OMRÅDESTABILITET - TJORA

Stavanger, 29.01.2024

OMRÅDESTABILITETSVURDERINGER FOR NY TRANSFORMATORSTASJON PÅ TJORA I SOLA KOMMUNE

Prosjektnavn	Tjora grunnundersøkelser
Prosjektnummer	110619.001
Eiendom	10/174 og 11/16
Kommune	Sola kommune
Tiltakshaver	Lnett AS
Utarbeidet av	Jón Skúli Indriðason og Siri Gloppen
Kontrollert av	Stefán Geir Árnason

Vedlegg	*Navn*	*Ant. sider*
Vedlegg 1	Oversikt over utførte grunnundersøkelser – tegning V003	1

Revisjon	*Dato*	*Beskrivelse*
0	29.01.2024	Original
1	07.02.2024	Revisjon etter tilbakemelding fra Lnett
2	16.01.2025	Revisjon etter UAK
3	17.02.2025	Annen revisjon etter UAK
4	26.04.2025	Tredje revisjon etter supplerende undersøkelser.

INNHOLD

1 INNLEDNING 2
2 REGELVERK 4
3 GRUNNFORHOLD 5
4 NATURFARE 9
5 OMRÅDESTABILITET 10

E: info@headenergy.no
T: +47 992 04 323
Org.nr: 925 044 229

HEAD ENERGY

Kontorer
A: Nordåsdalen 27, N-5235 Rådal
A: Vassbotnen 11B, 4313 Sandnes

6 VIDERE ARBEID 26

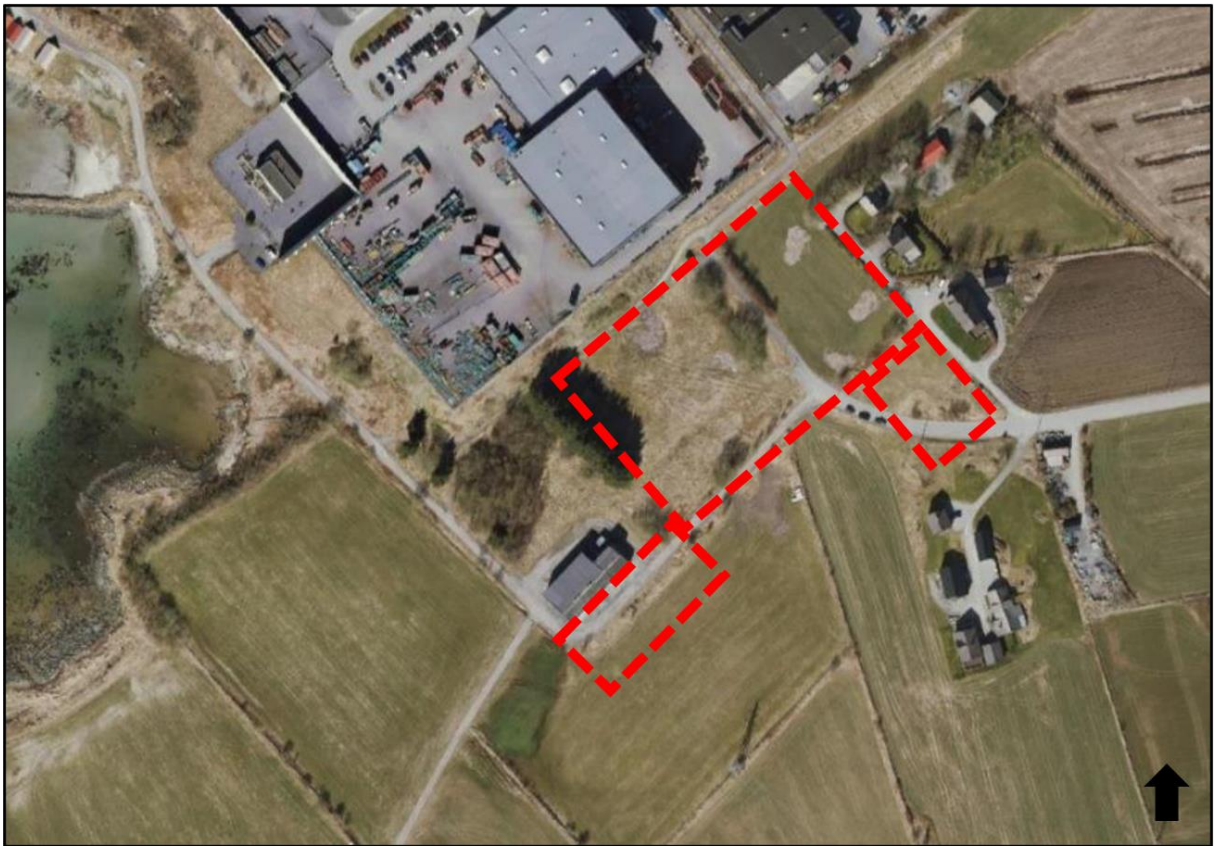
7 REFERANSER 26

1 INNLEDNING

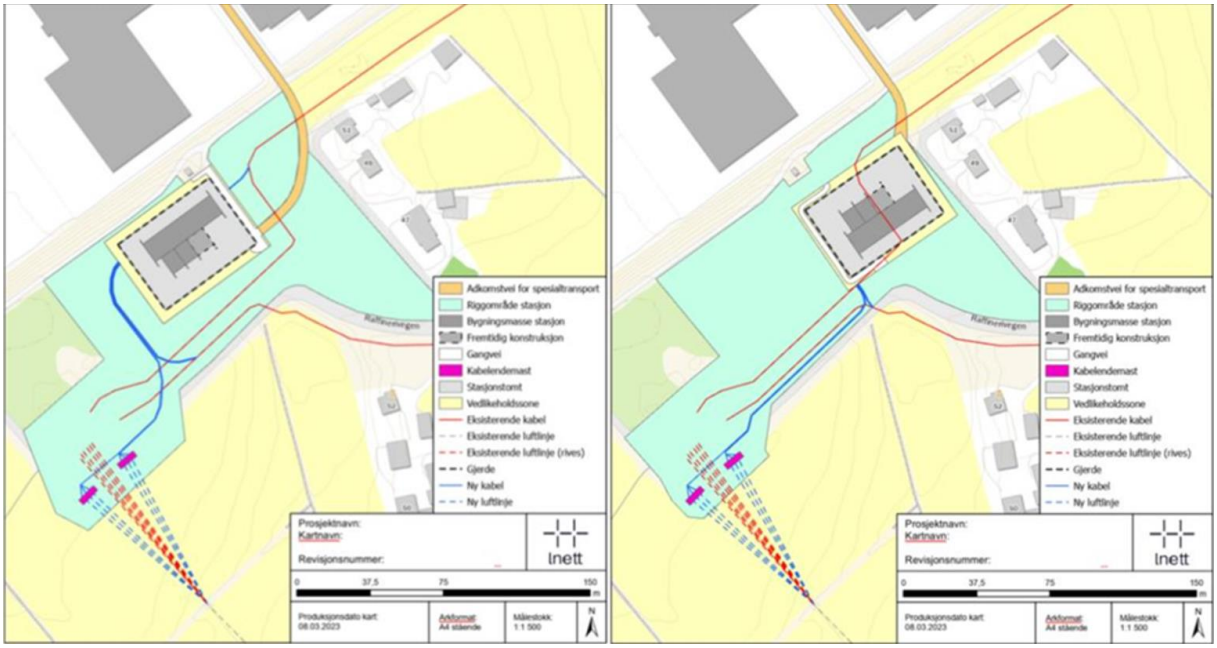
Lnett AS planlegger å etablere en ny transformatorstasjon på Tjora, i Sola kommune. I forbindelse med konsesjonssøknadsprosessen har Lnett engasjert Head Energy UP AS til å vurdere områdestabilitet som følge av risiko for kvikkleire eller annet sprøbruddmateriale, grunnet beliggenhet under marin grense – samt vurdere sikkerhet mot naturpåkjenninger. Området er per i dag benyttet til jordbruk/dyrket mark, med Risavika industriområde i nord, noe spredt bebyggelse i øst og strandlinje ca 200 m i vest. Området er vist i figur 1, og undersøkelsesområdet vist i figur 2. Figur 3 viser de to alternativene for stasjonsplassering av transformatorstasjonen – plassering 1 og plassering 4a. Tiltaket som omhandles her består av utlegging av opp til 3-4m høy fylling som plasseres rundt trafoen.

Resultater fra geotekniske grunnundersøkelser er levert i egen geoteknisk datarapport - foreliggende notat presenterer resultater fra områdestabilitetsvurdering og vurdering av sikkerhet mot naturpåkjenninger.

Figur 1: Rød sirkel markerer området på Tjora i Sola kommune. (norgeskart.no).



Figur 2: Røtt omriss viser undersøkelsesområdet



Figur 3: De to alternativene for stasjonsplassering av transformatorstasjonen; plassering 1 til venstre og plassering 4a til høyre.

I tillegg til transformatorstasjonsbygg og fylling rundt denne blir det et riggområde (lysgrønt på figur 3) for stasjonen. Riggområdet er likt for begge plasseringer.

2 REGELVERK

2.1 GENERELT

I TEK17 [2] presiseres det i §7 «Sikkerhet mot naturpåkjenninger», at byggverk skal plasseres, prosjekteres og utføres slik at det oppnås tilfredsstillende sikkerhet mot skade eller vesentlig ulempe fra naturpåkjenninger som flom, stormflo og skred.

NVEs veileder 1/2019 «Sikkerhet mot kvikkleireskred» [3], beskriver hvordan skredfare kan utredes. Utredning i henhold til denne veilederen tilfredsstiller gjeldende lov/krav i plan- og bygningsloven [4]. Ifølge NVEs retningslinjer må man på reguleringsplannivå, der hvor planlagte byggeområder ligger innenfor aktsomhetsområder som omfatter tiltakskategori der områdestabilitet må utredes, identifiseres, avgrenses og man må faregradsklassifisere faresoner.

2.2 KRAV TIL SIKKERHET

Krav til sikkerhet i områdestabilitetsberegninger avhenger av tiltakskategori definert i NVEs veileder 1/2019.

Selvom tiltaket kun drejes om fyllinger, men ikke selve bygget kunne tiltakskategori K2 vært valgt, men ettersom dette er del af transformatorstasjonen er det vurdert til å havne i tiltakskategori K4, da tiltak som transformatorstasjonen er «tiltak som gjelder viktige samfunnsfunksjoner».

2.3 DEFINISJON AV SPRØBRUDDMATERIALE OG KVIKKLEIRE

Sprøbruddmateriale og kvikkleire viser betydelig reduksjon i styrke ved tøyninger utover tøyning ved maksimal styrke. I veilederen er følgende betingelser brukt for å definere sprøbruddmateriale og kvikkleire.

- Jordarter med sprøbruddegenskaper er definert ved å ha omrørt skjærfasthet, $c_{u,r} \leq 1{,}27$ kPa iht. ISO 17892-6:2017 (2), det vil si $c_{u,r} \leq 2$ kPa iht. NS8015.

- Kvikkleire er leire med omrørt skjærfasthet mindre enn 0,5 kPa.

Laboratorieanalyser fra utførte grunnundersøkelser viser at det finnes materiale med sprøbruddegenskaper i området, se kapittel 3. Omrørt skjærfasthet er vurdert etter NS8015.

