Profil 6

Dagens situasjon uten tiltak	Krav til forbedring	Situasjon med tiltak	Oppnådd forbedring med tiltak
------------------------------	---------------------	----------------------	-------------------------------

$[\gamma_m]$	[%]	$[\gamma_m]$	[%]
1.05	13.1	1.19	13.3
1.09	11.6	1.21	11.0

Tabell 5.9 Resultater stabilitetsberegninger på effektivspenningsbasis Profil 6

5.8 Profil 7

Stabiliteten i østlig del av skråningen fra Sluppen-platået på ca kt. +36 – +39 ned mot Nidelva
Stabiliteten i den sentrale del av skråninga, ut mot Nidelva, i profil 7, med høyeste terreng på ca kt. +45 – +46, er beregningsmessig lav.

På totalspenningsbasis er det for dagens situasjon beregnet en materialkoeffisient $\gamma_m=1.02 - 1.03$, og $\gamma_m=1.15 - 1.16$ for effektivspenningsanalysen.

Tiltaksbeskrivelse – Profil 7: Som stabiliserende tiltak for å oppnå tilstrekkelig forbedring av stabiliteten ihht krav i NVE 1/2008, foreslår vi at det utføres en nedplanering av høydedraget ved overgang til platået, og at det etableres en motfylling i skråningsfoten ved bredden av Nidelva.

I høydedraget mot platået er det nødvendig med en nedplanering til ca kt. +40 – kt. +35, med en gradvis utslaking ut mot skråningstoppen.

I tillegg er det pga relativ bratt skråningsprofil nødvendig med utslaking av skråningens øvre del for å oppnå tilstrekkelig prosentvis forbedring av sikkerheten på effektivspenningsbasis (overflatestabilitet).

Motfyllinga foreslås utført i sammenheng med reetablering/oppgradering av erosjonssikringen langs elva. Motfyllinga er skissert til ca kote +10.

Forslaget til nedplanering og motfylling (som del av erosjonssikring) er visualisert med blå strek og skravur i tegn. 242 og 243, og med blå skravur med påførte kotehøyder og tekst i tegn. 244.

Resultatene fra stabilitetsberegningene, med beregningsmessig oppnådd forbedring av sikkerheten i form stabiliserende tiltak er oppsummert i tabellene under.

Dagens situasjon uten tiltak $[\gamma_m]$	Krav til forbedring [%]	Situasjon med tiltak $[\gamma_m]$	Oppnådd forbedring med tiltak [%]
1.02	14.3	1.27	24.5
1.03	13.9	1.24	20.4

Tabell 5.10 Resultater stabilitetsberegninger på totalspenningsbasis (ADP) Profil 6

Dagens situasjon uten tiltak $[\gamma_m]$	Krav til forbedring [%]	Situasjon med tiltak $[\gamma_m]$	Oppnådd forbedring med tiltak [%]
1.15	9.4	1.35	17.4
1.16	9.0	1.31	12.9

Tabell 5.11 Resultater stabilitetsberegninger på effektivspenningsbasis Profil 6

6 ANDRE VURDERINGER

6.1 Klassifisering og utstrekning av Kvikkleiresone 228 Nidarvoll.

Sone 228 Nidarvoll er ved NGIs Faregradsevaluering i 2002 angitt med Høy faregrad, og sonegrense som vist på tegn. 202 og 244. Det angis at soneavgrensningen mot vest er usikker.

Etter vår gjennomgang av eksisterende boringer, utført av Kummeneje (nå Rambøll), Multiconsult, Trondheim kommune og Statens Vegvesen, er det klarlagt at fjell stikker opp mellom kote ca kote +5 og +15 under Nidelvas østbredd, fra noe øst for Kroppanbrua nordover mot Sluppenvegens vestlige kryss (rundkjøring) med Tempevegen.

I løsmasseavsetningene over fjell vest for E6 finnes her noen lokale, begrensede linser/"spots" med indikert eller påvist noe sensitiv leire, men gjennomgående eller mektigere lag kan ikke registreres.

Videre er det ved nyere undersøkelser innenfor reguleringsplanen for Sluppen Kunnskapspark like nord for sonegrensen utført Totalsonderinger med fjellkontroll til ca 55 – 65 m dybde. Her er det ikke registrert løsmasselag over fjellet som indikerer sensitiv eller kvikk leire. Fra terreng ned til ca 10-15 m dybde er det klare spor av rekonsoliderte rasmasser.

