

GEOTEKNISK KVIKKLEIREUTREDNING

HOLEN

Områdestabilitetsvurdering

Lillestrøm kommune

November 2025



RAPPORT TITTEL: GEOTEKNISK KVIKKLEIREUTREDNING HOLEN OMRÅDESTABILITETSVURDERING		DISTRIBUSJON:	
		☒	ÅPENT
PROSJEKT: Kvikkleireutredning Holen		☐	LUKKET
RAPPORT NR.: 24164001-RIG-RAP-03	PRODUKT ID-:	☒	GODKJENNINGSPLIKTIG FRA OPPDRAGSGIVER

KONTROLL OG REVISJONSHISTORIE:					
REV.	DATO	BESKRIVELSE	ANSVARLIG	KONTROLL	GODKJENT
00	13.06.2025	Førstegangs utsendelse	LD	SOKS	AAR
01	27.06.2025	Revidert etter tredjepartskontroll	LD	SOKS	AAR
02	1.09.2025	Revidert etter UAK	LD/MAT	HLI/RD	SOKS
03	25.09.2025	Revidert etter møte med NVE	MAT	HLI/RD	HLI
04	26.11.2025	Revidert etter UAK	MAT	HLI/RD	HLI

UTARBEIDET AV: Maria Tran, Verkis AS	PROSJEKTLEDER: Solveig Tveter Bratlie, Lillestrøm kommune
---	--

UTARBEIDET FOR: Lillestrøm kommune  Lillestrøm kommune	UAVHENGIGKONTROLLØR: Jakob Bitsch Jensen/Anders Christensen, Niras AS
--	--

SAMMENDRAG:

Verkís er engasjert av Lillestrøm kommune som geoteknisk konsulent i forbindelse med kvikkleireutredning av to eksisterende faresoner: 705 Holen og 2938 Hølandsveien. Oppdraget omfatter også gjennomføring av geotekniske grunnundersøkelser. Denne rapporten omhandler vurdering av skredfare for eksisterende bebyggelse i sone 705 Holen.

Grunnundersøkelsene avdekker generelt store dybder, hvor det er boret maks 30 m uten å treffe berg. Lagdelingen viser tykt, sammenhengende lag av kvikkleire under et tykt leirlag under tørrskorpelaget. Det er påvist kvikkleire/sprøbruddmateriale i flere borpunkter i flere dybder. Befaring i området viser en del berg i dagen. Det er i tillegg registrert noe erosjon og overflateglidninger i nærheten av eksisterende bebyggelse. Med bakgrunn i tilgjengelig grunnlag, befaring, grunnundersøkelser og stabilitetsberegninger, er ny soneutredning vurdert. Soneutredningen klassifiserer høy faregrad, meget alvorlig konsekvensgrad og risikoklasse 5.

Det er utført områdestabilitetsvurdering og området kategoriseres i tiltakskategori K4. Stabilitetsberegninger viser ikke tilfredsstillende stabilitet iht. sikkerhetskrav fra NVEs kvikkleireveileder. Området krever en forbedring av sikkerheten. Det er behov for sikringstiltak for å forbedre sikkerheten ved utbygging som påvirker området. Det anbefales å motfylle i ravinedal for å øke stabiliteten og sikre skråningene. Det er observert erosjon i ravinedalene, og det er anbefalt å erosjonssikre i forbindelse med motfyllingen for å unngå utgraving i bunn av skråninger.

I forbindelse med utbygging ved Rv. 22 er det planlagt sikringstiltak ved Holendalen. Gitt at dette utføres, er Sanddalen vurdert som kritisk område i dette prosjektet, til tross for lavere sikkerhet ved Holendalen. Det presiseres at Holendalen ikke kan utelukkes for vurdering, og at skråningsstabiliteten i dette området ivaretas.

På grunn av observasjoner av erosjon og overflateutglidning ved Sanddalen, anbefales det å utføre erosjonssikring i kritiske snitt. Det er videre anbefalt å supplere med grunnundersøkelser i neste fase, samt erosjonssikre med bunnheving for å redusere erosjonen.

Tiltaket settes i tiltakskategori K4, og rapporten skal kvalitetssikres av et uavhengig foretak.

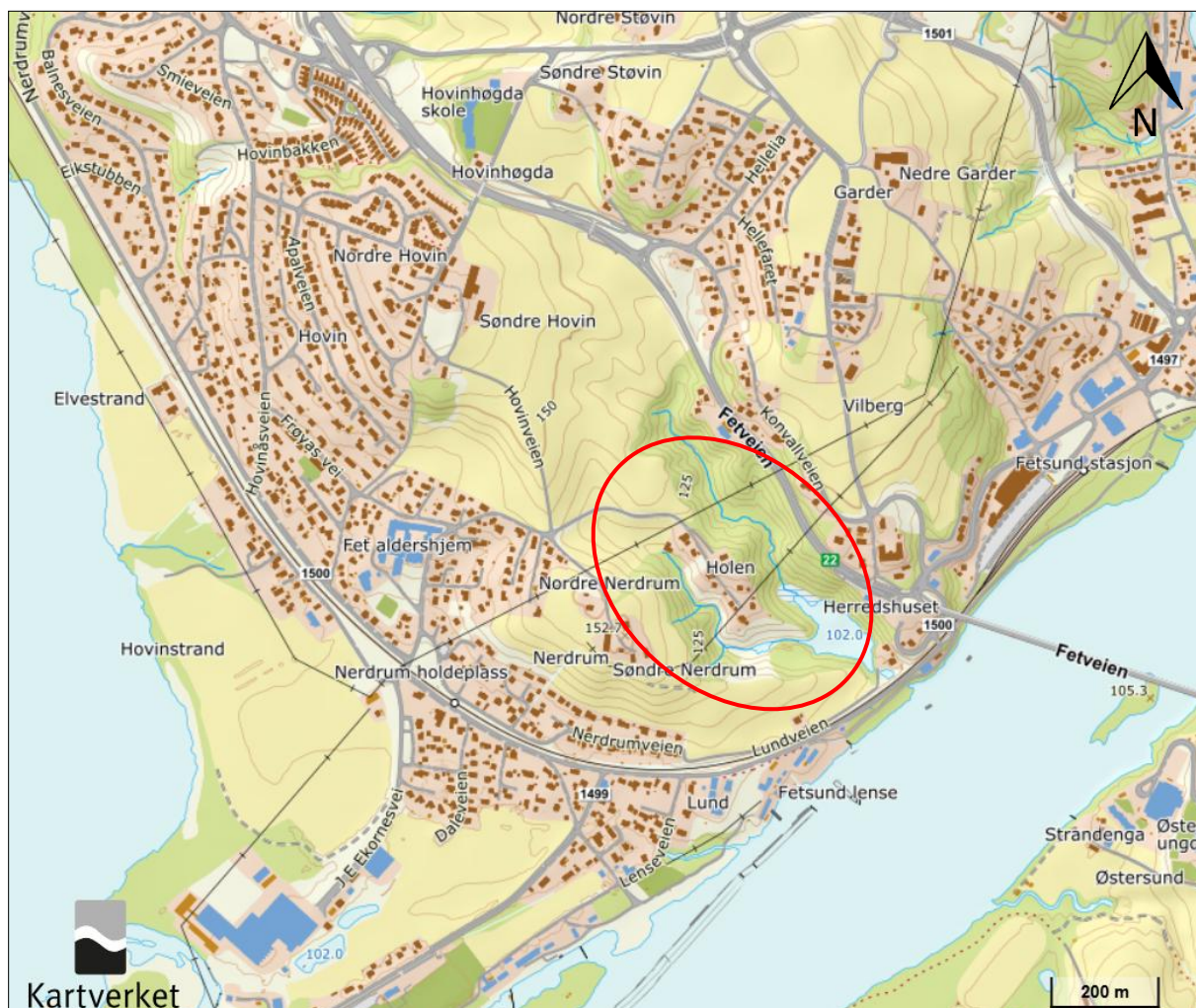
© Innhold fra rapporten kan kopieres delvis, men kilden skal nevnes

Innhold

1	Innledning	1
1.1	Stabiliserende tiltak i forbindelse med utbygging av Rv. 22 Kryssing av Glomma	2
1.2	Topografi	3
1.2.1	Tidligere skredaktivitet.....	5
1.3	Løsmasser/Kvartærgeologisk kart	6
1.4	Marine grense	7
1.5	Registrert kvikkleiresone	9
1.5.1	Ny soneavgrensning av 705 Holen	10
1.6	Flomsone	12
1.7	Grunnundersøkelser.....	13
1.7.1	Tidligere grunnundersøkelser	13
1.7.2	Utførte grunnundersøkelser.....	14
1.7.3	Poretrykksforhold.....	15
1.8	Befaring	18
1.9	Lagdeling og kritiske snitt	18
2	Områdestabilitet iht. NVEs veileder 1/2019	28
3	Stabilitetsberegninger.....	35
3.1	Beregningssnitt, materialparametere og laster	35
3.2	Beregningsresultater	40
3.2.1	Beregningsresultater – Sanddalen	40
3.2.2	Sikringstiltak i Sanddalen.....	41
3.3	Videre arbeid	43
4	Konklusjon.....	44
	Referanser	46

1 Innledning

Verkís er engasjert av Lillestrøm kommune for en geoteknisk områdestabilitetsvurdering i Fetsund. Det skal utføres en kvikkleireutredning som omfatter en eksisterende kvikkleiresone 705 Holen. Det aktuelle området er vist i Figur 1. Verkís har fått i oppdrag å utarbeide grunnleggende geoteknisk områdestabilitetsvurdering og supplerende grunnundersøkelser, og utføre en kvikkleireutredning i henhold til prosedyren beskrevet i NVEs kvikkleireveileder nr. 1/2019 [1] og NVE eksternrapport nr. 9/2020 [2].



Figur 1: Området for kvikkleireutredning i Fetsund i Lillestrøm kommune (Norgeskart.no) [3].