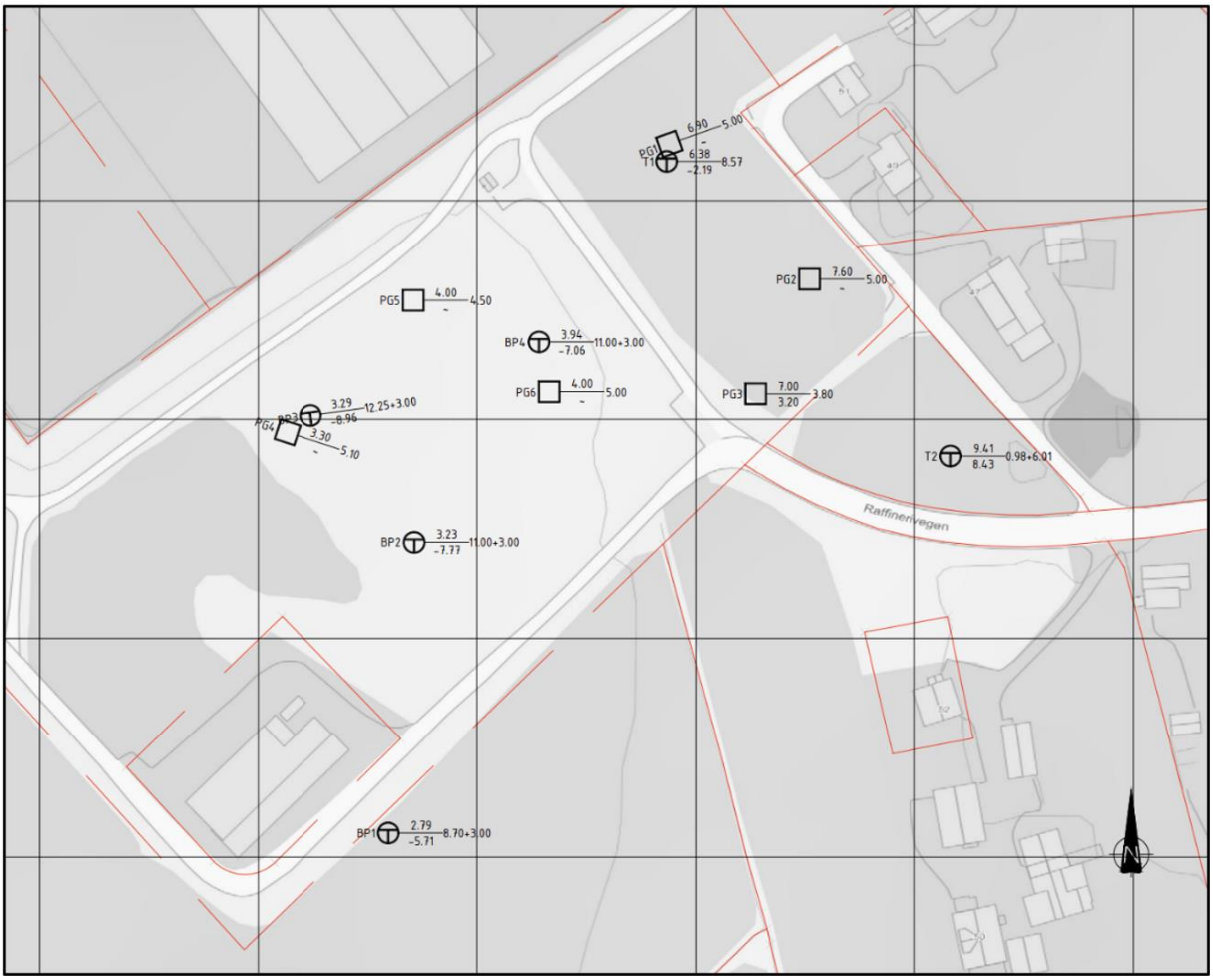
3 GRUNNFORHOLD

3.1 GRUNNUNDERSØKELSER

Det er utført følgende grunnundersøkelser i området:

- Totalsonderinger like nord-øst for gjeldende undersøkelsesområde, hvor to av borpunktene strekker seg inn i dette området - utført av Procon i 2021 [5]
- Prøvegraving i gjeldende undersøkelsesområde av Årdal og Skeie - utført for Lnett AS i 2022 [6]
- Totalsonderinger i undersøkelsesområdet - utført av Head Energy i 2023 [7]

Plassering av alle borhull og prøvegroper i undersøkelsesområdet er vist i figur 4. Tegningen er vist i større skala i vedlegg 1. Det henvises til datarapport for grunnundersøkelser.

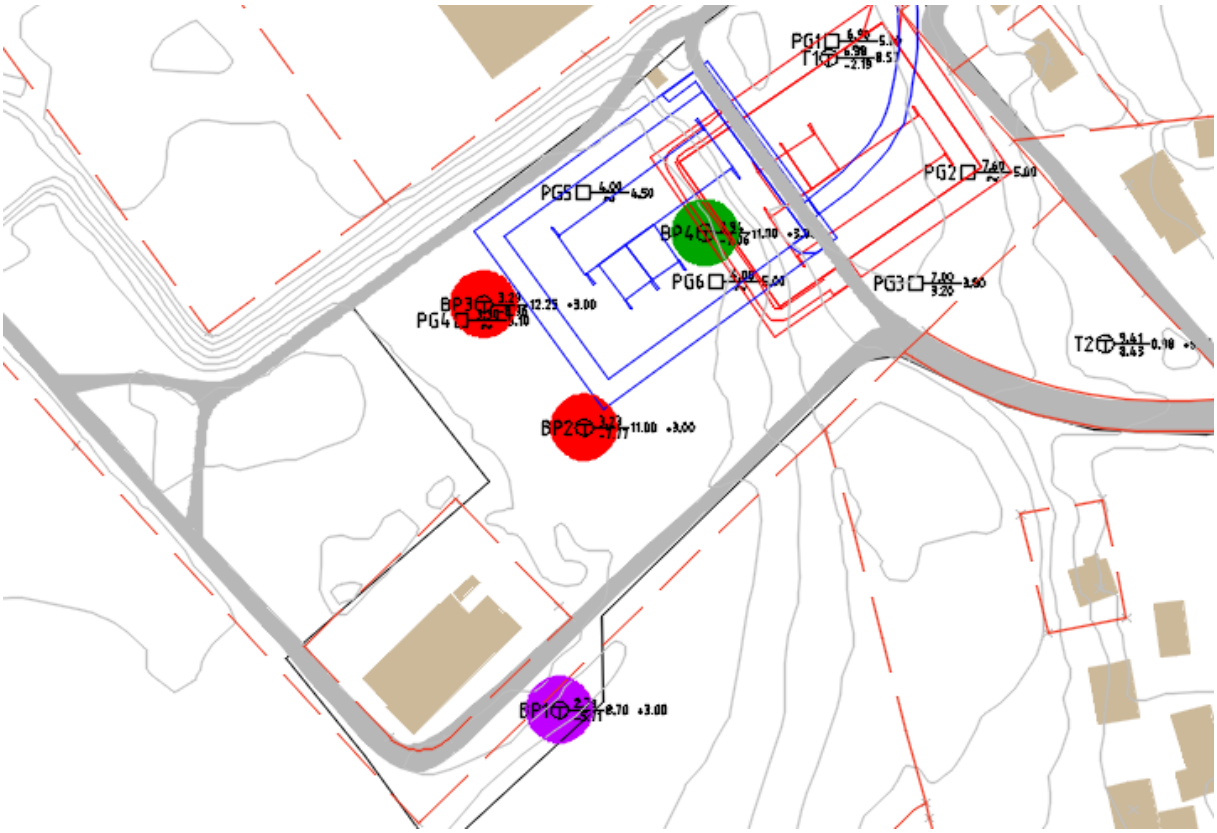


Figur 4: Oversikt over utførte grunnundersøkelser i området.

Grunnundersøkelsene viser generelt et 0,2 – 1,0 m tykt topplag med matjord, deretter sandige, grusige og siltige masser over leire. Tykkelsen av de sandige, grusige massene varierer og er størst i nordøstdelen av området, i borhull T1 og T2, og i prøvegrop PG1, PG2 og PG3. PG1 og T1 har samme plassering, og det er ikke registrert leire her. Stive masser

forekommer på 4-5m dybde, og fjell er i T1 påtruffet på 8,5 m dybde. I sentrale deler av området - i borpunkt BP2, BP3 og BP4 - ligger leiren på ca. 2 - 3m dybde og fortsetter ned til 6,5 - 8,0 m dybde. Deretter er stein eller stivere masser påtruffet (i borhull BP2 og BP3 og prøvegrop PG4-PG6) før fjell på 11-12m dybde. I borhull BP1 er det antatt leire fra 0,5 m og ned til ca 4 m dybde.

Det ble tatt jordprøver fra BP1 og BP3. I BP1 ble det tatt en naverprøve som viste hard leire i intervallet mellom 1 og 2m, med en omrørt skjærstyrke (konusforsøk) på 81,66 kPa. I BP3 ble det tatt en 54 mm sylinderprøve på mellom 4 og 5 m dybde. Resultat fra laboratorieprøver av sylinderprøven viser leire med sprøbruddegenskaper (C_{urfc} = 1,53 kPa og 1,24 kPa, og St = 24 og 16). Uomrørt konus C_{ufc}er 37,1 kPa og 20,4 kPa, og enaks skjærstyrke Cuuc ble målt til 26 kPa. Figuren nedenfor viser BP-ene hvor det er påvist sprøbruddmateriale og hvor det er mistanke om det.

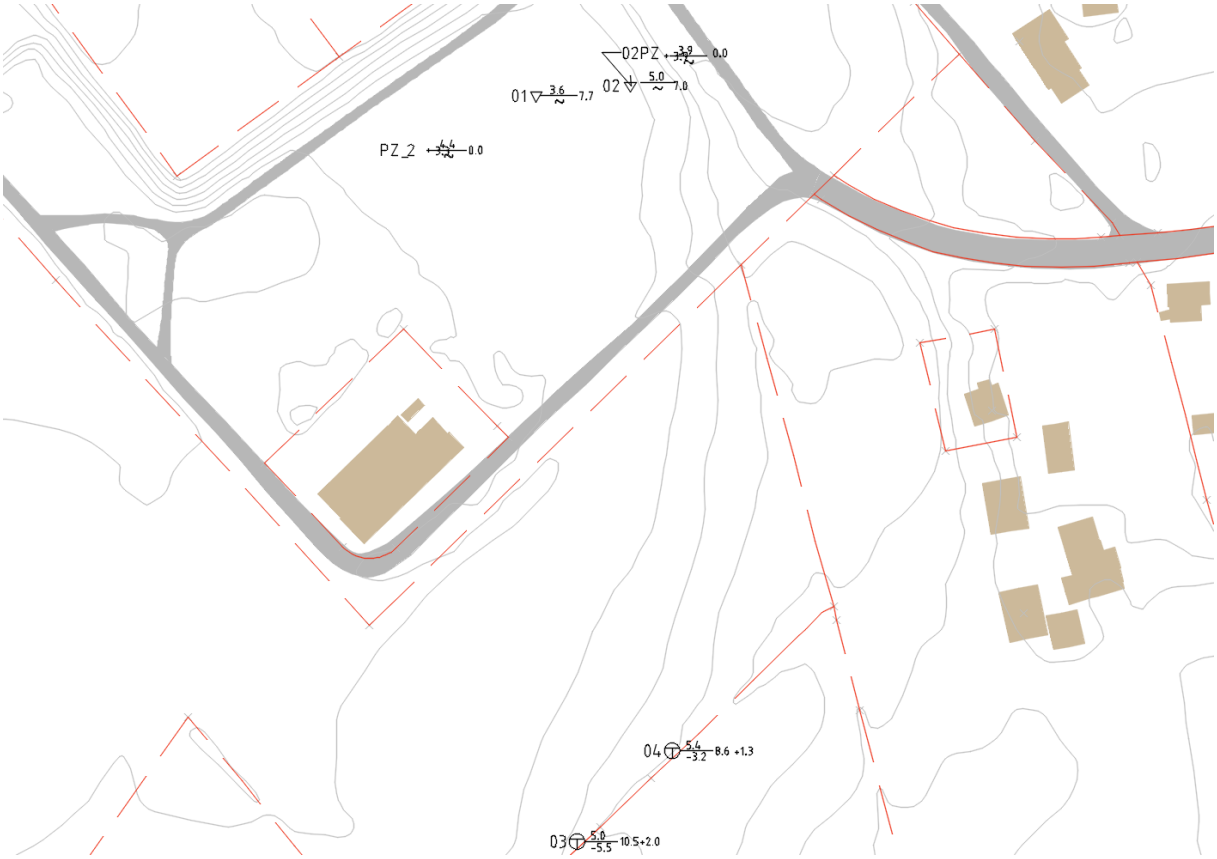


Figur 5: BP-med påvist sprøbruddmateriale er markert med rød sirkel. BP hvor det er mistanke om sprøbruddmateriale er markert med grøn sirkel og BP hvor det ikke forekommer sprøbruddmateriale er markert med lilla sirkel.

Da borprofilene for BP2 og BP3 viser en lik trend, konkluderes det med at det finnes sprøbruddmateriale fra ca 2 m dybde ned til 6,5 - 7,5 m dybde i begge hull. I borhull BP4 viser borprofilen høyere bormotstand og noe økt bormotstand ned mot 6 m dybde. Mellom ca. 6-7,5 m dybde er mistanke om materiale med sprøbruddegenskaper.