Øst for E6 og ca syd/øst for Sluppenvegen, viser tidligere og nyere undersøkelser et gjennomgående "nedre" kvikkleirelag under øst- og sydlige deler av Sluppen-platået, med overkant/underkant på ca kote +35 og +15 ut mot elveskråningen ned mot Nidelva i syd. Kvikkleirelaget faller av mot nord med overkant/underkant på ca kote +25 og +5 og kiler trolig helt ut omkring bebyggelsen for Trondheim Postterminal, men fortsetter innunder høydedraget mellom Sluppenvegen og Leirfossvegen.

Kvikkleirelaget kan ha sammenheng videre østover med kvikkleire i sone 196 Stubban.

Det er også påvist et "øvre" inntil ca 8 – 13 m tykt kvikkleirelag i høydedraget mellom Sluppenvegen og Leirfossvegen. Overkant av laget følger terrenget i ca 5 – 15 m dybde, og ligger som en isolert "linse".

På grunnlag av de foreliggende undersøkelser foreslås en ny grensedragnings mot nord og vest for sone 228 Nidarvoll, slik som vist på tegn. 202 og 244.

På bakgrunn av observasjon av erosjonsforhold i Nidelvas bunn og bredd inn mot sonen, må sonens Faregraden vurderes som økt i forhold til tidligere vurdering – men fortsatt innen for Høy, som er ugunstigste klasse.

6.2 Erosjonsforhold og tilstandsregistrering mot Nidelva

6.2.1. Bunnerosjon.

Det er i 2003/2004 gjennomført en Topografisk dybdekartlegging av Nidelva, bl.a. på tilstøtende strekning mot sone Nidarvoll. Plankart med dybdekoter og 3D-visualisering er vist i Bilag 4. Kartleggingen er utført av Novatek for NVE.

Kartleggingen viser noen til dels dramatiske erosjonsgroper i elva på strekningen tilstøtende sone Nidarvoll, hvorav 1 ca opptil 5-6 m dyp grop/renne (dybde i forhold til generell elvebunn) er dannet inn mot østre elvebredd, ved skråningsfoten hvor Profil 7 er lagt.

Denne lokale utdyping av elvebunnen er ikke hensyntatt i de foran utførte stabilitetsberegninger.

Hensyntatt erosjonsgroperne vil dagens sikkerhet av profil 5 – 7 fremstå som betydelig mer kritisk enn beregningene angir.

Det beskrevne tiltak med kombinert erosjonssikring/motfylling langs østre elvebredd forutsetter også at erosjonsgroperne gjenfylles.

6.2.2. Kanterosjon/sikringsanlegg.

I løpet av 2008 har NVE foretatt en tilstandsregistrering av eksisterende sikringsanlegg langs Nidelva, bl.a. på tilstøtende strekning mot sone Nidarvoll. Et utdrag av rapporten gjeldende for den aktuelle elvestrekningen er vist i Bilag 5. Registreringen er gjennomført ved befarings.

Rapporten beskriver en nokså tynnslitt steinkledning, og generelt et sikringsanlegg i mindre god tilstand.

6.2.3. Konklusjon

Det er svært viktig snarest å iverksette en oppgradering av eksisterende sikringsanlegg mot sone Nidarvoll.

En initial ustabilitet i skråningen opp mot Sluppen-platået kan utløses som følge av at erosjonen videreutvikles. Dette kan få svært store konsekvenser, med utvikling av kvikkleireskred som kan føre til alvorlig oppdemming av Nidelva og mulig skade på/sammenbrudd av Kroppan bru.

Sikringsarbeidet må inkludere gjenfylling av kritiske erosjonsgroper under elvebunnen.

Disse sikringsarbeidene bør prioriteres høyt, og gjennomføres uavhengig av videre tiltak for å sikre gjennomførbarhet av de planlagte reguleringer innenfor sone Nidarvoll.

7 KONSEKVENSER FOR VIDERE PLANLEGGING OG UTBYGGING

De avdekkede behov for stabilitetsforbedrende tiltak skal, som konsekvens av NVEs Retningslinjer, medføre en rekkefølgebestemmelse i forhold til:

- enhver planlagt utbygging (i hht. gjeldende reg.planer) innenfor sone Nidarvoll (med revidert sonegrense)
- enhver ny reguleringsplan innenfor sone Nidarvoll (med revidert sonegrense),

Denne bestemmelse skal gå ut på at før planlagt utbygging kan oppstartes, skal alle nødvendige tiltak for å sikre tilfredsstillende områdestabilitet i sonen være gjennomført.