Foreliggende notat omhandler følgende:

- Beskrivelse av grunnforhold, topografi og løsmasser i tiltaksområdet
- Områdestabilitetsvurdering
- Kvikkleireutredning 705 Holen
- Anbefalinger for videre arbeid

Merk at kvikkleireutredning av 705 Holen er en del av områdestabilitetsvurderingen i området.

Tiltaksområdet består av en ravine daler med bratte, høye skråninger. Sørøst for området ligger elven Glomma og vest for området ligger Riksvei 22. Vest for tiltaksområdet ligger Holendalen og øst ligger Sanddalen. Sørøst for området ligger tjernet Fjellsevja.



Figur 2: Situasjonsskart over tiltaksområdet.

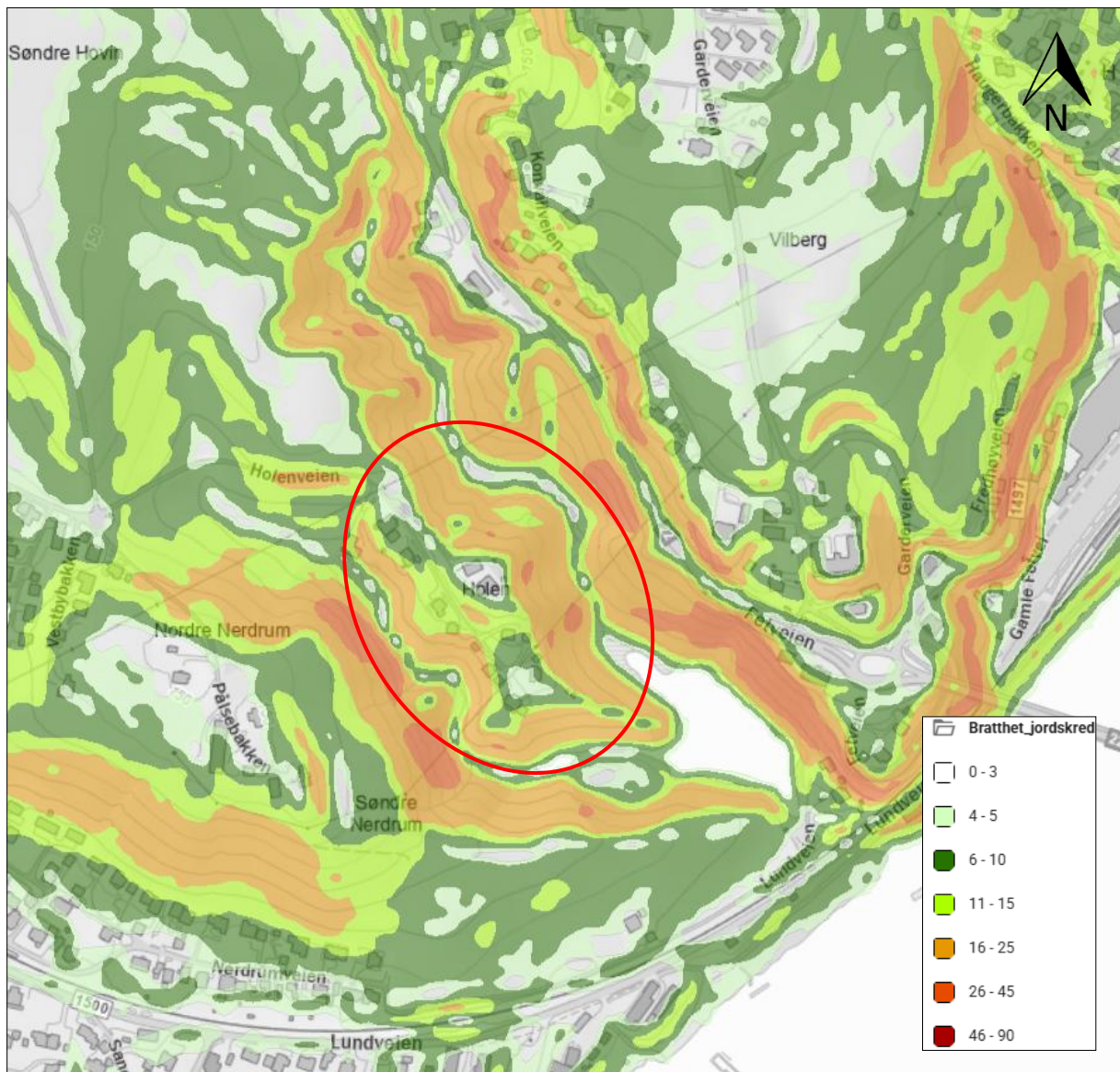
1.1 Stabiliserende tiltak i forbindelse med utbygging av Rv. 22 Kryssing av Glomma

I perioden 2022 – 2024 utførte Multiconsult en stabilitetsvurdering av kvikkleiresonen 705 Holen i forbindelse med ny rv. 22 mellom Garderveien og Kringenkrysset [4], som nevnt i kap. 1.5.1. Ved utbygging av Rv. 22 er det anbefalt å utføre stabiliserende tiltak ved Holendalen for å forbedre stabiliteten, se Figur 2. Multiconsult har vurdert at Sanddalen ikke påvirkes av utbyggingen av Rv. 22, og det er derfor ikke behov for å sikre eller forbedre stabiliteten i Sanddalen i forbindelse med vegutbyggingen.

Det presiseres at stabiliteten i Holendalen må ivaretas ved utbyggingen for Riksvei 22, samt vurdering av kvikkleireutredningen på tiltaksområdet Holen. Til tross for at tiltaksområdene til begge prosjektene overlappes, må ikke vurderingen utelukkes. Om vurderinger utelukkes, skal ansvar for vurderingene dokumenteres og bekreftes av det ansvarlige firmaet.

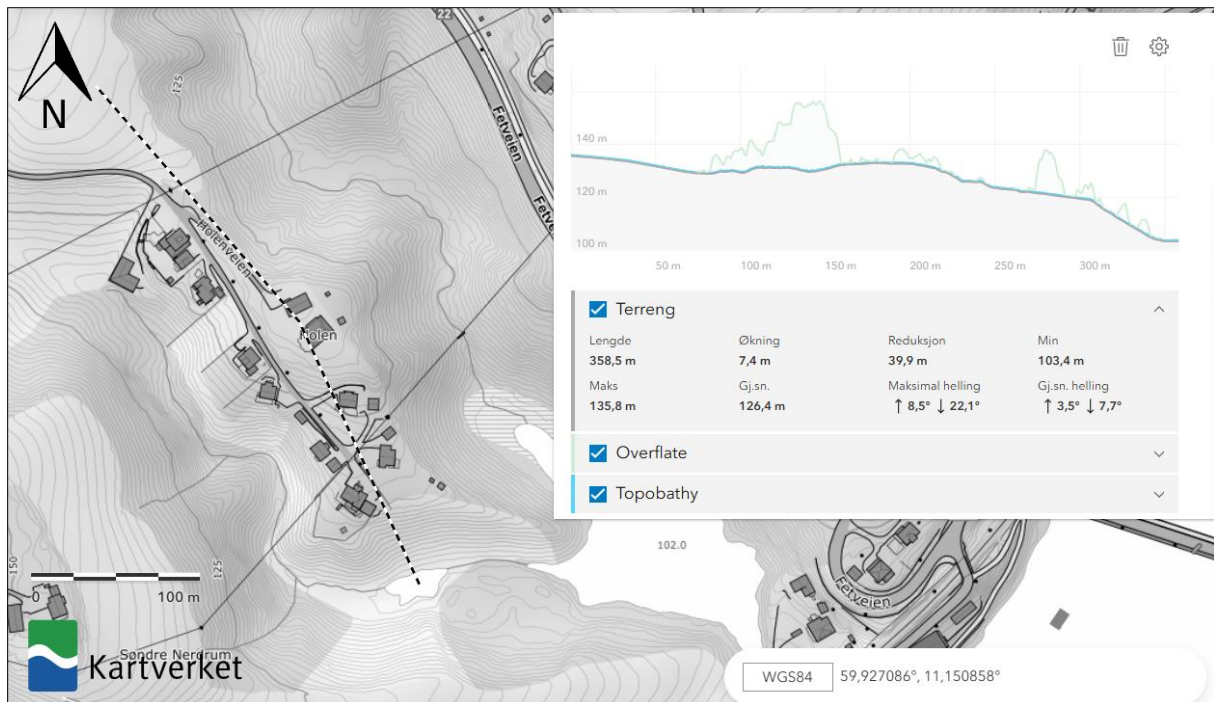
1.2 Topografi

Tiltaksområdet ligger i et typisk ravinelandskap og terrenget rundt tiltaksområdet består av bratte skråninger, se Figur 1. Skråningene i området varierer mellom 0 grader til opp mot 40 grader.



Figur 3: Bratthetskart hentet fra NVE Temakart som viser topografi [5].

Tiltaket ligger mellom kote +102 til kote +132, se Figur 4 og Figur 5. Merk at snittene fra høydedata ikke representerer virkeligheten, og at forholdet mellom x – og y-retning ikke er lik.



Figur 4: Topografi ved tiltaksområdet (høydedata.no) [2].



Figur 5: Topografi ved tiltaksområdet (høydedata.no) [2].