3.2 SUPPLERENDE GRUNNUNDERSØKELSER

Norconsult har i Januar 2025 utført boringer i området og disser det gjort nytte av. Det er utført 2 stk totalsonderinger (03 og 04), 2 stk CPT (01 og 02) og 2 stk piezometere (PZ_2 og 02PZ). Plassering av disse er vist i figuren nedendfor.



Figur 6: Plassering av Norconsult sine boringer.

Hull 04 gir ingen indikasjon om sprøbruddmateriale og heller ikke 03. Hull 01 (CPT) gir udrenert skjærstyrke høger enn det som kom ut af enaks prøven. Når direkte C_{uuc} regnes om til aktiv C_{uuc} basert på anisotropiforhold, gir det tilnærmet lik aktiv skjærfasthet. Piezometerene viser vann på ca. 2m dybde som korresponder med laggrensen mellom leira og sand-grus materialet som ligger på topp leira.

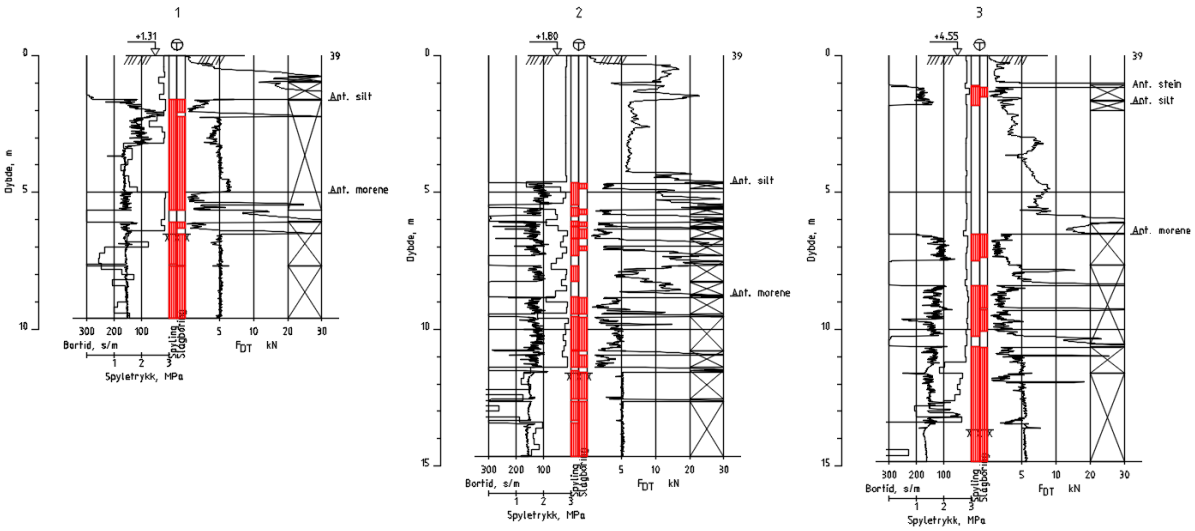
Det ble også utført boringer i mars 2025. Disse inkludert 3 totalsonderinger. Plassering av disse er vist i figuren nedenfor – gulmerket, hull merket 1, 2 og 3 - sammen med plassering av totalsonderinger og prøvegroper som ble tatt tidliger og omhandles i tidliger nevnt datarapport - grønnmerket.

Det viser seg at det er ingen indikasjon om sprøbruddmateriale i hull 1 og der er det brukt slag og spyling nesten hele borprofilen. I hull 2 er det mest sannsynlig sprøbruddmateriale fra ca. 1,5-2m dybde ned til 4 m dybde. Hull 3 gir heller ikke noen indikasjon om materiale med sprøbruddegenskaper. Dette indikerer at mektigheten av leire - materiale med

sprøbruddegenskaper - reduseres ned mot sjøen og leire ikke er lenger til stede når man kommer til hull 1. Fjelloverflaten ser også ut til å sti i retning mot sjøen.

Figur 7: Boringer utført i Mars 2025, gule borpunkter. Tidligere borhull i grønt.

Borprofiler for hull 1, 2 og 3 vises i figuren nedenfor.

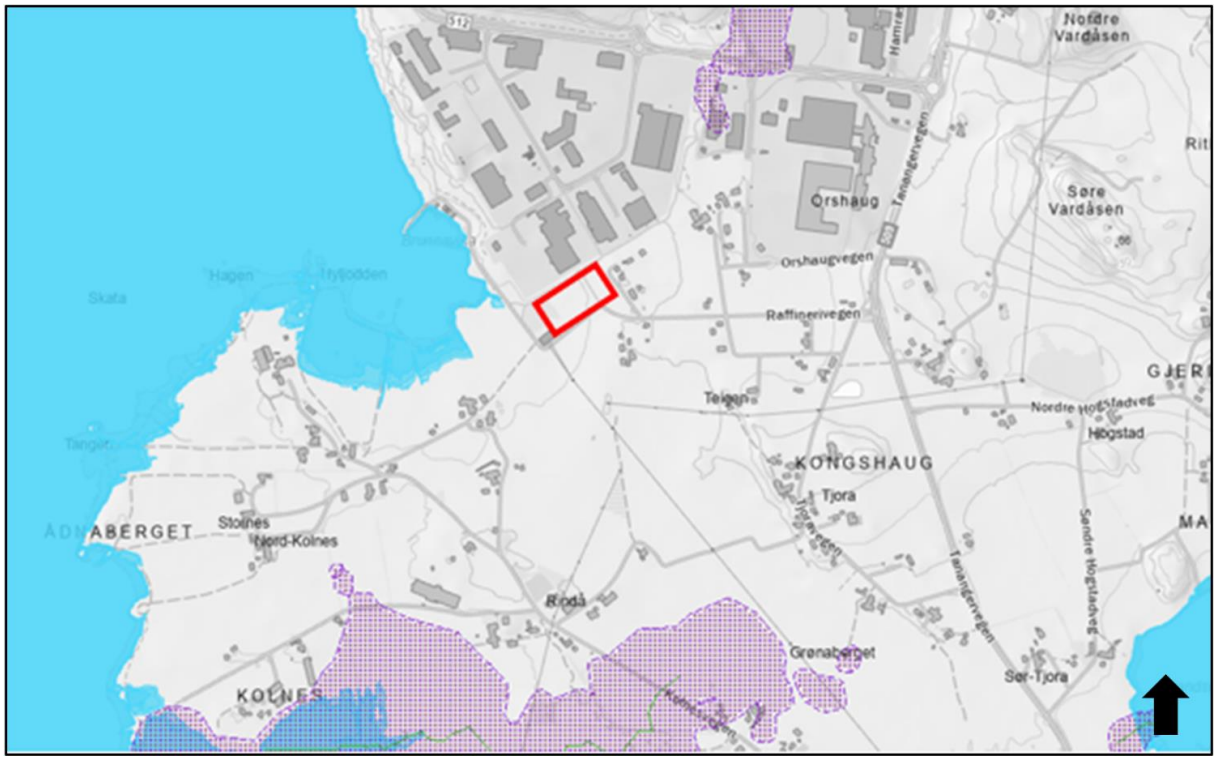


Figur 8: Borprofiler for hull 1, 2 og 3. Rød farge indikerer slag og spyling.

4 NATURFARE

4.1 FLOMFARE

Området ligger ca 150 m øst for kystlinjen, og laveste nivå på undersøkelsesområdet er på kote +2,6. Fare for flom er kontrollert mot NVE sitt aktsomhetskart for flom [8]. Figur 9 viser 200-års stormflo med området for trafostasjon markert med rødt rektangel. Som det fremkommer av figuren, ligger området utenfor flomfare.



Figur 9: Flomsonekart med lilla polygon rundt flomaktsomhetsområder, og blå polygon rundt nivå for 200-års stormflo. Trafostasjonsområde er markert med rødt rektangel.

4.2 STEINSPRANG OG SNØSKRED

Området er forholdsvis flatt, og det er ikke fare for steinsprang [9] eller snøskred [10]. NVE sitt aktsomhetskart viser ingen form for skredhendelser i området eller i nærheten av området [11].

4.3 KVIKKLEIRESKRED

Området er under marin grense [12]. Utførte grunnundersøkelser for prosjektet viser ikke forekomst av kvikkleire, men de viser allikevel forekomst av materiale med sprøbrudd-egenskaper (omrørt skjærstyrke < 2,0 kPa). I dette tilfelle og m.t.p. tiltakskategori må NVE sin veileder 01/2019 benyttes. Den prosedyren er fulgt i kapitel 5 her nedenfor.

5 OMRÅDESTABILITET

5.1 GENERELT

I byggesak skal tilstrekkelig sikkerhet mot områdeskred være oppfylt i henhold til kravene i plan og bygningsloven § 28-1, § 29-5 og byggeteknisk forskrift kap. 7. Hvordan kravene kan oppfylles med hensyn til fare for kvikkleireskred, er nærmere beskrevet i NVEs veileder 1/2019. Her nedenfor er områdestabilitet vurdert i henhold til prosedyren i kapittel 3.2 i ovennevnt veileder.

5.2 TILTAKSKATEGORI

Tiltakskategori er valgt ihht tabell 3.2 i veilederen. Selve tiltaket innebærer oppbygging av fyllinger for utelager og riggområde men ikke bygg av selve trafo. Derfor kunne tiltakskategori K2 ble valgt men hvis dette er tatt som del av trafoen som kan betraktes som en viktig samfundsfunksjon blir dette satt under tiltakskategori K4.

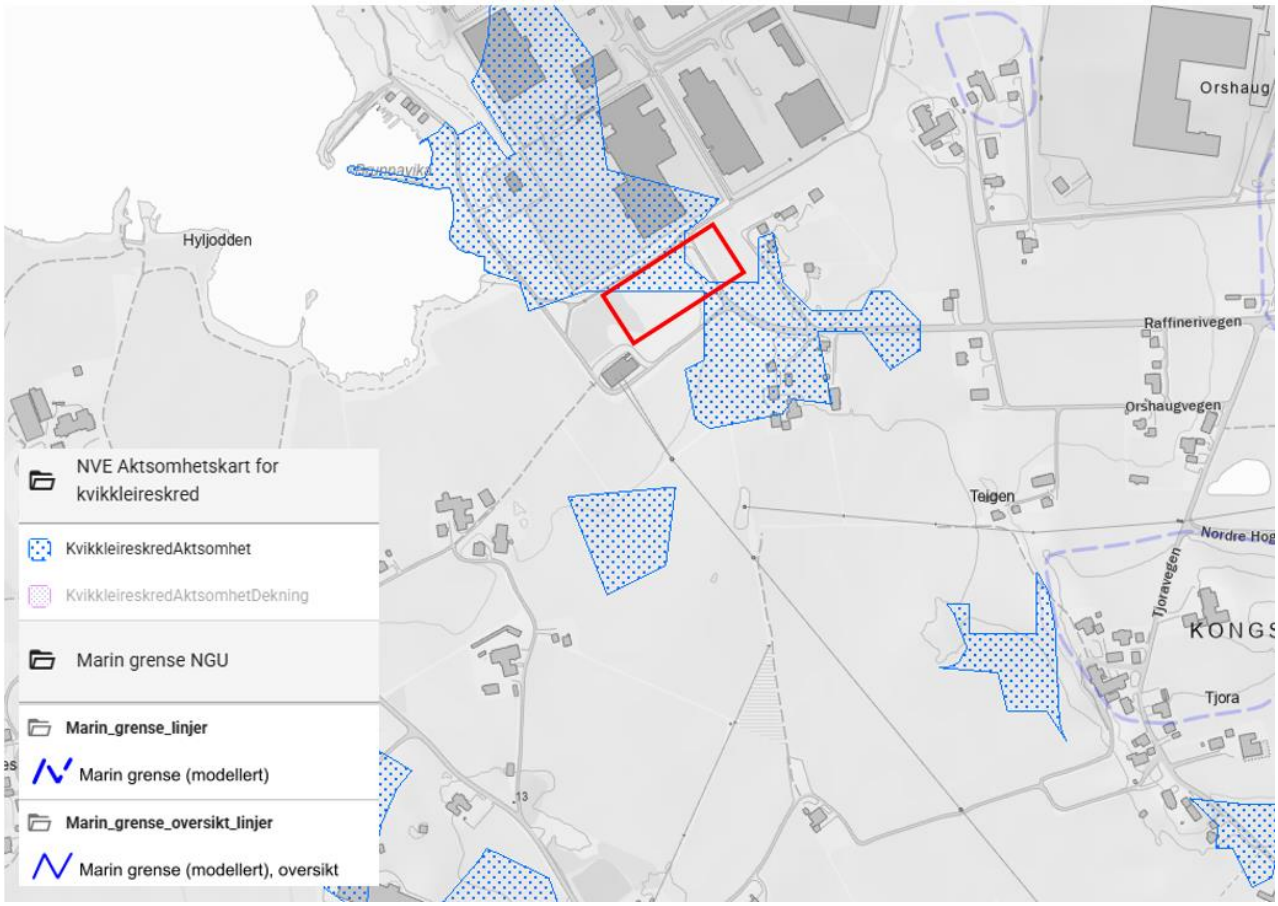
Følgende sikkerhetskrav gjelder for tiltakskategori K4:

- Faresoner som kan berøre tiltaket må avgrenses og utredes for områdeskredfare. Det gjelder både løsne- og utløpsområde.
- Erosjon som kan utløse skred som kan ramme tiltaket må forebygges.
- Hvis tiltaket forverrer stabiliteten skal det kreves absolutt sikkerhetsfaktor Fcu>1,4*fs og Fcϕ>1,25, fs =1,15 (sprøhetsforhold som korrigerer for sprøbruddeffekt).
- For tiltak som ikke forverrer stabiliteten er kravet til sikkerhet Fcu>1,4 og Fcϕ>1,25. Ved lavere sikkerhet skal sikkerhetsfaktorene økes prosentvis iht. gitt kriterier.
- For skråninger i faresonen, men utenfor influensområdet til tiltaket gjelder krav til sikkerhet Fcϕ>1,25 samt krav til robusthet Fcu>1,20.