Man kan diskutere i hvilken grad utbygging innenfor alle deler av sonen vil bli kritisk påvirket, dersom "worst case" med kvikkleireskred inntreffer. Det er sannsynlig at de nordligste områder innenfor sonen ikke vil bli påvirket i første omgang, dersom et kvikkleireskred syd i sonen med utløp til Nidelva inntreffer. Ved progressiv bruddutvikling i kvikkleira vil imidlertid skaderisiko oppstå, og det er vanskelig å utelukke at en slik utvikling kan gå nokså raskt. Selv om det er kort veg ut fra den nordlige del av sonen inn på "trygg" grunn, bør prinsipielt hele sonen håndteres likt mht. krav om gjennomføring av nødvendige sikringsarbeider.

Det kan nok diskuteres hvorvidt aktuelle sikringstiltak i sydskråningen mot Nidelva kan åpne for fortetting av arealene videre innover Sluppen-platået, uten å samtidig først gjennomføre sikringstiltak i forhold til høydedraget mellom Sluppenveien og Leirfossvegen. Dette er en vanskelig diskusjon. Eksisterende bebyggelse langs vestsiden av høydedraget ligger som en barriere mot skredbevegelser i retning vestover.

Også her kommer vi til at et slik unntak ikke er forsvarlig, da det forutsetter at eksisterende bebyggelse benyttes som sikring mot skadekonsekvens for ny bebyggelse.

Videre utbygging innenfor sone Nidarvoll bør forutsette at hele sonen sikres.

8 VIDERE ARBEID

8.1 Detaljprosjektering av tiltak

De gjennomførte stabilitetsanalysene er utført for et utvalg av representative profiler.

I utgangspunktet skal disse analyser gi et riktig bilde av dagens sikkerhetsnivå i området, selv om en må påregne at det kan forekomme profilpartier med noe dårligere sikkerhet enn så langt påvist.

Når det gjelder de foreslåtte stabiliserende tiltak, må det ved videre planlegging påregnes utført både supplerende grunnundersøkelser og analyser, for å oppnå en optimalisering av tiltakenes omfang. De så langt skisserte tiltakene på tegn. 244, satt sammen i en helhet, skal imidlertid grovt gi et prinsipielt riktig bilde av tiltaksbehovet.

Vi antar at det ved videre bearbeidelse og detaljutføring av tiltakene bør nyttes landskapsarkitektkompetanse, slik at en i størst mulig grad kan gi tiltakene en god landskapstilpasning.

8.2 Behov for supplerende undersøkelser

Generelt må behovet for supplerende grunnundersøkelser sees i lys av tiltaksutføring og videre planer for utnyttelse av de berørte arealene.

Konkret nevnes at det i forbindelse med prosjektering av tiltakene påregnes gjennomført en del supplerende grunnundersøkelser. Disse bør omfatte bl.a. CPTU-sondering i den bratte elve-skråningen mot syd, mellom Sluppen-plataet og Nidelva. Adkomstforholdene her er særdeles vanskelige, og det vil være aktuelt med omfattende skogrydding og andre krevende tilriggings-tiltak.

Det vil også være behov for oppfølgende grunnvannstands- og poretrykksmålinger i samme område, for å fange opp årstidsvariasjoner. Disse vil ha betydning både for styrketolkning, og for beregningsresultat og tiltaksutføring.

Det må også forutsettes utført noen supplerende grunnundersøkelser for eventuelle utgravinger på området for TE sitt Driftssenter, ref. Profil 2, i tilknytning til prosjektering for ny utbygging av bebyggelse med kjellerløsninger.

8.3 Kontroll under utførelse

Ved gjennomføring av tiltak av type som er skissert foran, må det etableres et kontrollopplegg for utførelsen. Kontrollopplegget må dels bestå i driftskontroll mhp. gjennomføringsrekkefølger og observasjon av opptredende grunnforhold (i forhold til forventede forhold), med løpende vurdering av behov for tilpasninger i utførelsen.

Videre vil poretrykksforholdene i området måtte overvåkes i forbindelse med terrengarbeidene, for å kunne ta nødvendige hensyn til poretrykksendringer.

Kontrollopplegget må utformes tilpasset de tiltak som videre planlegges.

9 REFERANSER

1. NVE Retningslinjer 1/2008 rev. 05.03.2009: "Planlegging og utbygging i fareområder langs vassdrag", med Veileder for: "Vurdering av områdestabilitet ved utbygging på kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper".
2. Lunne et al, 1997. "Cone penetration test in geotechnical practice".
3. Karlsrud 2003. "Stabilitetsanalyser av skråninger, skjæringer og fyllinger, kap 4.1 og 4.2".