1.2.1 Tidligere skredaktivitet

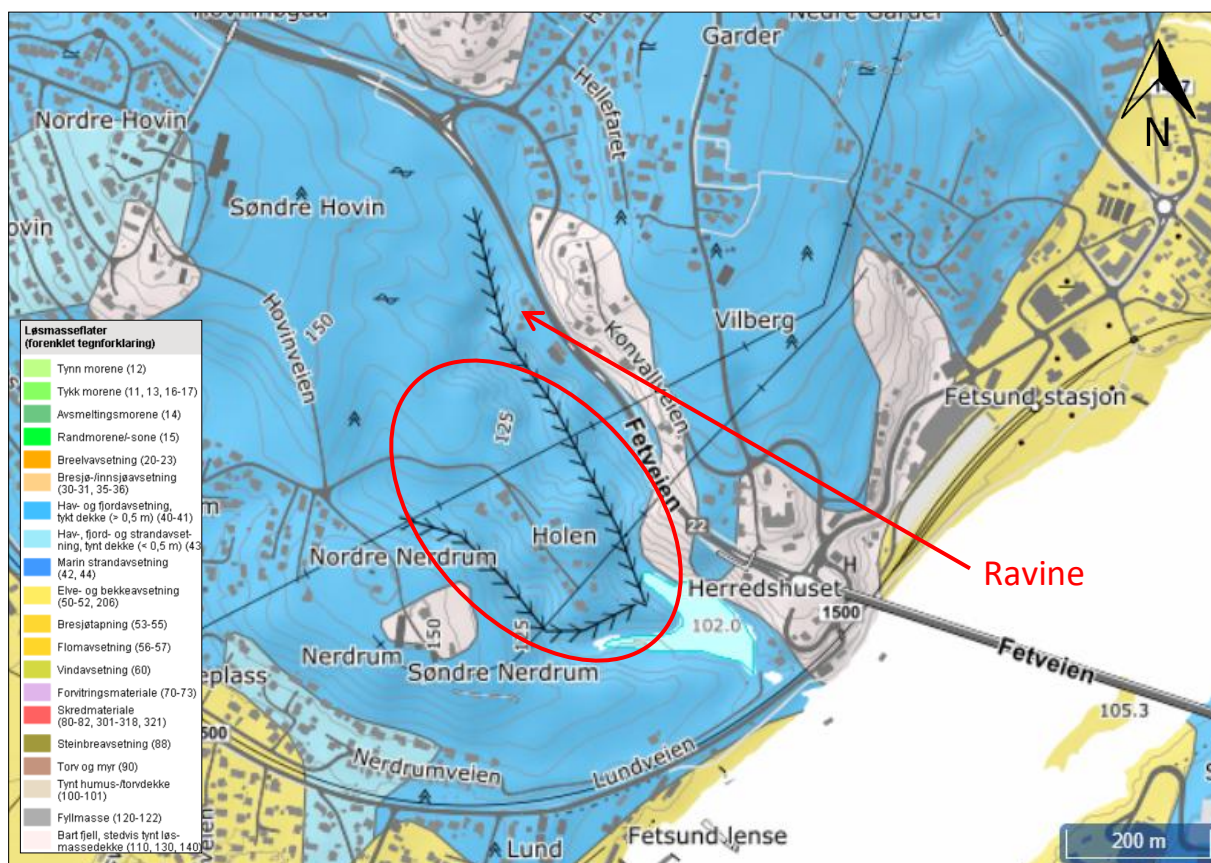
Ut fra høydedata er det antatt at det har gått et skred i område sør for tiltaksområder, se Figur 6. Topografien antyder et muligens skred som har gått tidligere basert på høydekoter rundt dette området som kan indikere løснеområde, og masser som kan indikerer utløpsområde. Skredformasjonen ligner et rotasjonsskred.



Figur 6: Muligens tidligere skredaktivitet [6].

1.3 Løsmasser/Kvartærgeologisk kart

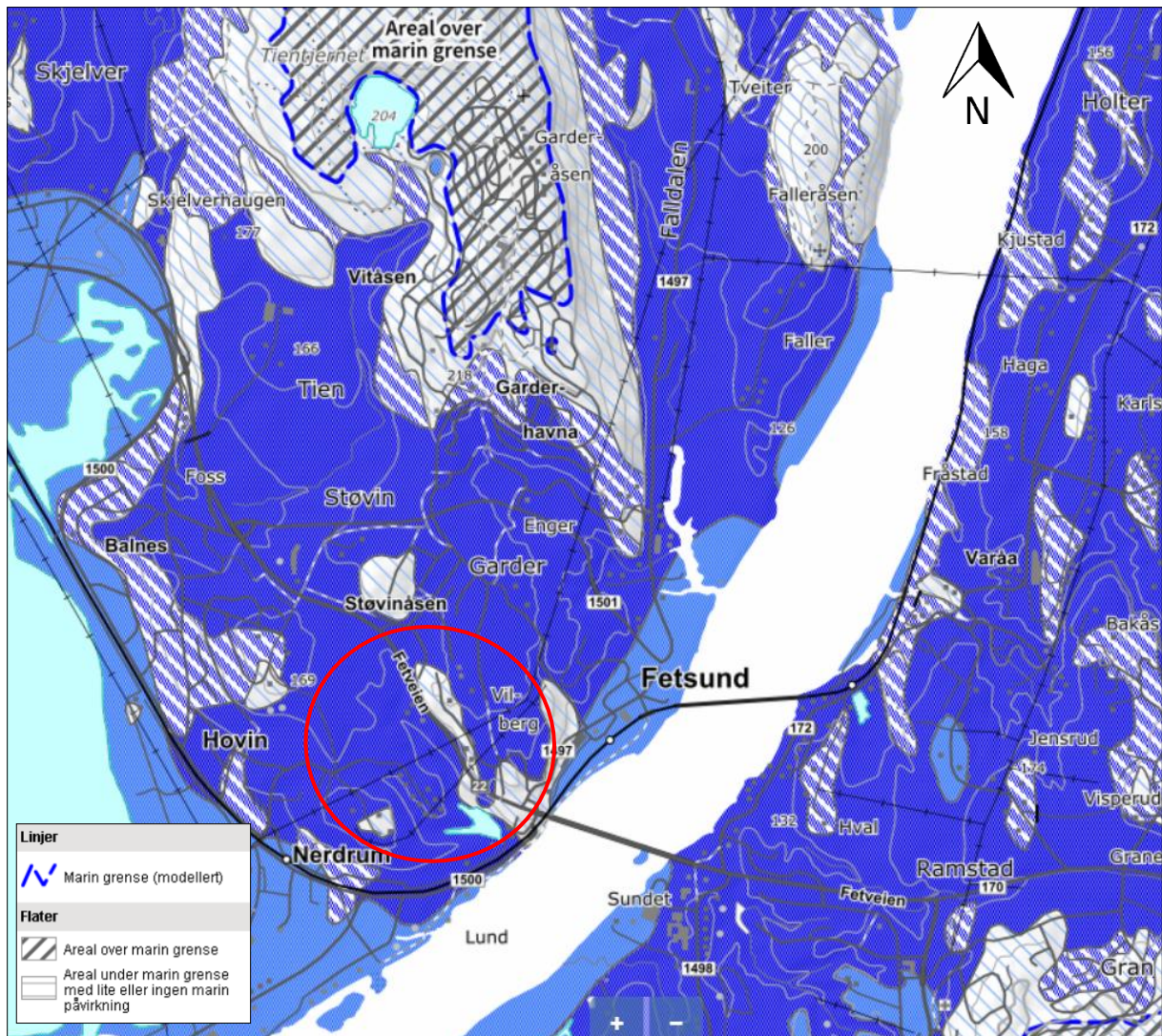
Kvartærgeologisk løsmassekart fra NGU indikerer at løsmassene i tiltaksområdet består av hav - og fjordavsetninger med sammenhengende dekke med stedvis stor mektighet. Nærliggende områder viser hav-, fjord- og strandavsetning i tynt dekke, samt elve- og bekkeavsetning. Enkelte områder rundt viser bart fjell. Svart linje definerer en ravine.



Figur 7. Løsmassekart fra NGU [7].

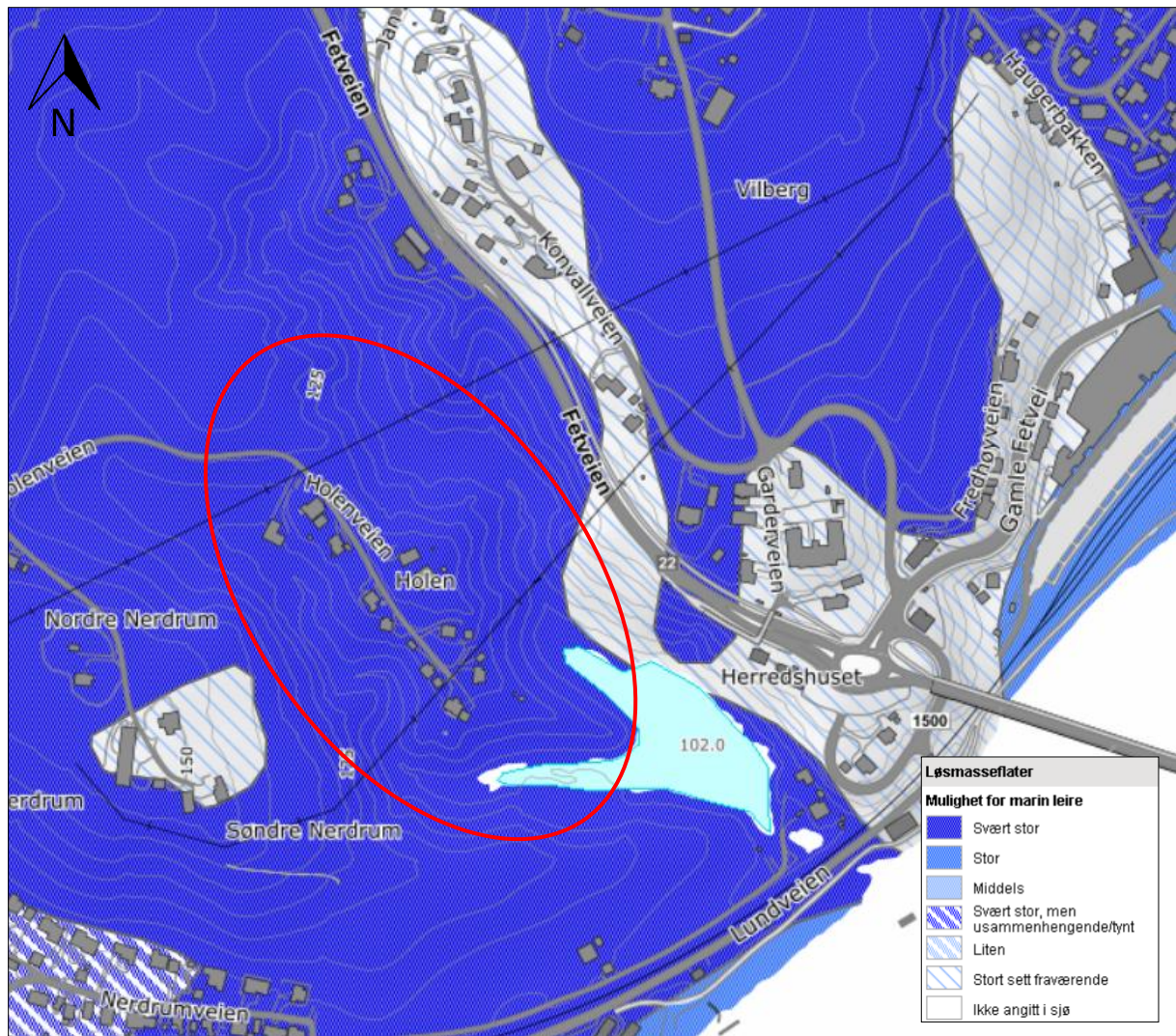
1.4 Marine grense

Tiltaksområdet ligger under marin grense, se Figur 8.