Det er vurdert at tiltaket kommer ikke til med å påvirke gjeldende skråninger – dvs det gjelder samme prinsipp som i fig. 3.4 i veilederen. Planlagt tiltak kommer kun til med å forbedre stabiliteten av gjeldende skråninger. Derfor kan de sistnevnte sikkerhetsfaktorer brukes ved stabilitetsberegninger for områdestabilitet. For lokal stabilitet for ny fylling gjelder Fcu>1,4*fs.

5.3 GJENNOMGANG AV GRUNNLAG - IDENTIFISERING AV POTENTIELLE KRITISKE SKRÅNINGER OG POTENSIELLE LØSNEOMRÅDER

Kvartergeologisk kart viser marine strandavsetninger og mulig forekomst av marin leire i området. Figuren nedenfor viser utsnitt fra NVE sitt aktsomhetskart for kvikkleireskredfare.



Figur 10: Utsnitt fra NVE sitt aktsomhetskart for kvikkleire. Tiltaksområdet er vist med rød rektangel.

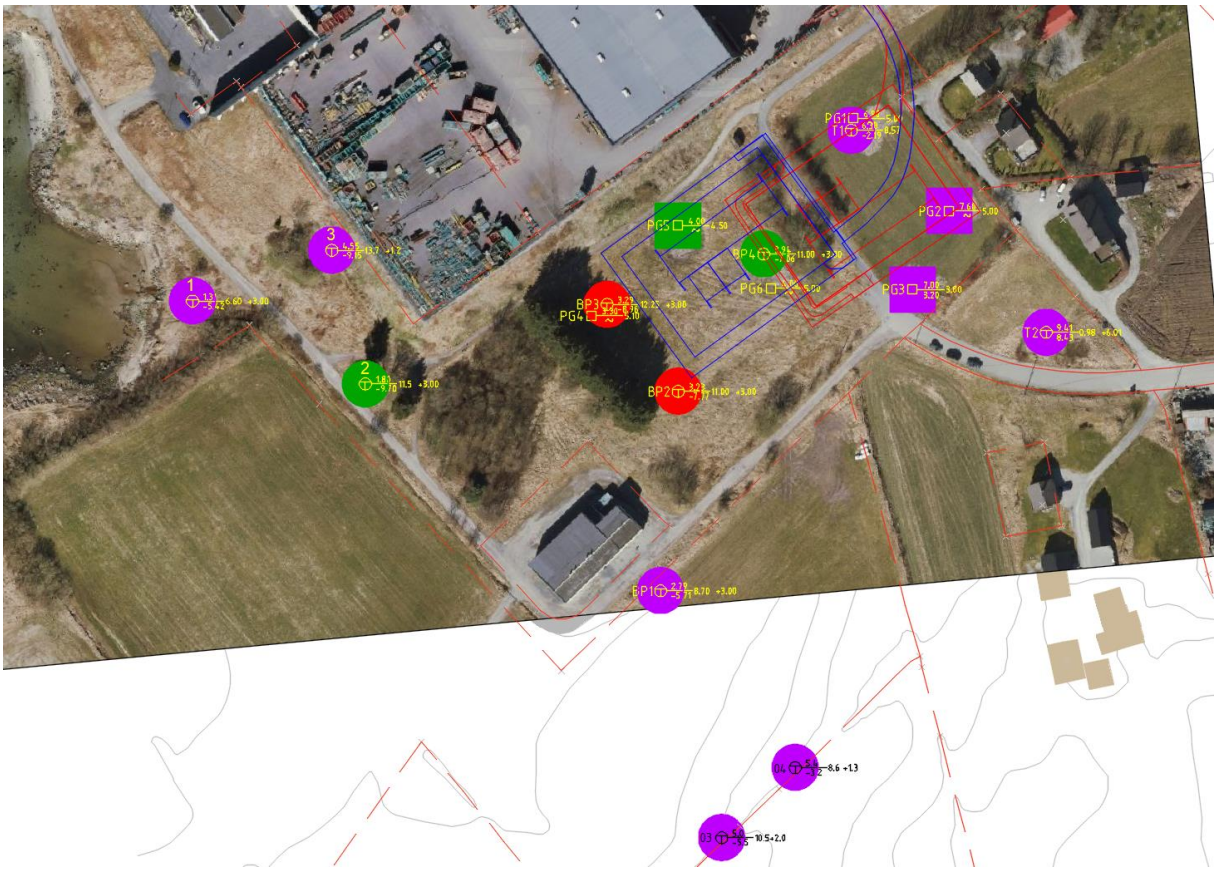
Det viser seg at rundt tiltaksområdet er det arealer hvor karta viser som mulige for tilstedeværelse av kvikkleire. Grunnundersøkelser har videre påvist materiale med sprøbruddegenskaper i området.

Grunnundersøkelser indikerer allikevel og det er konkludert her at det ikke finns materiale med sprøbruddegenskaper i området som ligger langs og sør for Raffineriveien. Det er antatt basert på resultater fra hull BP1, PG3 og T2, se fig 5, og supplerende grunnundersøkelser fra Norconsult, hull 04, se fig. 6, samt terrengforhold, dvs det ser ut som leira slutter før den stigning i terrenget som blir mellom høydekurve 5 og oppover.

Hull PG3 viser fjell på 3,8 m dybde og kun sand og grus og T2 fjell på 1 m dybde. BP1 viser leire men mye fastere lagret, se også kapitel 3. Sonderingsdiagram fra Norconsult, hull 04 som ligger i kote ca. 5,5 viser heller ingen tegn til forekomst av materiale med sprøbrudd-egenskaper. Dette område er derfor ikke tatt med i videre vurderinger av aktuelle skredmekanismer og stabilitet.

Videre grunnundersøkelser utført i mars 2025, se fig. 7, indikerer at det ikke er noe fare for skred initiert fra sjøen, se borprofiler for hull 1 og hull 3 på fig. 8. Områdene med skredprofil fra sjøen mot øst og nordøst er derfor ikke tatt med i videre vurderinger av skredmekanisme og stabilitet, se også kapitel 5.6.

Figuren nedenfor oppsummerer grunnundersøkelsene og viser prøvehull og borhull, og hvor det er forekomst av sprøbruddmateriale og ikke. Borpunkter og prøvegravinger med påvist sprøbruddmateriale er markert med rød sirkel eller firkant. Hvor det er mistanke om sprøbruddmateriale er de markert med grønn sirkel og firkant, og hull hvor det ikke forekommer sprøbruddmateriale er markert med lilla sirkel og firkant. P.g.a. det finns ikke materiale med sprøbruddegenskaper – men kun friksjonsmateriale (sand, grus og morene) i hull 1 og hull 3 kan ikke skred initiert i sjø påvirke tiltaksområdet.



Figur 11: Oppsummering av grunnundersøkelser i området. Mulige plasseringer for Trafo er vist i blå og røde farger.

Skredprofil fra sørvest mot tiltaksområdet oppfyller ikke terrengkriterier, se også Profil 1 i fig. 15.

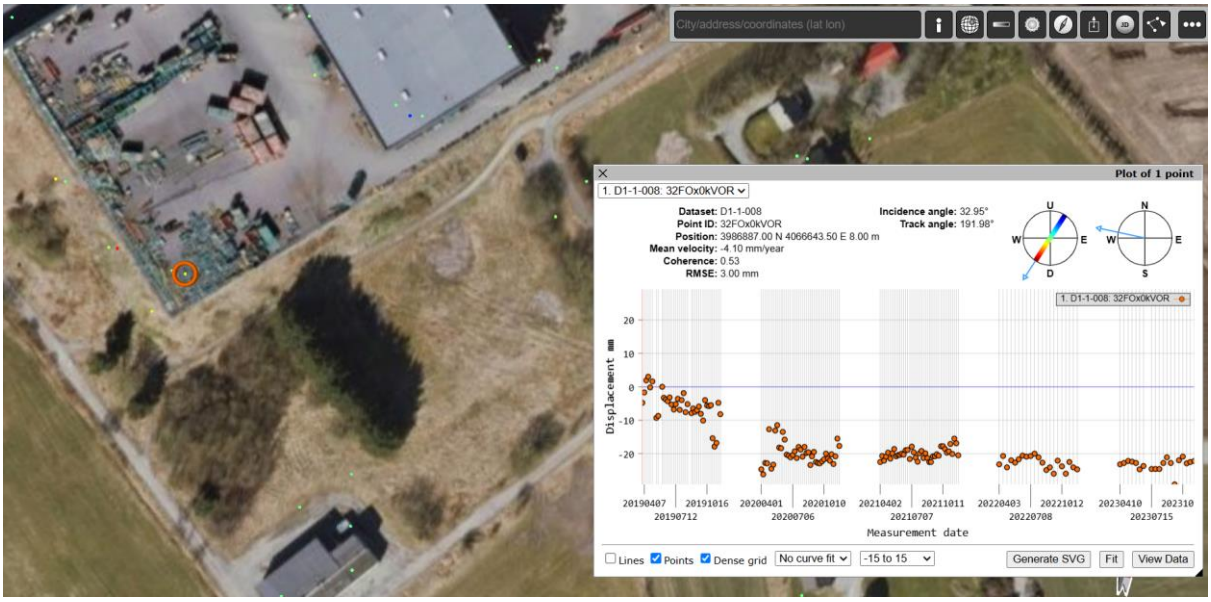
5.4 Befaring

Befaring ble utført av geolog Siri Gloppen. I tillegg er det gjort nytte av ortofotoer fra forskjellige tidspunkter. Det finns ingen åpen bekk i området. Det finns en grøft som ligger i nordvest-sørøst retning lidt sør for tiltaksområdet, se bilde nedenfor.

Figur 12: Grøfta vist med rød linje. Tiltaksområde vist med rød rektangel.

Grøfta er helt vegetert og ingen ting som tyder på pågående erosjon. I skråningsfoten langs nordvest siden er det ingen ting som tyder på erosjon. Det er derfor konkludert at erosjon ikke vil være problem mtp. utløsning sv skred.

Data fra INSAR viser også at det er ikke dramatiske bevegelser som pågår i området. Punkter opp på fyllingen i nordvest viser bevegelser fra 2019 som antas og skyldes langtidssetninger fra fyllingen som ble lagt ut ca. 2009. Disse bevegelser har allikevel vært minimale i de siste tre årene. Punkter langs Raffineriveien og bygg i sørvest hjørna viser ingen bevegelser. Figuren nedenfor vises INSAR punkter i området samt bevegelse av merket punkt opp på fylling.



Figur 13: INSAR punkter i området og målt bevegelse av punkt med oransje umriss.

5.5 GJENNOMFØRING AV GRUNNUNDERSØKELSER

Ifbm. denne vurdering ble det utført boringer og tilsvarende labprøver i tiltaksområdet. I tillegg var det tidliger utført gravinger i tiltaksområdet og boringer i området lidt nord for tiltaksområdet som ble også nyttet. I tillegg ble det gjort nytte af boringer utført i januar og mars 2025. Disse er alle beskrevet i kapitel 3 ovenfor og i egen datarapport, og er brukt til å bestemme jordprofilen i beregnet snitt. Plassering av borehull/groper er vist i figur 4, 6, 7 og 11 ovenfor.