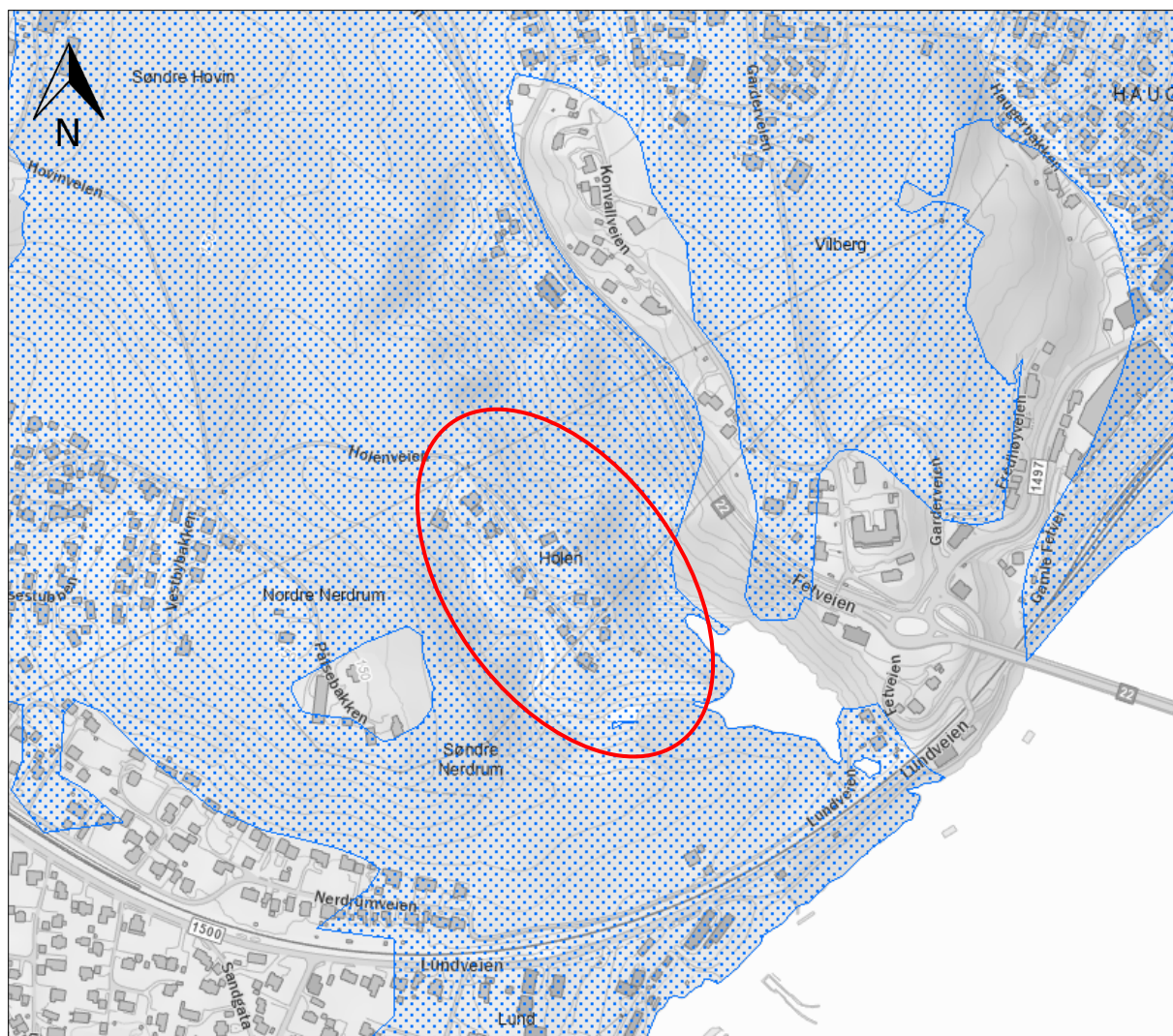
Figur 8: Kart over marin grense hentet fra NGU [7].

Figur 9 viser at tiltaksområdet har svært stor mulighet til marin leire.



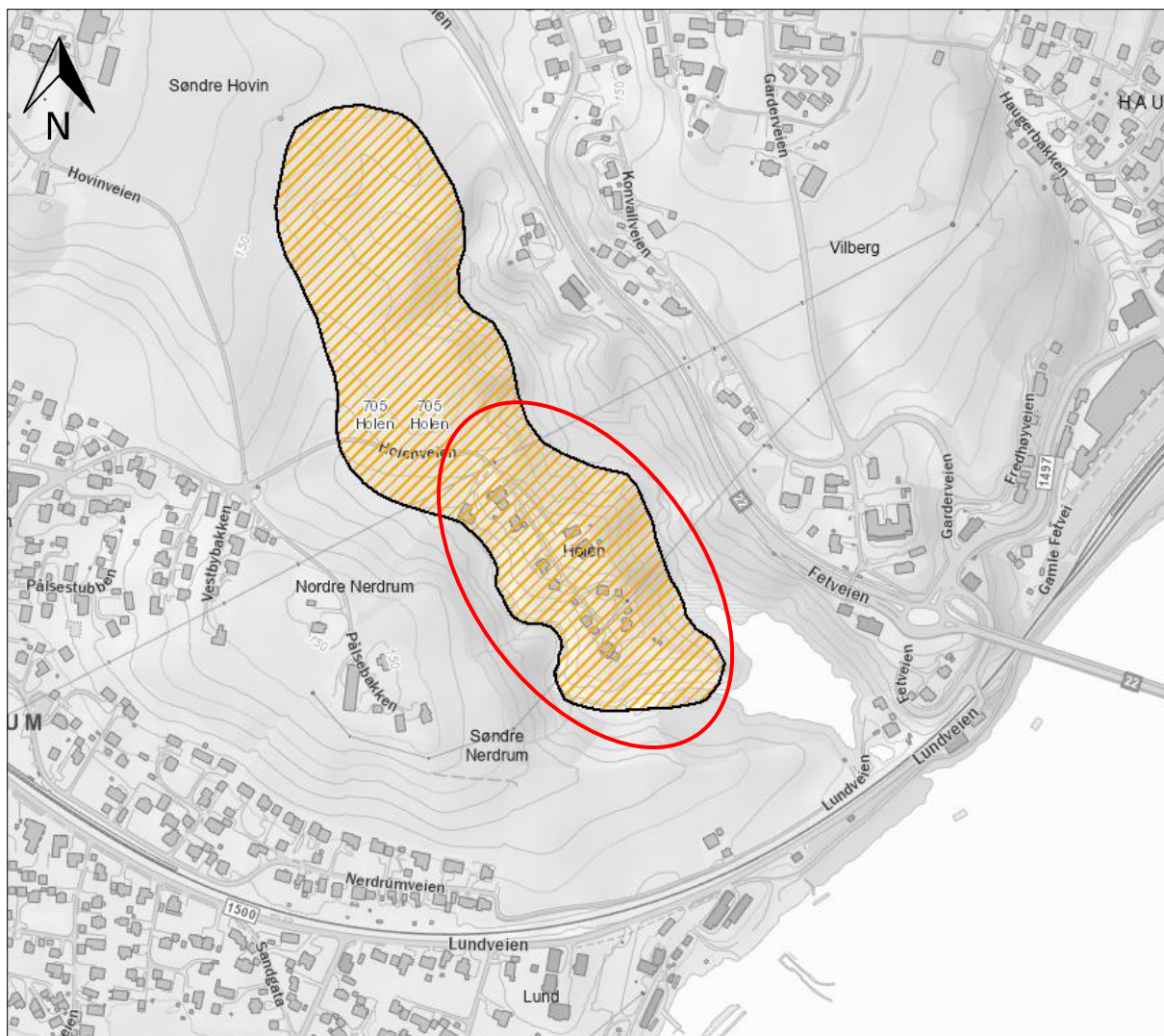
Figur 9: Kartet viser svært stor mulighet for marin leire hentet fra NGU [7].

Området ligger i et aktsomhetsområde for kvikkleireskred, se Figur 10.



Figur 10: Aktsomhetskart for kvikkleireskred hentet fra NVE Temakart [8].

Tiltaksområdet ligger i en eksisterende kvikkleiresone (705 Holen), se Figur 11. Kvikkleiresone nr. 705 «Holen» er en eksisterende faresone som ble opprettet i 2004 og sist oppdatert av NGI i 2015. Sonen er klassifisert med faregrad «Middels», konsekvensklasse «Alvorlig» og risikoklasse «3». Faresonens plassering, avgrensning og faregrad er vist i Figur 11.