Der ble ikke lov til å gå med boringer inn på industritomten på nordvest. Området er asfaltert og boringer kunne hatt medført skader på asfalten. Derfor kunne jordprofilen der ikke bestemmes. Det er antatt at samme forhold hersker under fyllingen, som i BP2 og BP3 og det anses å være konservativ tilnærming spesielt med tanke på forhold i hull 1 og 3, se fig. 7 og 8. Hvor fyllingen ikke er til stede ned mot sjøen er det antatt samme forhold som i hull 1 og 3.

For området mot sjøen viser hull 1 og 3 sandige, grusige og morenemasser mens hull 2 viser tynnere lag av antatt leira og den er ikke til stede i hull 1 og 3. Fjell ser ut for å stige i retning mot sjøen og ortofoter indikerer sand i sjøbund Det er derfor antatt at samme geotekniske parametere hersker i området mot strandlinjen som vurdert for sand, grus og morene, se tabell 3 i kapitel 5.8.

Tidligere ortofotoer viser at fylling ble lagt ut i 2008-2009 og at høyde på fylling er ca. 5m. Leire har derfor hatt 15+ år til å konsolideres og økes i styrke. For å estimere udrenert skjerstyrke er det brukt likning fra SHANSEP modellen. OCR er konservativt valgt til 1 og verdiene S og m på samme måte bestemt til 0,25 og 0,65. Med grunnvannsstand antatt på topp leira – som ble bekreftet i Norconsult sine piezometer målinger - beregnes skjærstyrken i leira iht. SHANSEP til 33kPa til 45kPa.

5.6 AKTUELLE SKREDMEKANISMER OG AVGRENSING AV LØSNE OG UTLØPSOMRÅDER

For kvikkleireskred til å være mulig må noe terrengkriterier være til stede. Følgende terrengkriterier legges til grunn for vurdering av aktsomhetsområder:

a) Terreng som kan inngå i løsneområde for et skred:

- Total skråningshøyde (i løsmasser) over 5 meter, eller
- Jevnt hellende terreng brattere enn 1:20 og høydeforskjell over 5 m

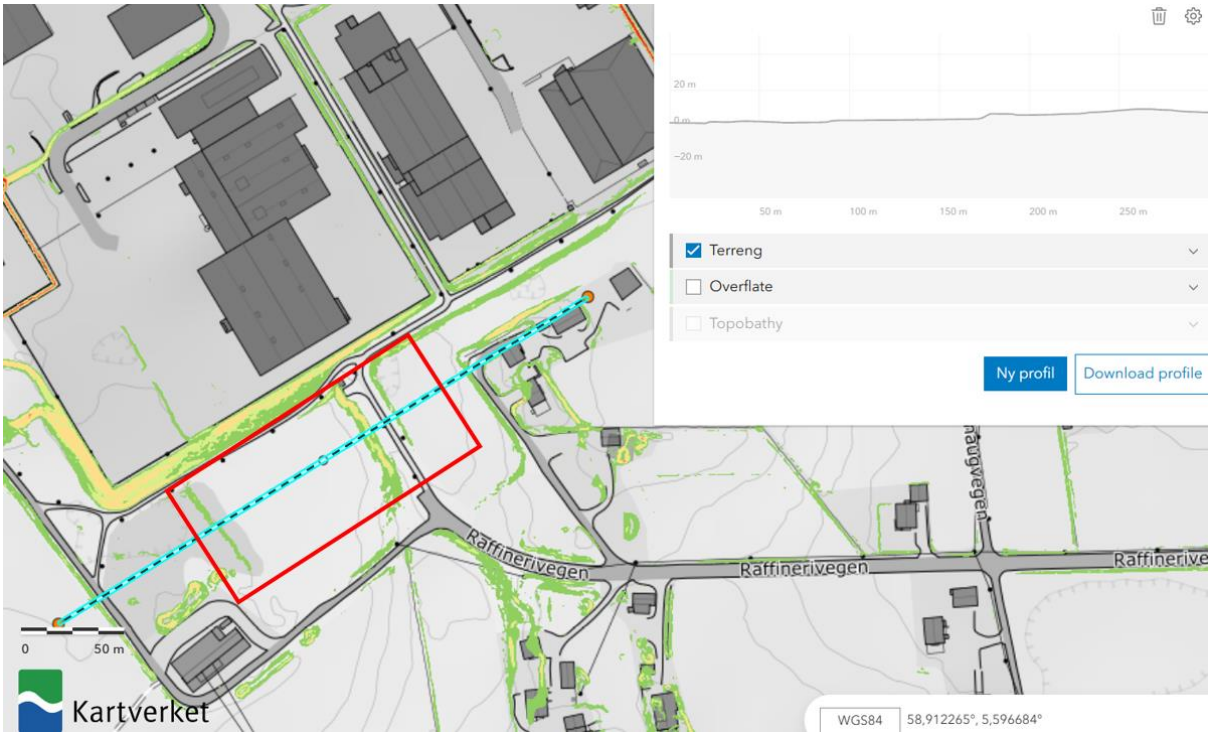
Aktsomhetsområder ligger innenfor 20 x skråningshøyden, H, målt fra bunn av skråning (ravinebunn, bunn av elv eller marbakke i sjø (inntil 25 muh.)).

b) Terreng som kan inngå i utløpsområde for et skred:

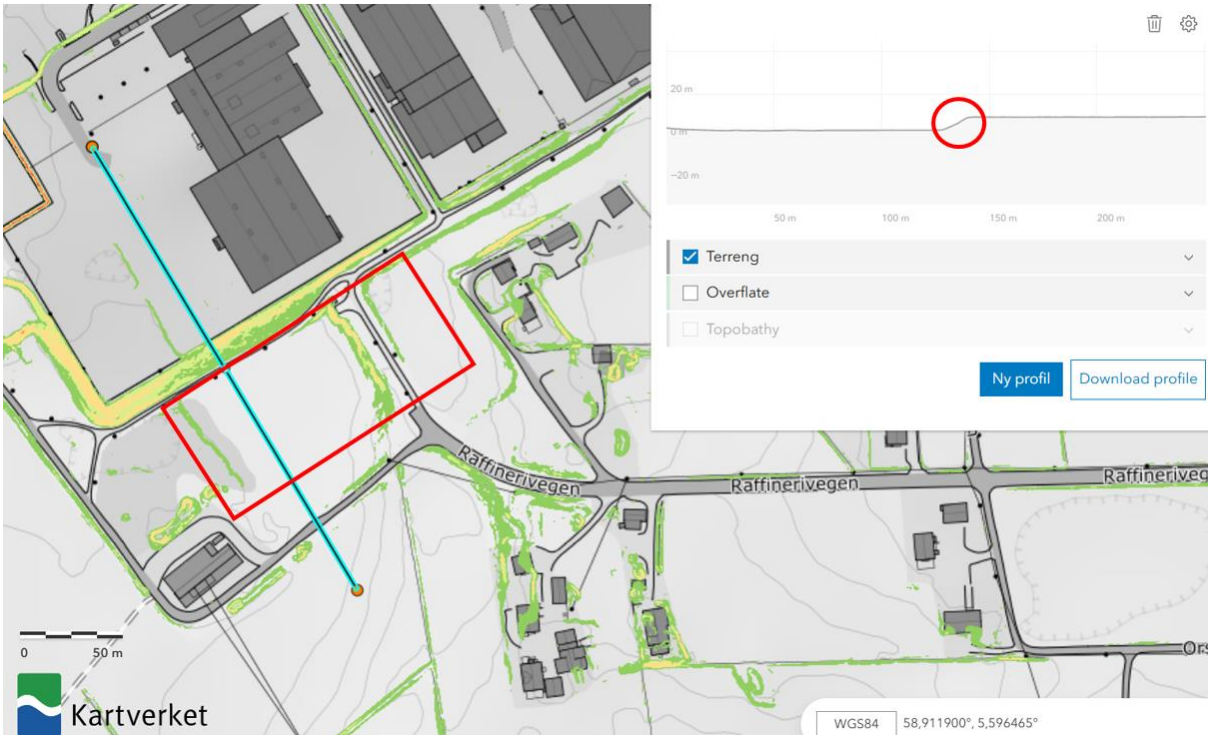
- 3 x lengden til løsneområdets lengde. Løsneområdet er enten en eksisterende faresone (steg 1) eller et aktsomhetsområde (steg 3a), eller
- Utløpssone som allerede er kartlagt (som vist i NVEs temakart Kvikkleire).

Disse kriterier er brukt til å lage aktsomhetskarta, se fig. 8. Hoydedata.no og NVEs temakart for bratthet er benyttet videre som grunnlag for terrenganalyse. I figurene nedenfor vises utsnitt fra bratthetskart og plan- og profiler tatt i gjennom terreng på høydedata.

Figur 14: Utsnitt fra bratthetskart. Tiltaksområde vises med rød rektangel.



Figur 15: Profil 1. Plan og profil fra sørvest til nordøst. Terrengkriterier for utløsning er ikke til stede, da lengdefall på terreng er mindre end 1:20 og høyde på enkelt skråning er mindre end 5 m. Tiltaksområde er vist med rød rektangel.



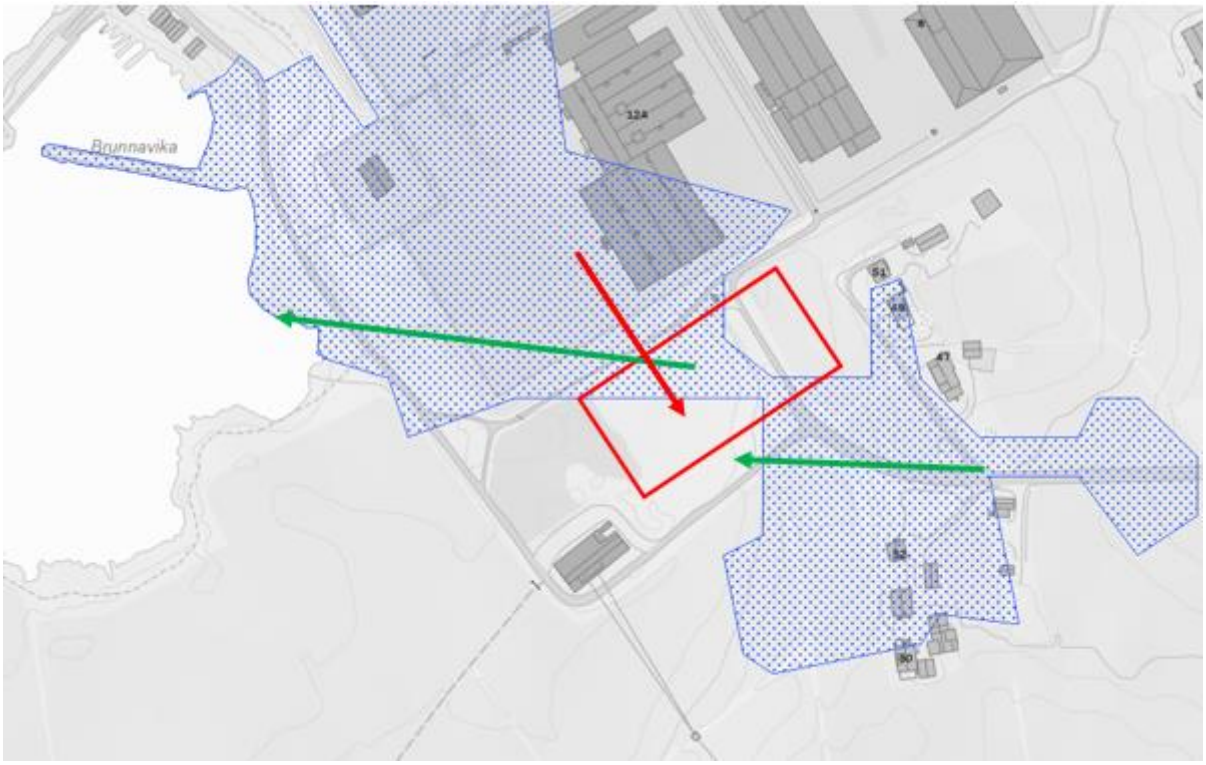
Figur 16: Profil 2. Plan og profil fra sørøst til nordvest. Terrengkriterier for utløsning er til stede. Høyde på skråning er større en 5 m (ca. 5,8 m, se rød sirkel). Tiltaksområde er vist med rød rektangel.