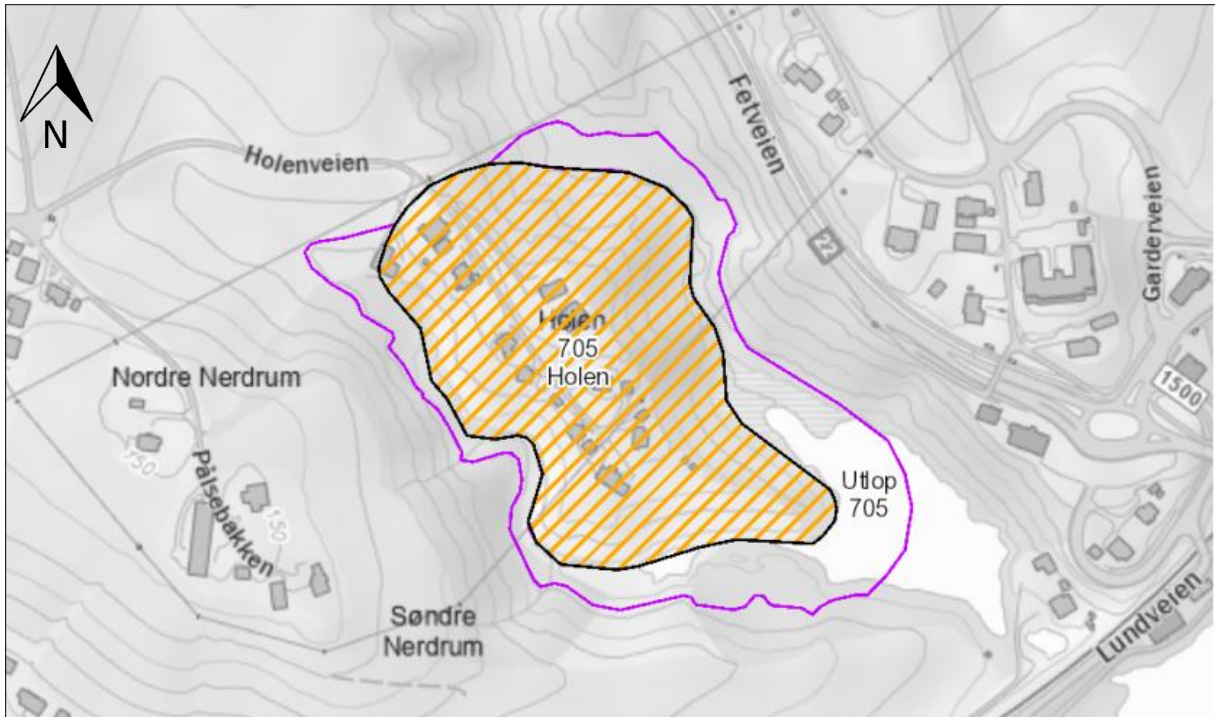


Figur 11: Tiltaksområdet ligger i en eksisterende kvikkleiresone, hentet fra NVE Temakart Kvikkleire [8].

1.5.1 Ny soneavgrensning av 705 Holen

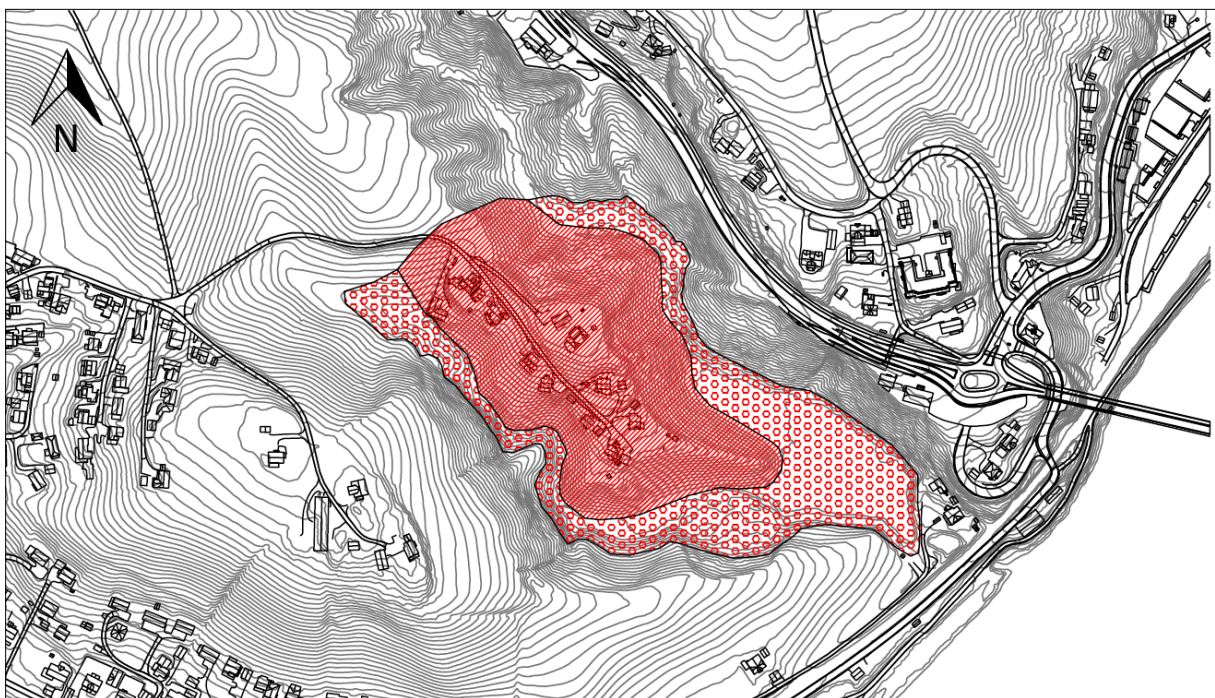
I perioden 2022 – 2024 utførte Multiconsult en faresoneutredning av kvikkleiresonen 705 Holen i forbindelse med ny rv. 22 mellom Garderveien og Kringenkrysset [4].

Multiconsult utarbeidet en stabilitetsvurdering på Holen og utredning av faresone nr. 705 Holen [9]. Utførte grunnundersøkelser i 2022 viser sammenhengende lag med kvikkleire i deler av Holen-området, og det er registrert noe erosjon samt overflateglidninger like ved eksisterende bebyggelse. Faresonens avgrensning mot nordøst er endret med bakgrunn i resultatet av nye grunnundersøkelser. Grunnundersøkelsene som ble utført rett nord for boligene i starten av Holenveien viser at det ikke ligger leire med sprøbruddegenskaper i grunnen. Vurderingen konkluderte med et nytt forslag om at sonen kan reduseres i størrelse og avgrenses nær eksisterende bebyggelse. Faresonens reviderte løснеområde er vist i Figur 12.



Figur 12: Ny soneavgrensning og utløpsområde sone nr. 705 Holen. Skravert område = løснеområde. Lilla linje = utløpsområde. Utarbeidet av Multiconsult [4].

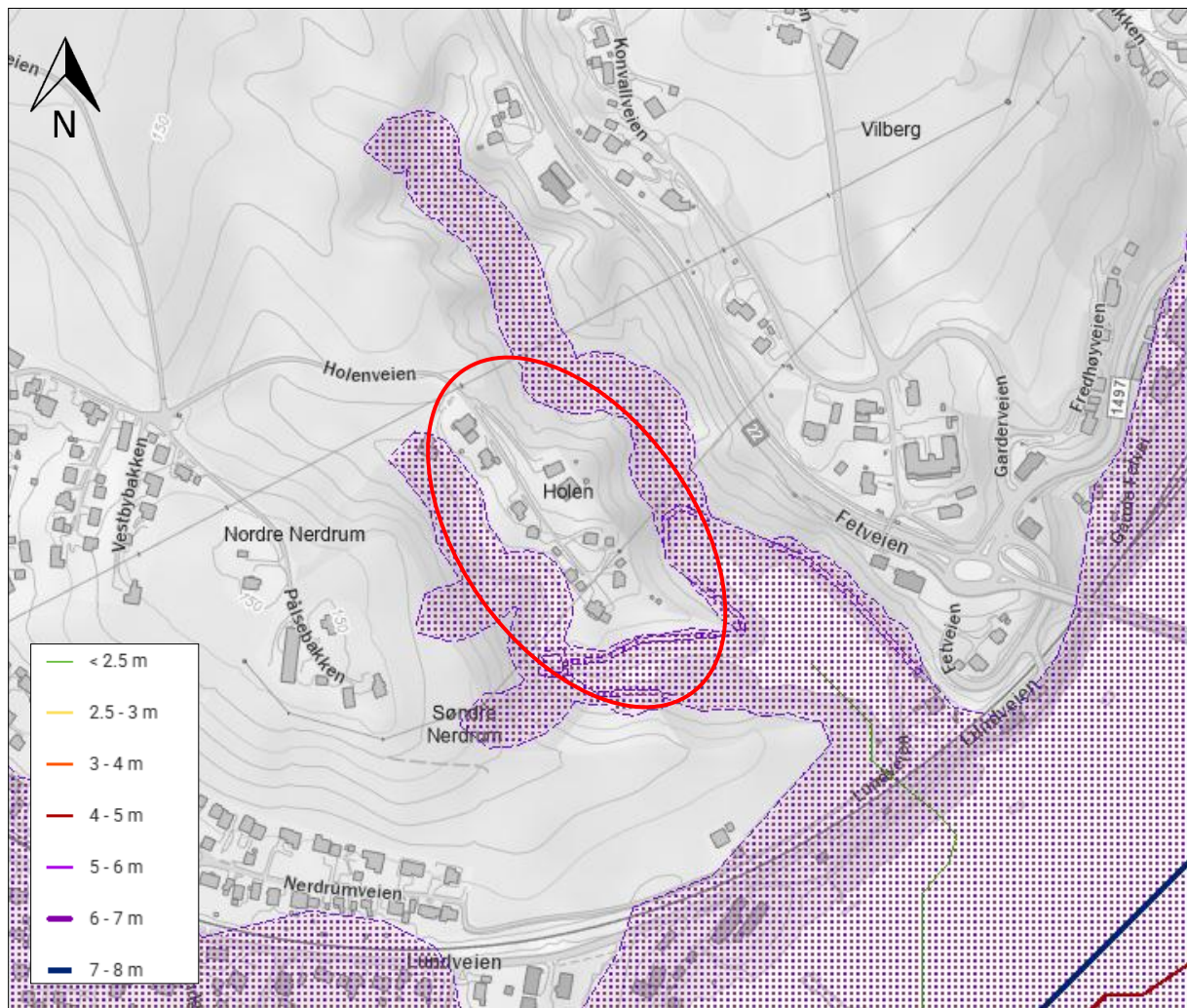
Merk at forslag til ny sone er per i dag ikke godkjent av NVE. Denne rapporten omhandler ny soneutredning vurdert av Verkis AS. Den nye sonen er basert på supplerende grunnundersøkelser utført av Verkis, og i Figur 13 er løснеområde og utløpsområde presentert. For mer detaljer rundt soneutredningen, se rapport for soneutredning [10]. Merk at utstrekning av utløpsområde er vurdert etter topografi og høydekurver, og at avgrensningen er en antagelse som gir en usikkerhet.