Figur 17: Profil 3. Plan og profil fra sjø mot øst. Terrengkriterier for utløsning er til stede. Høyde på skråning er større en 5 m (ca. 5,3 m, se rød ellipse). Tiltaksområde er vist med rød rektangel.

Det viser seg at innenfor aktsomhetsområdet er terrengkriterier til stede for Profil 2 og 3. Grunnundersøkelser viser allikevel at det er ikke fare for skred som er utløst i strandsonen, inn mot tiltaksområdet, se hull 1 og 3 på fig 7 og 8. Løsneområder som påvirker tiltaket er derfor begrenset til Profil 2.

Området sør for Raffineriveien anses ikke å påvirke tiltaksområdet og grunnundersøkelser viser i tillegg at det er ikke stor sannsynlighet for materiale med sprøbruddegenskaper der. Området langs og nord for Raffineriveien inneholder ikke materiale med sprøbrudd-egenskaper, se fig. 11.

Dette er vist på figuren nedenfor. Røde piler viser områder hvor utløsning er vurdert mulig men grønne piler hvor det ikke er vurdert aktuelt.

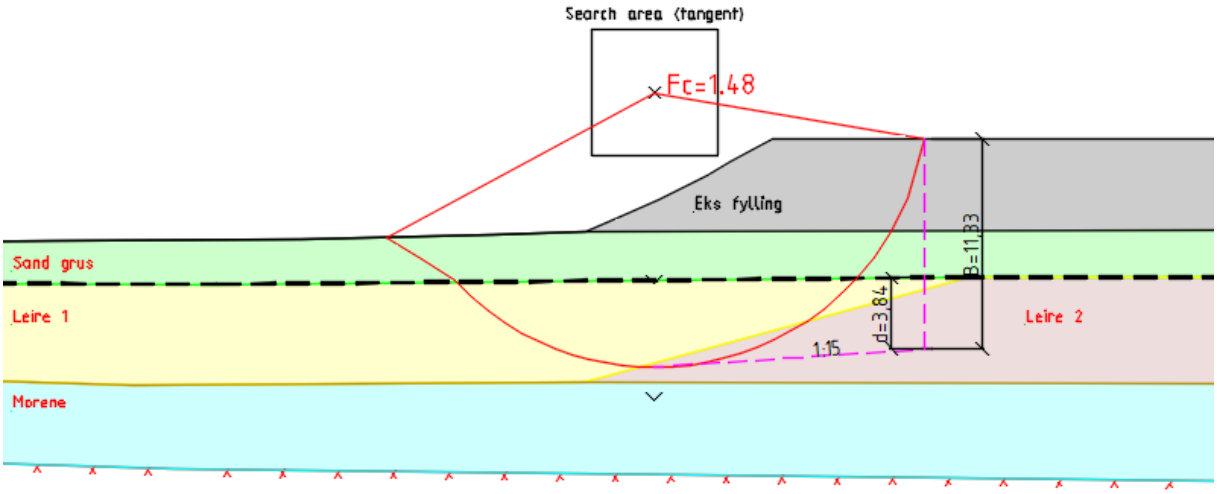


Figur 18: Oversikt over mulige løsneområder innenfor aktsomhetskart for kvikkleireskred. Tiltaksområde vist med rød firkant.

Vurdering av aktuelle skredmekanismer tar utgangspunkt i kapittel 4.5 i NVEs veileder og flytskjema i figur 4.3. Vurdering er gjort for Profil 2, nordvest-sørøst.

Profilet er tolket ut ifra BP2 og BP3. Som nevnt tidligere, i kap. 5.5, ble det ikke utført boringer, på eks. fylling på industritomta og derfor er samme lagdeling antatt for området der nord for.

I profilen forekommer sprøbruddmateriale med omrørt fasthet ≥ 1 kPa (etter NS8015) men flyteindeks IL > 1,2, som tilsvarer mulig retrogressjon. Det er derfor tatt ut snitt som viser antatt lagdeling og dybde på sprøbruddmateriale for å kartlegge andel av sprøbruddmateriale over kritisk glideflate. Kritisk glideflate er vist på figur 19 nedenfor.

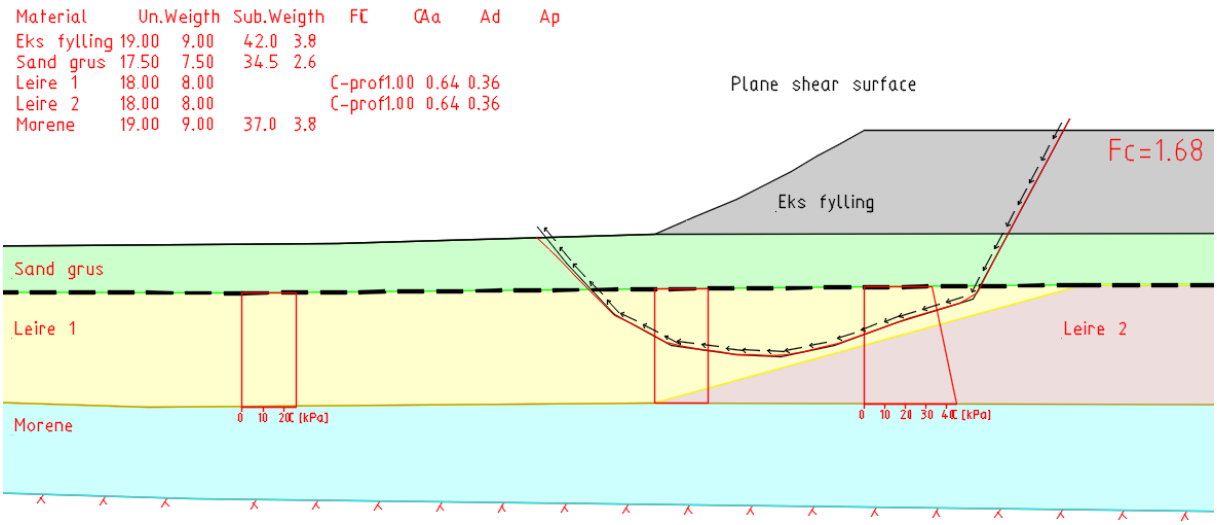


Figur 19: Kritisk glideflate i Profil 2, nordvest – sørøst profilen. Materialegenskaper vist i neste figur.

Det er funnet d og B etter figur 4.4. i veilederen. Forhollet d/B viser seg å være 0,34 dvs. mindre enn 0,4. Det tilsier rotasjonsskred eller flakskred.

Prinsipp for avgrensning av løsneområde L, for rotasjonsskred er funnet iht. kap. 4.5.3 i NVEs veileder med L < 5 x H. Utløpsområde Lu, er avgrenset iht. kap. 4.6 i NVEs veileder som Lu=0,5xL. Dette betyder at L = 29 m og Lu = 15 m.

Utforming av glideflate for flakskred tar utgangspunkt i fig. 4.9 i veilederen hvor flakskred initierer fra berg eller fast materiale og ligger langs sprøbruddmateriale på mest ugunstig måte og så opp i dagen i foten av skråning. Mht. dette kan flakskred glideflate se ut som vist på figuren nedenfor, tatt i samme profil som før.

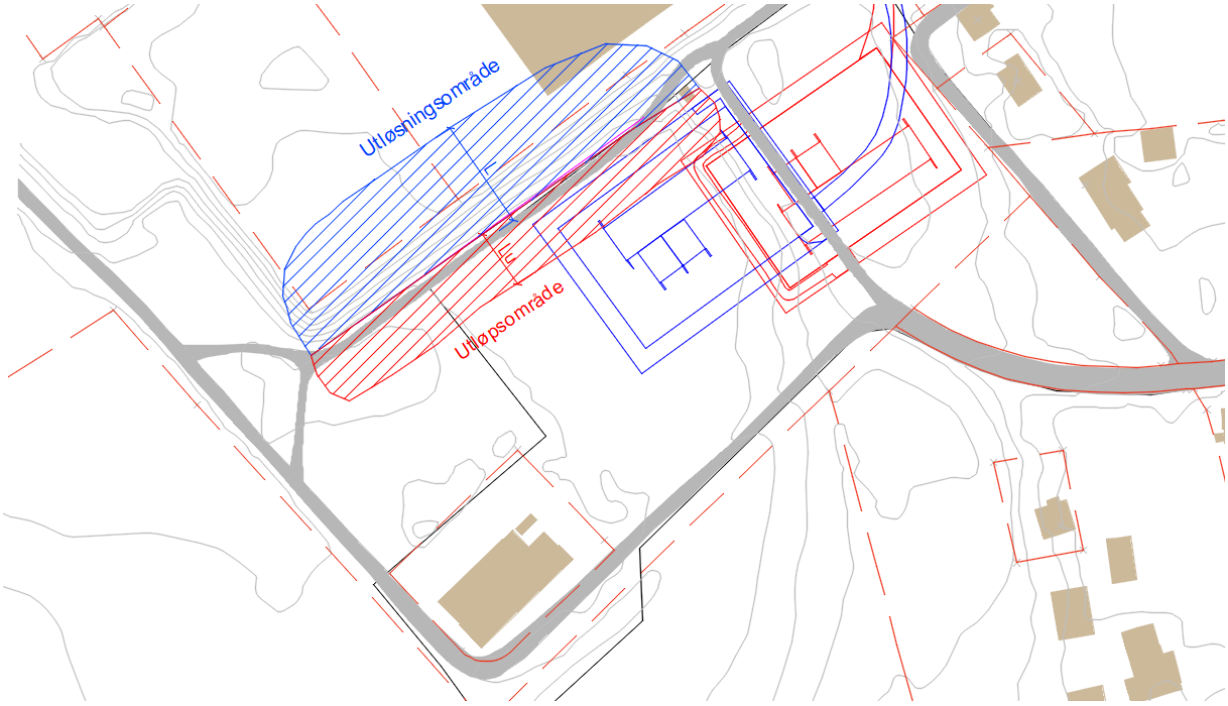


Figur 20: Kritisk glideflate for flakskred i Profil 2, nordvest – sørøst profilen.

Det viser seg at sikkerhetsfaktoren for flakskred er høyere enn for rotasjonsskred. Avgrensing av utløpsområde for flakskred blir den samme som for rotasjonsskred, Lu = 0,5xL, og

løsneområdet; L, blir kortere enn for rotasjonsskred. Derfor er det valgt å bruke verdier for rotasjonsskred for løsne- og utløpsområder.

Avgrensing av områdene vises i fig. 21 nedenfor. Disse områdene er kun tatt for en profil men det er antatt de gjelder for hele lengden av eks. fyllingskanten hvor sprøbruddmateriale forekommer.



Figur 21: Utløsnings- og utløpsområder for Profil 2, nordvest - sørøst.

5.7 KLASSIFISERING AV FARESONER

Faregradsklassifisering av faresonen er presentert i tabell 1 nedenfor og vurderingene oppsummeres her. Disse er basert på NVE Ekstern rapport 9/2020 «Oversiktskartlegging og klassifisering av faregrad, konsekvens og risiko for kvikkleireskred – Metodebeskrivelse.» Skråningshøyden er målt i kartdata for profil nordvest – sørøst. Forholler er vurdert å være normalkonsolidert, OCR=1. Poretrykk er vurdert å være hydrostatisk. Mektighet av sprøbruddmateriale er tatt ut i fra grunnundersøkelser. Sensitivitet er tatt uti fra lab resultater. Erosjon er ikke vurdert å være noe. Tiltak er vurdert å ha forbedrende effekt på stabilitet.

- Det er ikke registrerte eller kunnskap til tidligere kvikkleireskred i området.
- Største fyllingshøyde er 5,8m
- Poretrykk er antatt å være hydrostatisk
- Mektighet av sprøbruddmateriale er større enn halv høyden av skråningen
- Sensitivitet er mellom 20-30 basert på rutineundersøkelser av prøver
- Det er ingen synlig tegn til aktiv erosjon eller mulighet for noe

- Planlagt tiltak med fylling som virker som motfylling for skråningen vurderes å forbedre stabilitetsforholdene noe ettersom det kan tolkes at skråningshøyden er redusert om 2-4m.

Tabell 1:

Faregrad - evaluering						
Faktorer		Faregrad – score				Resultat
	Vekt - tal	3	2	1	0	
Tidligere skredaktivitet	1	Høy	Noe	Lav	Ingen	0
					0	
Skråningshøyde, meter	2	>30	20-30	15-20	<15	0
					0	
Tidligere/nåværende terrengnivå (OCR)	2	1,0-1,2	1,2-1,5	1,5-2,0	>2,0	6
		3				
Poretrykk: Overtrykk, kPa:	3	>+30	10-30	0-10	Hydrost.	0
					0	
Poretrykk: Undertrykk, kPa:	-3	>-50	-(20-50)	-(0-20)		0
					0	
Kvikkleiremektighet	2	>H/2	H/2-H/4	<H/4	Tynt lag	6
		3				
Sensitivitet	1	>100	30-100	20-30	<20	1
				1		
Erosjon	3	Kraftig	Noe	Litt	Ingen	0
					0	
Inngrep: Forverring	3	Stor	Noe	Litt	Ingen	0
					0	
Inngrep: Forbedring	-3	Stor	Noe	Litt	Ingen	-6
			2			
Sum		51	34	17	0	7
% av maksimal poengsum		100	67	33	0	
14%	Av max. poengsum					
Faresonene fordeles i faregradklasser etter samlet poengsum						
Lav faregrad 0-17 poeng						
Middels faregrad 17-34						
Høy faregrad 34-51						

Klassifiseringen tilsier 7 poeng eller **lav faregrad**.

Klassifisering av skadekonsekvens vises i tabell 2 nedenfor. Forutsetningene er talt opp her nedenfor.

- Det er vurdert at tiltaket ikke påvirker noe boliger
- Det er vurdert at næringsbygg på nordside kan være påvirket
- Ingen annen begyggelse kan bli påvirket
- Toglinje eller vei er ikke aktuelle
- Regional kraftnett kan være påvirket

- Det er ingen fare for oppdemming eller flommer

Tabell 2:

Skadekonsekvens - evaluering						
Faktorer		Skadekonsekvens – score				Resultat
	Vekt-tal	3	2	1	0	
Bolighet, antall	4	Tett>5	Spredt>5	Spredt<5	Ingen	0
					0	
Næringsbygg, personer	3	>50	10-50	<10	Ingen	6
			2			
Annen bebyggelse, verdi	1	Stor	Betydelig	Begrenset	Ingen	0
					0	
Veg, ÅDT:	2	>5000	1000-5000	100-1000	<100	0
					0	
Toglinje, baneprioriet	2	Persontrafikk	Godstrafikk	Normalt ingen trafikk	Ingen	0
					0	
Kraftnett	1	Sentral	Regional	Distribusjon	Lokal	2
			2			
Oppdemming, flom	2	Alvorlig	Middels	Liten	Ingen	0
					0	
Sum		45	30	15	0	8
% av maksimal poengsum		100	67	33	0	
18%	Av max. poengsum					
Faresonene fordeles i konsekvensklasser etter samlet poengsum						
Mindre alvorlig 0-6 poeng						
Alvorlig 7-22						
Meget alvorlig 23-45						

Klassifisering tilsier 8 poeng eller **alvorlig** skadekonsekvens

Tallverdien for risiko fremkommer ved å multiplisere %-tallet for skadekonsekvens med %-tallet for faregrad. I dette tilfellet blir det 14 x 18 = 252 som tilsier **Risikoklasse 2.**

5.8 DOKUMENTASJON AV TILFREDSSTILLENDE SIKKERHET

Stabilitetsberegninger er gjort for profil nordvest – sørøst. Det er ikke gjort beregninger for profil fra strandsonen ettersom det finns ikke materiale med sprøbruddegenskaper der. Det er gjørt for udrenert tilstand og drenert tilstand og for eks. forhold og forhold etter tiltak. Det er også gjort beregninger for flakskred. Det viser seg at stabilitet er tilfredsstillende uten noe spesielle tiltak. Alle resultat er vist i tabell 4 her nedenfor. Materialparametre for drenert og udrenert tilstand er vist i tabell 3 her nedenfor. Ikke alle bruddprofilene er vist på figurer.

For materialparametere i stabilitetsberegningene er det brukt tabell 3.6.2-1 i Hb V220 [13] for ny fylling, sand og morenemasser. For leire er laboratorieresultater fra enaksial skjærstyrke og tyngdetetthet av leirprøven benyttet for udrenerte beregninger men verdier fra tabellen benyttet for drenert tilstand. For udrenerte beregninger er det konservativt å bruke verdien fra enaksforsøket direkte. Den verdien skulle faktiskt vært korregiert ettersom ADP beregningene faktorerer den med 0,64 for å få direkte skjærstyrken. Det gir verdi på skjærstyrke rundt 40 kPa og er i tråd med det som ble målt i NC sitt CPT test. Følgende tabell viser parameterne som er brukt:

Tabell 3:

Materiale	*γ [kN/m³]*	*ϕ [°]*	*tanϕ*	*a [kPa]*	*c' [kPa]*	*Cu [kPa]*
Ny fylling	19,0	42,0	0,90	5,0	3,8	
Eks. fylling	19,0	42,0	0,90	5,0	3,8	
Sand / grus	17,5	34,5	0,69	3,8	2,6	
Leire	18,0	20,0	0,36	2,5	0,9	26,0
Leire 2	18,0	20,0	0,36	2,5	0,9	33,0-45,0
Morene	19,0	37,0	0,75	5,0	3,8	

Anisotropifaktorer Ad og Ap er beregnet etter tabell 1 i NIFS rapport 14/2014, basert på $I_p \leq 10$ og funnet til å være:

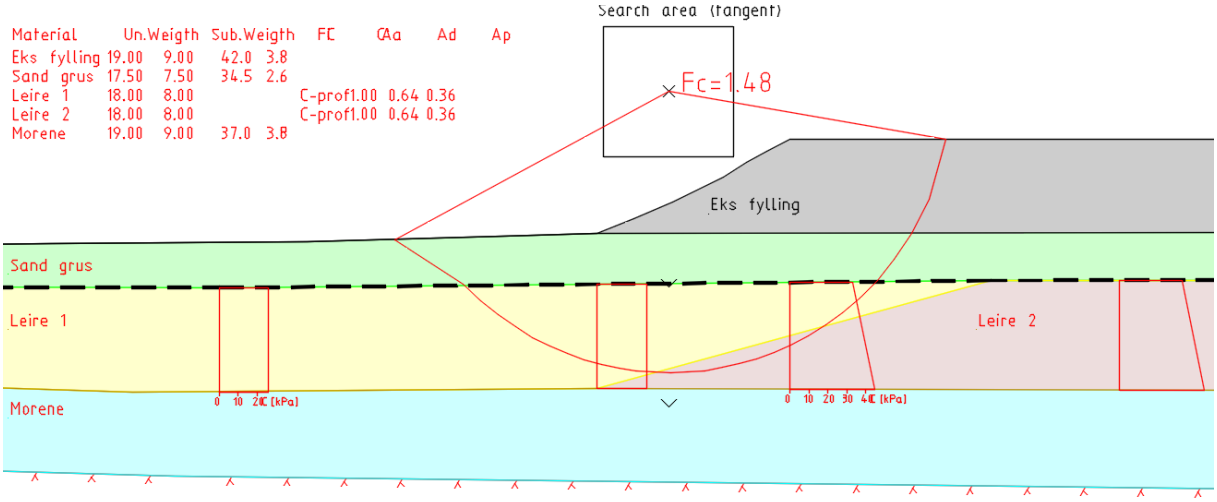
Ad = 0,64
Ap = 0,36

Som nevnt tidliger er C_u for leira som ligger under eks. fylling funnet ut i fra likning 3.5.8.1-1 i håndbok V220:

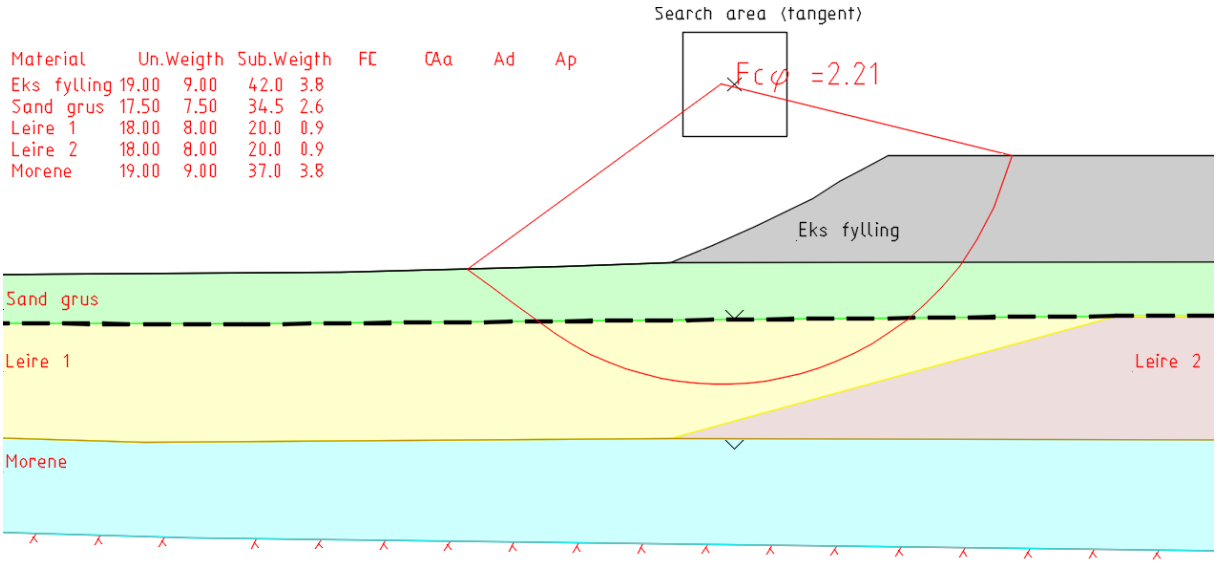
$$\frac{c_u}{\sigma_{v0}'} = S \quad (OCR)^m$$

Og OCR og S og m faktorer valgt konservativt.

I figurer nedenfor er kritiske bruddflater for hvert tilfelle vist. Første to viser eks. forhold i udrenert og drenert tilstand for rotasjonsskred.



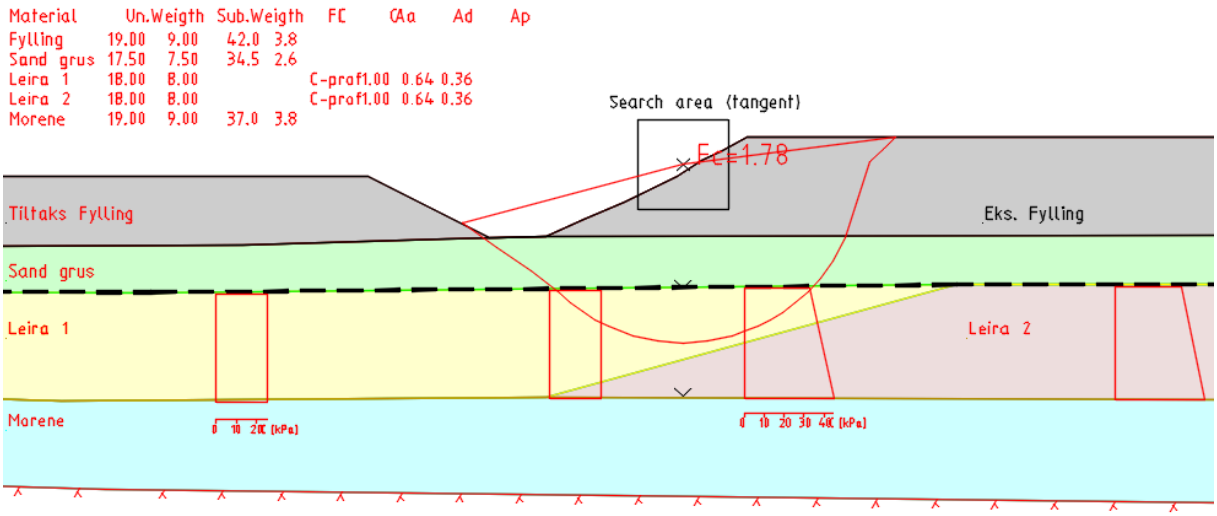
Figur 22: Profil 2, nordvest-sørøst, eks. forhold, udrenert tilstand.