Figur 13: Ny soneutredning av 705 Holen, utarbeidet av Verkis AS. Rødt område med linjer viser løснеområde og rødt område med sirkler viser utløpsområde [10].

1.6 Flomsone

Området ligger i aktsomhetsområde for flom med innenfor maks vannstigning < 2,5 m. Dette inntreffer i Holendalen, Sanddalen og Fjellsevja.



Figur 14: Aktsomhetskart for flom som viser maks vannstigning <2,5 m for Holen [8].



1.7 Grunnundersøkelser

Alle tilgjengelige grunnundersøkelser i og rundt Holen-området er vist på borplanen i Vedlegg 1. Boringer der det er påvist kvikkleire/sprøbruddmateriale, eller hvor det er tolket kvikkleire/sprøbruddmateriale med høy sannsynlighetsgrad, er vist med rød farge. Boringer med mulig forekomst av kvikkleire er vist med oransje farge. Boringer med grønn farge angir punkt hvor det er påvist at det ikke er kvikkleire, eller hvor det høyst sannsynlig ikke ligger kvikkleire/sprøbruddmateriale. Usikre boringer er ikke klassifisert iht. fargekodene. Det kan være pga. at sonderingen er avsluttet for grunt eller at den har stoppet i fast lag, o.l.

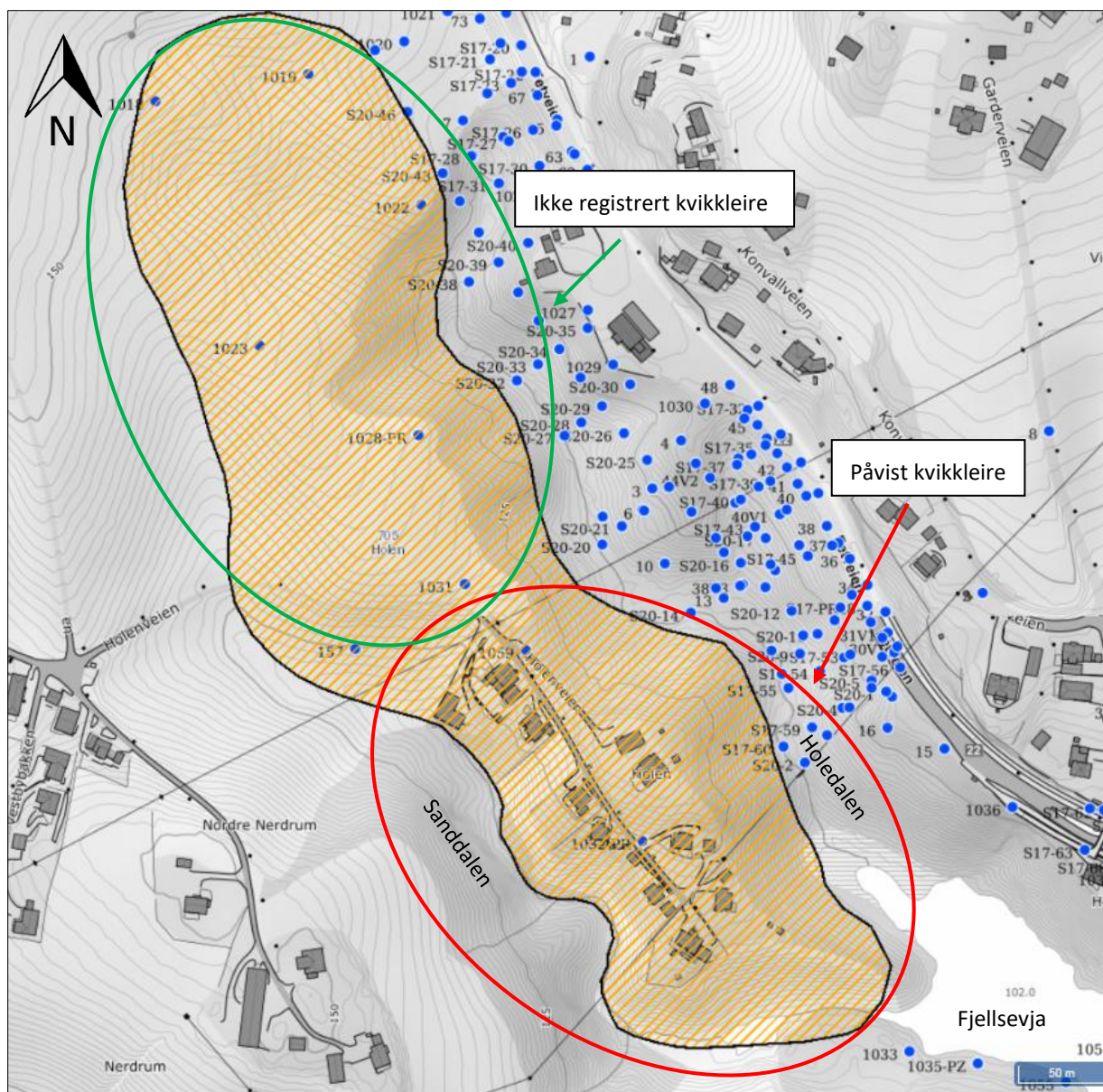
1.7.1 Tidligere grunnundersøkelser

Oversikt over relevante grunnundersøkelser og geotekniske vurderinger i området er oppsummert i Tabell 1. Flere aktører har over mange år utført grunnundersøkelser langs strekningen Garderveien – Kringenkrysset. Alle disse er hentet fra den nasjonale databasen for grunnundersøkelser (NADAG) [11].

Multiconsult har utført en rekke grunnundersøkelser i området i forbindelse med ny rv. 22 mellom Garderveien og Kringenkrysset [12]. Løsmassene består hovedsakelig av leire. Det er påvist kvikkleire og sprøbruddmateriale 16,5-17 m under Holenveien. Kvikkleire er også påvist på sørsiden av Fjellsevja, fra 6 m under terreng. Like vest for borpunktet hvor det er påvist kvikkleire i Fjellsevja, ligger massene fra et skred som gikk i 1999, se Figur 6. Det er ikke påvist kvikkleire i borpunktene i og rundt skredgropa, se rapport nr. 100030-1 [13] og nr. 110563-1 [14]. Grunnundersøkelsene som ble utført rett nord for boligene i starten av Holenveien viser at det ikke ligger leire med sprøbruddegenskaper i grunnen.

Tabell 1: Oversikt over relevante grunnundersøkelser og geotekniske vurderinger i området.

Rapportnr.	Navn	Utført av	Dato
c-128	Rv.3 Fetsund-Vinsnes, alt IV (over Hovinhøgda)	Statens vegvesen	1962
C-488A	RC. 22, parsell Winsnes-Fetsund	Statens vegvesen	1972
C-637C	Rv. 22 Winsnes-Fetsund	Statens vegvesen	1981
107695	Rv 22 kryssing av Glomma	Statens vegvesen	2016
100030-1	Jordras Sanddalen. Grunnundersøkelser. Geoteknisk vurdering	Multiconsult	26.01.2000
110563-1	Jordras Sandsdalen. Grunnundersøkelser datarapport	Multiconsult	02.12.2003
10227544-01-RIG-NOT-008	Rv. 22 Kryssing av Glomma, Garderveien - Kringenkrysset. Stabilitet Holen	Multiconsult	15.11.2022
10227544-01-RIG-RAP-002	Rv. 22 Kryssing av Glomma, Garderveien - Kringenkrysset. Datarapport – Geotekniske grunnundersøkelser	Multiconsult	17.11.2022
10227544-01-RIG-NOT-003	Rv. 22 Kryssing av Glomma, Garderveien - Kringenkrysset. Geoteknisk befaring – Holen-området	Multiconsult	24.11.2022
10227544-01-RIG-RAP-003	Rv. 22 Kryssing av Glomma, Garderveien - Kringenkrysset. Geoteknisk vurderingsrapport reguleringsplan, delstrekning Garderveien-Kulturkvartalet	Multiconsult	02.02.2024



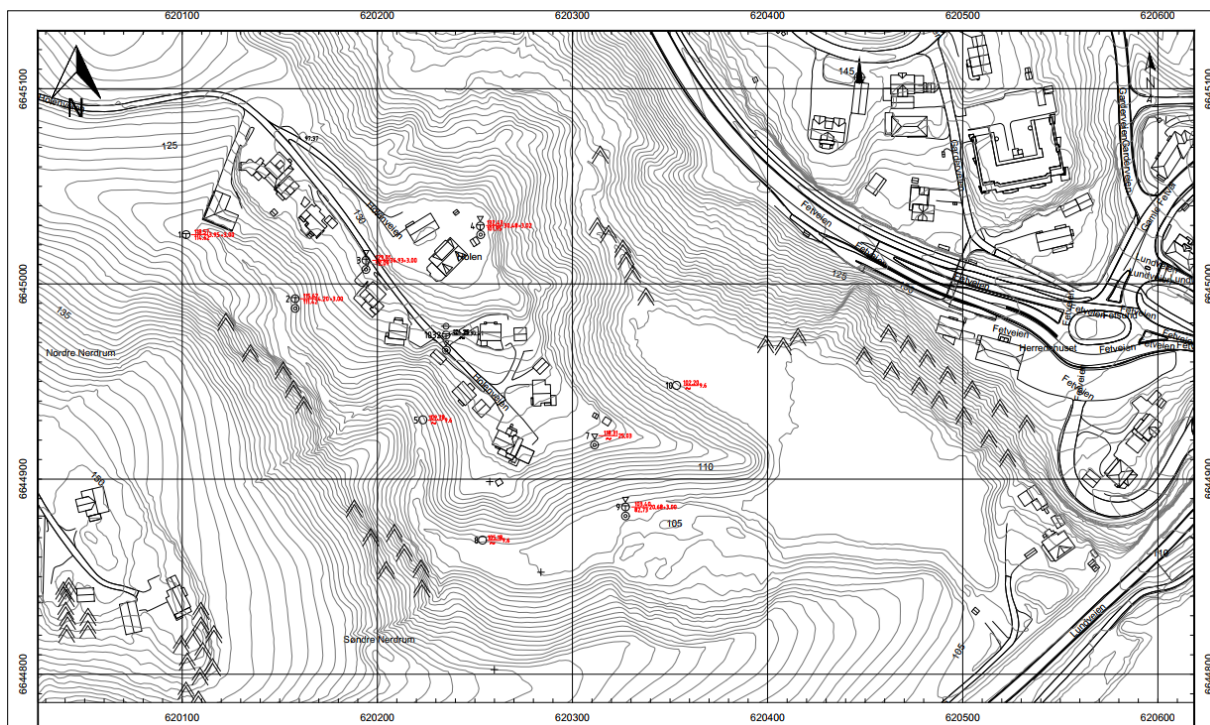
Figur 15. Kart over tidligere grunnundersøkelser er hentet fra NADAG [11]. Rød sirkel viser områder hvor det er påvist kvikkleire og områder med grønn sirkel hvor det ikke er påvist kvikkleire.

1.7.2 Utførte grunnundersøkelser

Romerike Grunnboring utførte våren 2025 grunnundersøkelser for kvikkleireutredningen 705 Hølen, se Figur 16. Resultatene fra de geotekniske grunnundersøkelsene er presentert i datarapporten 24164001-RIG-RAP-001 [15].

Borplan viser totalt 5 totalsonderinger, 3 enkle sonderinger, 4 CPTu/trykksonderinger og 28 sylinderprøver, samt utført avlesning av eksisterende piezometer. Det er boret ned til dybder mellom 4 m og 37 m. Grunne dybder er nord for tiltaksområdet og i bunn av ravedalen. De store dybdene gjelder generelt for plataået. Enkelte områder er det boret til/i berg, mens andre områder er boret til 25 m uten å treffe berg. Grunnundersøkelsene indikerer generelt store dybder med leire, hvor det generelt er siltig leire øverste del og sprøbruddmateriale/kvikkleire nedre del. De viser også variasjon mellom bløt leire og middels fast leire i enkelte dybder. Øvre 1-2 m lag viser typisk tørrskorpeleire. Sonderingene viser lignende antydninger til store dybder med kvikkleire/sprøbruddmateriale som

tidligere grunnundersøkelser i området. Det er tatt prøver i bropunkt 2, 3, 4, 7 og 9, og det er påvist sprøbruddmateriale eller kvikkleire i alle borpunktene unntatt bopunkt 2. Det er påvist sprøbruddmateriale/kvikkleire i flere dybder ved borpunktene, som antyder stor tykkelse og sammenhengende lag av sprøbruddmateriale/kvikkleire. Berg i dagen er markert i borplan.



Figur 16: Borplan over utførte grunnundersøkelser [15].

Det ble utført begrensende grunnundersøkelser i skråningene mot tjerna Fjellsevja. Dette var på grunn av krevende tilkomst for borerigg, og det var derfor ikke mulig å ta annet et enkle sonderinger i dette området. Området ved Fjellsevja vurderes som kritisk da på grunn av mulig erosjon, varierende grunnvannstand og dybde til bunn. Dette er faktorer som kan påvirke stabiliteten og har stor betydning for stabilitetsberegning. Det er i neste fase anbefalt å prioritere supplerende grunnundersøkelser i dette området. Det presiseres at vurderingene i denne rapporten er basert på antagelser for Fjellsevja, og at det vil være en stor usikkerhet i beregningene.

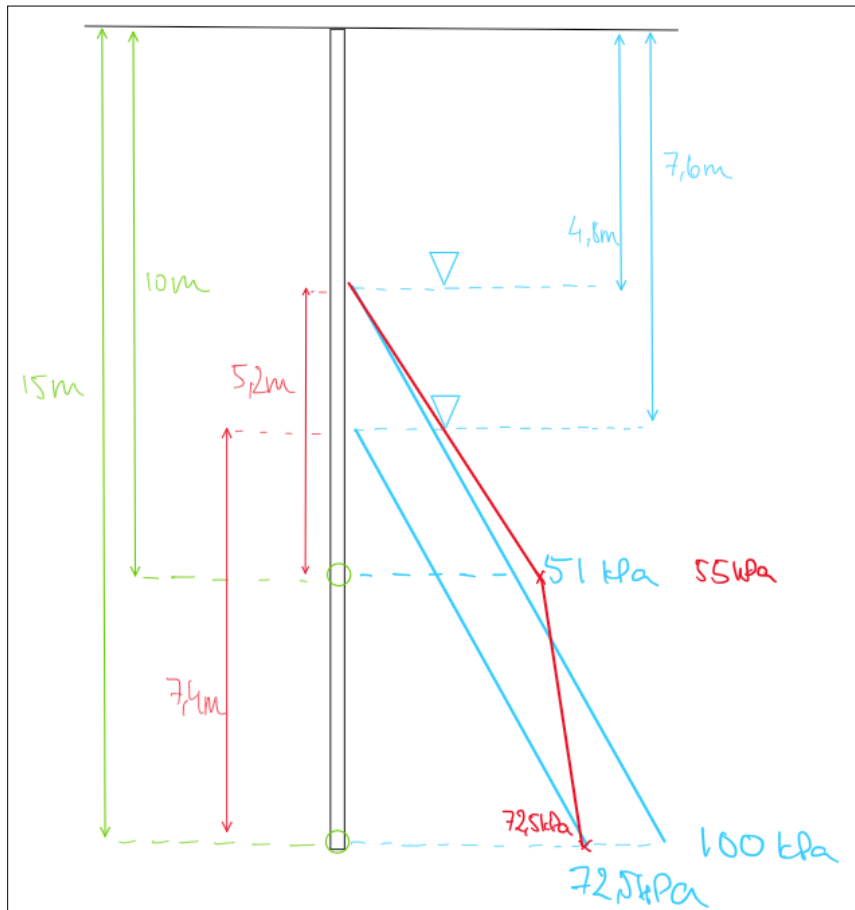
1.7.3 Poretrykksforhold

Poretrykksforholdet er forholdet mellom nåværende poretrykk og hydrostatisk vanntrykk. Hvis poretrykket er høyere enn hydrostatisk er det poreovertrykk, og hvis poretrykket er lavere enn hydrostatisk er det poreundertrykk. Hydrostatisk poretrykk defineres ved vannets egenvekt og vannsøylens dybde.

Det er tatt poretrykksmålinger i 10 m og 15 m dybde, ved terrengkote er +124,4. Grunnvannskote på +119,6 ved 10 m dybde gir 4,8 m under terreng og +116,8 ved 15 m dybde gir 7,6 m under terreng. Dette gir vannsøyle på 5,2 m (10 m – 4,8 m) for 10 m dybde og vannsøyle på 7,4 m (15 m – 7,6 m) for 15 m dybde. Forventet hydrostatisk poretrykk for 10 m og 15 m dybde:

- $u_{\text{hydrostatisk}} = \gamma_w \cdot h_{10\text{m}} = 9,81 \text{ kN/m}^3 \cdot 5,2 \text{ m} \approx 51,0 \text{ kPa}$
- $u_{\text{hydrostatisk}} = \gamma_w \cdot h_{15\text{m}} = 9,81 \text{ kN/m}^3 \cdot 7,4 \text{ m} \approx 72,5 \text{ kPa}$

Det er utført avlesning av poretrykket ved 10 m dybde og 15 m dybde som viser henholdsvis 55,05 kPa og 72,42 kPa. Det betyr at ved 10 m dybde er det målt poretrykk som viser litt større enn forventet poretrykk på ca. 4 kPa (55,05 kPa – 51,0 kPa) som betyr et lite poreovertrykk, gitt grunnvannstand 4,8 m under terreng. Ved 15 m dybde viser målt poretrykk lik forventet poretrykk for som betyr hydrostatisk balanse, gitt grunnvannstand 7,4 m under terreng. Det forutsettes at grunnvannstand er vurdert som det høyeste målte verdier, antas det at grunnvannstanden er 4,8 m under terreng. Basert på dette konkluderes det med at målt verdi ved 10 m dybde viser hydrostatisk/lite poreovertrykk og ved 15 m dybde viser det poreundertrykk på 27,5 kPa (100 kPa – 72,5 kPa).



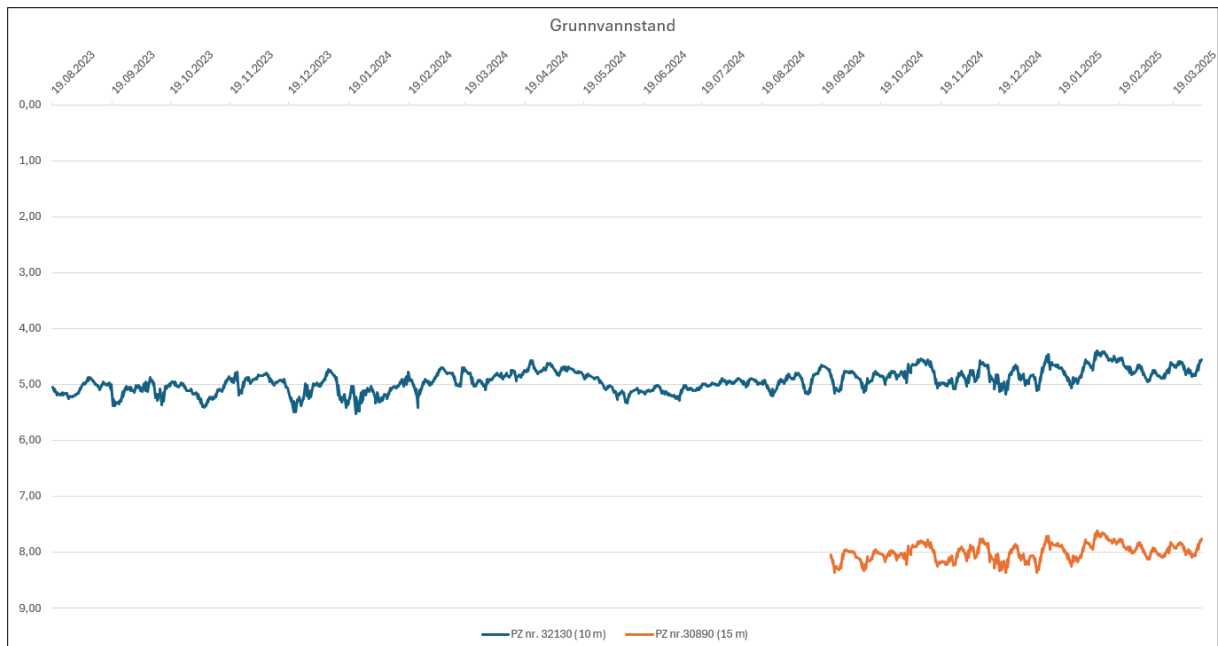
Figur 17: Poretrykk ved piezometermålingene ved dybde 10 m og 15 m.