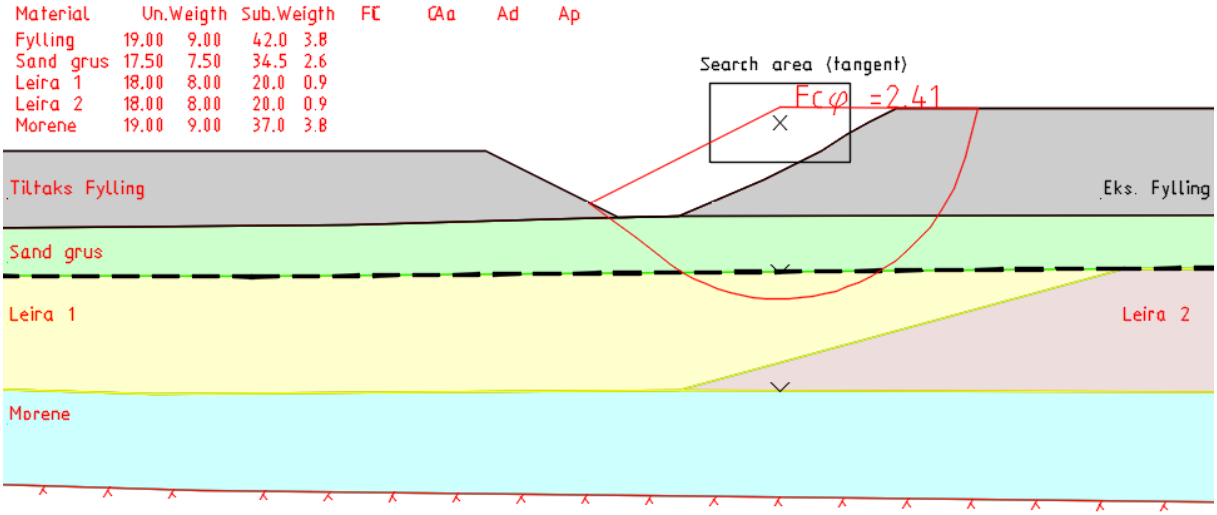
Figur 23: Profil 2, nordvest-sørøst, eks. forhold, drenert tilstand.

Det er også beregnet stabilitet for samme profil for flakskred. Den viser høyere sikkerhetsfaktor.

Friksjonsvinkel for leira i drenerte beregninger er valgt konservativt 20°. Leira er helt på grense mellom bløt og middels fast – se kapitel 4.1 i håndbok R210 - så frinksjonsvinkelen kunne vært valgt lidt høyer. Neste to figurer viser planlagt tiltak i udrenert og drenert tilstand.



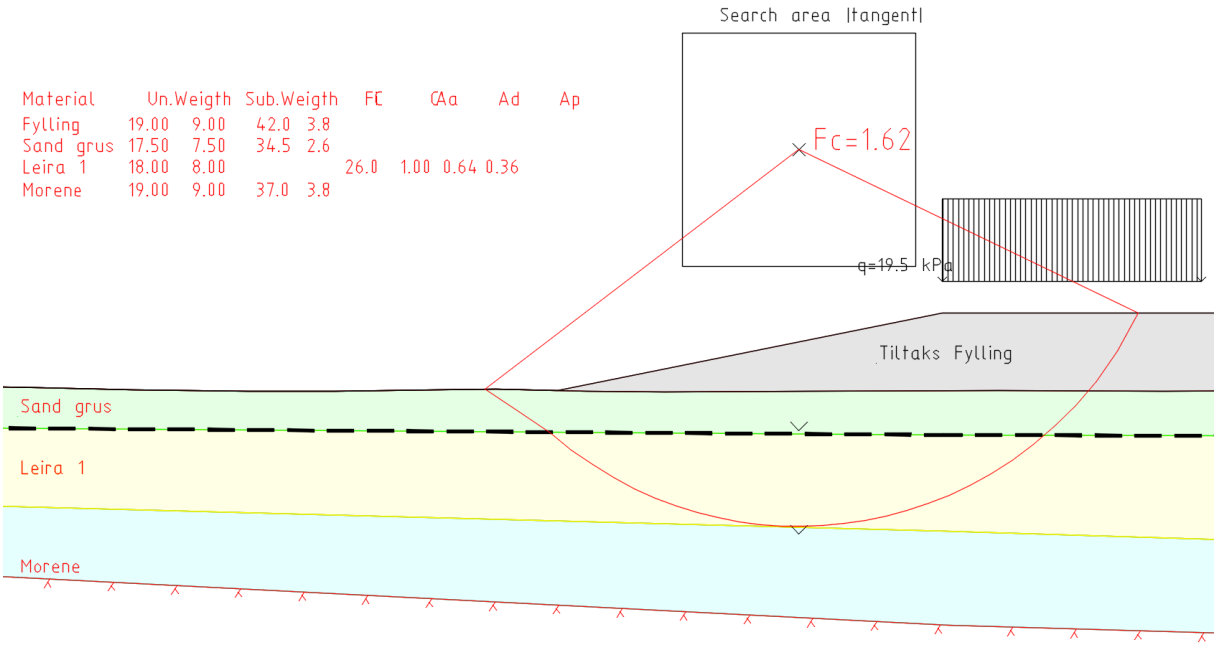
Figur 24: Profil 2, nordvest-sørøst, med tiltak, udrenert tilstand.



Figur 25: Profil 2, nordvest-sørøst, med tiltak, drenert tilstand.

Det er også beregnet stabilitet for samme profil for flakskred. Den viser høyere sikkerhetsfaktor.

Det er også beregnet stabilitet på tiltaksfylling på sør siden dvs. fylling som skal legges ut for riggområde og utelager. Det viser seg at for å oppnå tilstrekkelig sikkerhet må helning på den skråning være 1:5 eller slakere. Det er påført en tilleggslast til topp fylling på 15 kPa som med delfaktor regnes til 19,5 kPa. Figuren nedenfor viser kritisk bruddflate for denne skråningen i udrenert tilstand. Det er også beregnet stabilitet for drenert tilstand og sikkerhet for det er tydelig høyere. For flakskred er sikkerhetsfaktoren nokså høy også.



Figur 26: Tiltaksfylling, udrenert tilstand.

Tabellen nedenfor drar sammen resultatene fra stabilitetsberegningene.

Tabell 4:

Forhold	Fcu / Fcφ Krav	Fc / Fcφ Beregnet
Eks. forhold, profil nv - sø, udrenert tilstand, rotasjonskred	1,4	1,48
Eks. forhold, profil nv – sø, drenert tilstand, rotasjonskred	1,25	2,21
Eks. forhold, profil nv - sø, udrenert tilstand, flakskred	1,4	1,68
Eks. forhold, profil nv – sø, drenert tilstand, flakskred	1,25	2,45
Forhold med tiltak, profil nv – sø, udrenert tilstand, rotasjonskred	1,4	1,78
Forhold med tiltak, profil nv – sø, drenert tilstand, rotasjonskred	1,25	2,41
Forhold med tiltak, profil nv – sø, udrenert tilstand, flakskred	1,4	1,95
Forhold med tiltak, profil nv – sø, drenert tilstand, flakskred	1,25	2,49
Tiltaksfylling med last på fylling, udrenert tilstand, rotasjonskred	1,61	1,62
Tiltaksfylling med last på fylling, drenert tilstand, rotasjonskred	1,25	2,68
Tiltaksfylling med last på fylling, udrenert tilstand, flakskred	1,61	4,79
Tiltaksfylling med last på fylling, drenert tilstand, flakskred	1,25	10,11

Det viser seg at alle skråninger har tilstrekkelige sikkerhetsfaktorerer uten noe spesielle tiltak. Skråning på fylling som skal legges ut for riggområde og utelager må allikevel ikke stå brattere enn 1:5 (lodrett:vannrett). Det er derfor konkludert at sikkerhet for områdestabilitet er ivaretatt.

6 VIDERE ARBEID

For plassering 1 (fig. 3) så blir bunn kjeller i transformatorstasjon liggende ca. 0,5 m over dagens bakkenivå. Det blir derfor ikke nødvendig med noe utgraving i stedegne masser etter at fyllingen er påført, kun i selve fyllmassene. Det er sannsynlig at selve bygget må fundamenteres på peler ned til fjell, men dette er ikke avgjort enda og må vurderes som en del av en geoteknisk detaljprosjektering. Fundamentering av selve bygget er ikke del av dette notat som behandler kun områdestabilitet og lokal stabilitet som følger av fyllinger som plasseres rundt planlagt bygg. Fyllingen som er planlagt kommer til å forårsake setninger. Disse må vurderes, og man må utføre en ødometertest av leirprøve i laboratorium for å få informasjon om setningsegenskapene til denne leiren. Man må også vurdere hvilke lagtykkelser av fylling som kan legges ut om gangen, må tilpasses tilgjengelig komprimeringsutstyr. Alt dette må vurderes i detaljprosjektering.

Plassering 4a, hvor kjeller graves ned i dagens bakkenivå, ligger utenfor området hvor sprøbruddmaterialet er påtruffet. En del av geoteknisk prosjektering blir å vurdere om fundamentering av bygget her kan skje på stedlige masser. Ettersom at planlagt fylling her har samme utforming og kotehøyde som for plassering 1, gjelder det som ble beskrevet over om fylling og setninger for plassering 4a også.

Det forutsettes at geoteknisk rådgiver bistår i forbindelse med videre prosjektering av fundamenteringsløsning og anleggsteknisk utførelse for nye bygg/anlegg i alle byggefaser.

7 REFERANSER

[1] Kartverket. (u.å.). *Norgeskart*. Hentet 11.01.2024 fra https://www.norgeskart.no/#!?project=norgeskart&layers=1002&zoom=3&lat=7197864.00&lon=396722.00

[2] Kommunal- og distriktsdepartementet. (2017). *Byggteknisk forskrift (TEK 17).* Lovdata. https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2017-06-19-840

[3] Norges vassdrags- og energidirektorat. (2020). *Veileder nr. 1/2019: Sikkerhet mot kvikkleireskred.* NVE. https://publikasjoner.nve.no/veileder/2019/veileder2019_01.pdf

[4] Plan- og bygningsloven. (2008). *Lov om planlegging og byggesaksbehandling (plan- og bygningsloven)*. Lovdata. https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2008-06-27-71

[5] Procon Rådgivende Ingeniører AS. (2021). Geoteknisk grunnrapport Tjora, Plan-ID. 0623 (Prosjektnr. 21-019). Procon Rådgivende Ingeniører AS.

[6] Årdal og Skeie. (2022). Grunn Undersøkelse Raffinerivegen: 10.02.22. (Dokumentnavn: 200_01 - Vedlegg 1 Grunnundersøkelse). Ukjent utgiver.

[7] Head Energy UP AS. (2024). *Datarapport geotekniske grunnundersøkelser: Tjora*. (Dokumentnavn: 110619.001_Geoteknisk datarapport Tjora_0). Head Energy UP AS.

[8] Norges vassdrags- og energidirektorat. (u. å.). *NVE Aktsomhetskart for flom*. Hentet 09.01.2024 fra https://temakart.nve.no/tema/flomaktsomhet

[9] Norges vassdrags- og energidirektorat. (u. å.). *NVE Aktsomhetskart for steinsprang.* Hentet 08.01.2024 fra https://temakart.nve.no/tema/steinsprangaktsomhet

[10] Norges vassdrags- og energidirektorat. (u. å.). *NVE Aktsomhetskart snøskred.* Hentet 08.01.2024 fra https://temakart.nve.no/tema/skredhendelser

[11] Norges vassdrags- og energidirektorat. (u. å.). *NVE Skredhendelser*. Hentet 10.01.2024 fra https://temakart.nve.no/tema/skredhendelser

[12] Norges Geologiske Undersøkelse. (u. å.). *Løsmasser – Nasjonal løsmassedatabase. Kartlag: 05 – NGU – Marin grense og mulighet for marin leire.* Hentet 05.01.2024 fra https://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/

[13] Statens Vegvesen. (2023). *Geoteknikk i vegbygging: Nr. V220 i Statens vegvesens håndbokserie*. Vegdirektoratet.

[14] Statens Vegvesen. (Publisert 2023-11-01). *N200:2022, N200 Vegbygging.* Hentet 15.01.2024 fra https://viewers.vegnorm.vegvesen.no/product/859942/nb

[15] Norges vassdrags- og energidirektorat. NVE Ekstern rapport 9/2020 «Oversiktskartlegging og klassifisering av faregrad, konsekvens og risiko for kvikkleireskred – Metodebeskrivelse.»

[16] NIFS-prosjektet. (2014a). En omforent anbefaling for bruk av anisotropifaktorer i prosjektering i norske leirer. (NIFS-rapport nr. 14/2014). Oslo: NVE

[17] Statens Vegvesen. (2024). L*aboratorieundersøkelser: Nr. R210 i Statens vegvesens håndbokserie*. Vegdirektoratet.