Se Tabell 2 for oppsummering og Figur 18 for grunnvannsmålinger over tid.

Tabell 2: Poretrykksmåling ved borpunkt 1032.

Borhull	Kote terreng	Dybde spiss, m	Løsmasser ved pz-spiss	Grunnvann snivå fra poretrykk, kote*	Dybde til grunnvann snivå, m	Effektiv vannsøyle, m	Hydrostatisk poretrykk, kPa *	Høyeste avleste poretrykk, kPa	Resultat
1032	+124,4	10	Leire	+119,6	4,8	5,2	51,0	55,05	Lite overtrykk/hydrostatisk poretrykk
		15	Leire, siltig	+116,8	7,6	7,4	100,0	72,42	Poreundertrykk

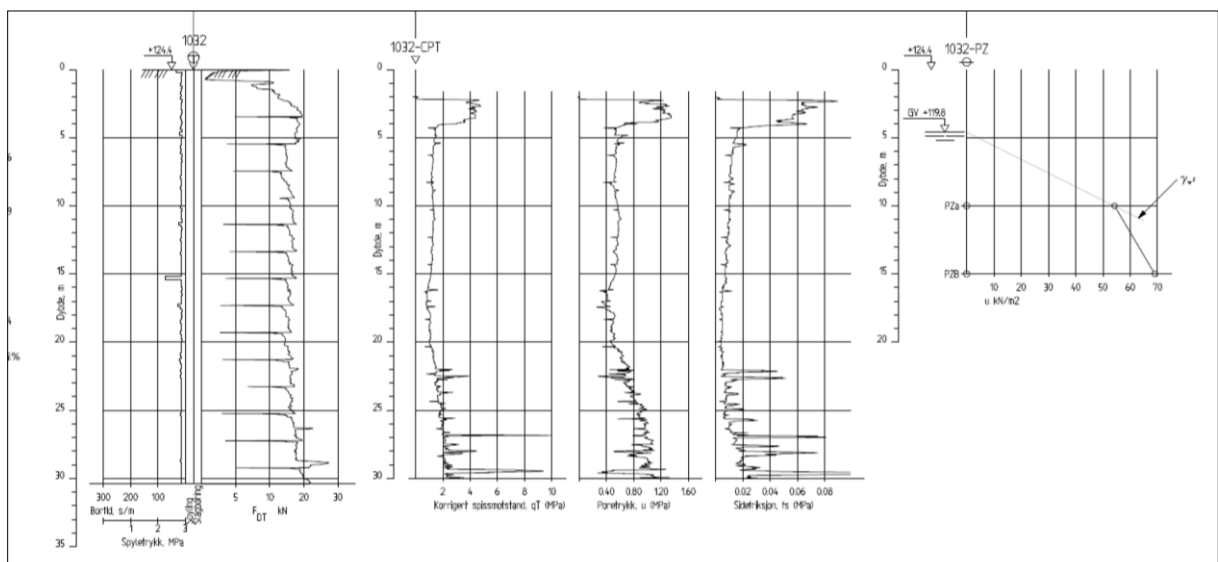
* Forventet hydrostatisk poretrykksfordeling med dybden



Figur 18: Grunnvannsmålinger av piezometer nr. 32130 og 30890 i perioden august 2023 og april 2025.

Resultater fra Figur 18 er basert på elektroniske poretrykksmålinger over tid på 10 m dybde og 15 m dybde. Grunnvannstand på ca. 5 m dybde for blå linje som representerer målinger i 10 m dybde, og grunnvannstand på 8 m dybde for oransje linje som representerer målinger i 15 m dybde.

Lagdelingen i dette punktet, se totalsondering fra tidligere grunnundersøkelser [14], viser 2 m tørrskorpeleire, deretter store dybder med homogent leirlag. Fra 20 m dybde og nedover viser det noe grovere masser med varierende motstand hvor det er økende spissmostand, poretrykket og sidefriksjon. Det antas at det er mer drenerende masser som silt, og at det kan være årsaken til redusert poretrykk ved målepunkt i 15 m dybde.



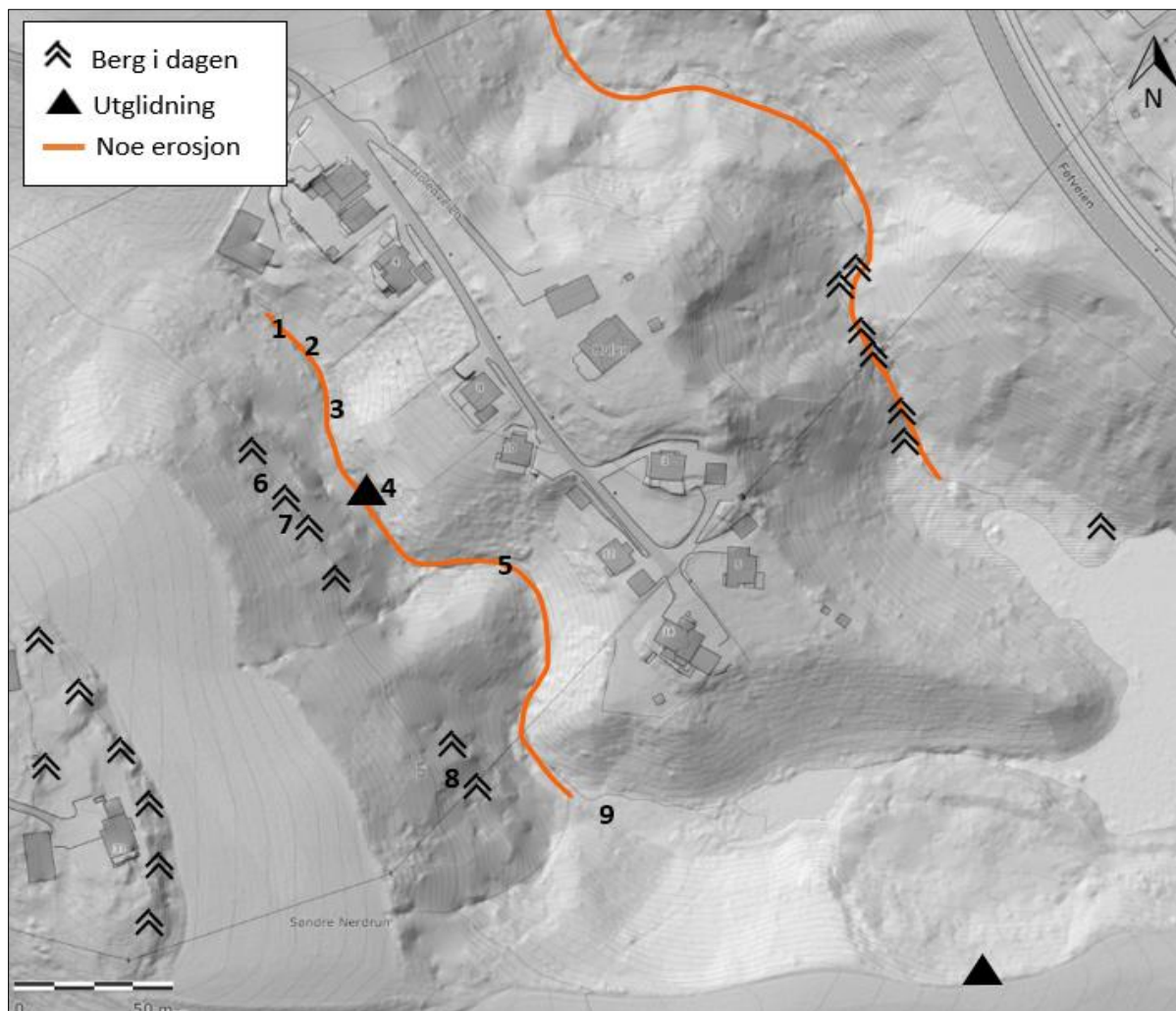
Figur 19: Totalsondering CPTu/trykksondering og poretrykksmåling er hentet fra tidligere grunnundersøkelser utført av Multiconsult [14].

Merk at grunnvannstand er konservativt vurdert og brukt i stabilitetsberegninger som hydrostatisk og ved 2 m dybde, mellom tørrskorpe og leirlag.

Det anbefales i neste fase å ta flere poretrykksmålere.

1.8 Befaring

Det har vært gjennomført befaring i to omganger, 31. oktober 2024 og 10. april 2025. Det ble lagt vekt på å undersøke erosjonsforhold, berg i dagen, terrengendringer og andre faktorer som kan tyde på ustabilitet eller spille en vesentlig rolle i stabilitetssammenheng eller ved skredforløp. Observasjoner fra befaring er lagt til grunn for borplan, kritiske snitt og mulige løснеområder. Befaringsobservasjoner er vist i Figur 20 og dokumentert i eget notat, 24164001-RIG-NOT-01 [16]. Notat er lagt ved som Vedlegg 2.

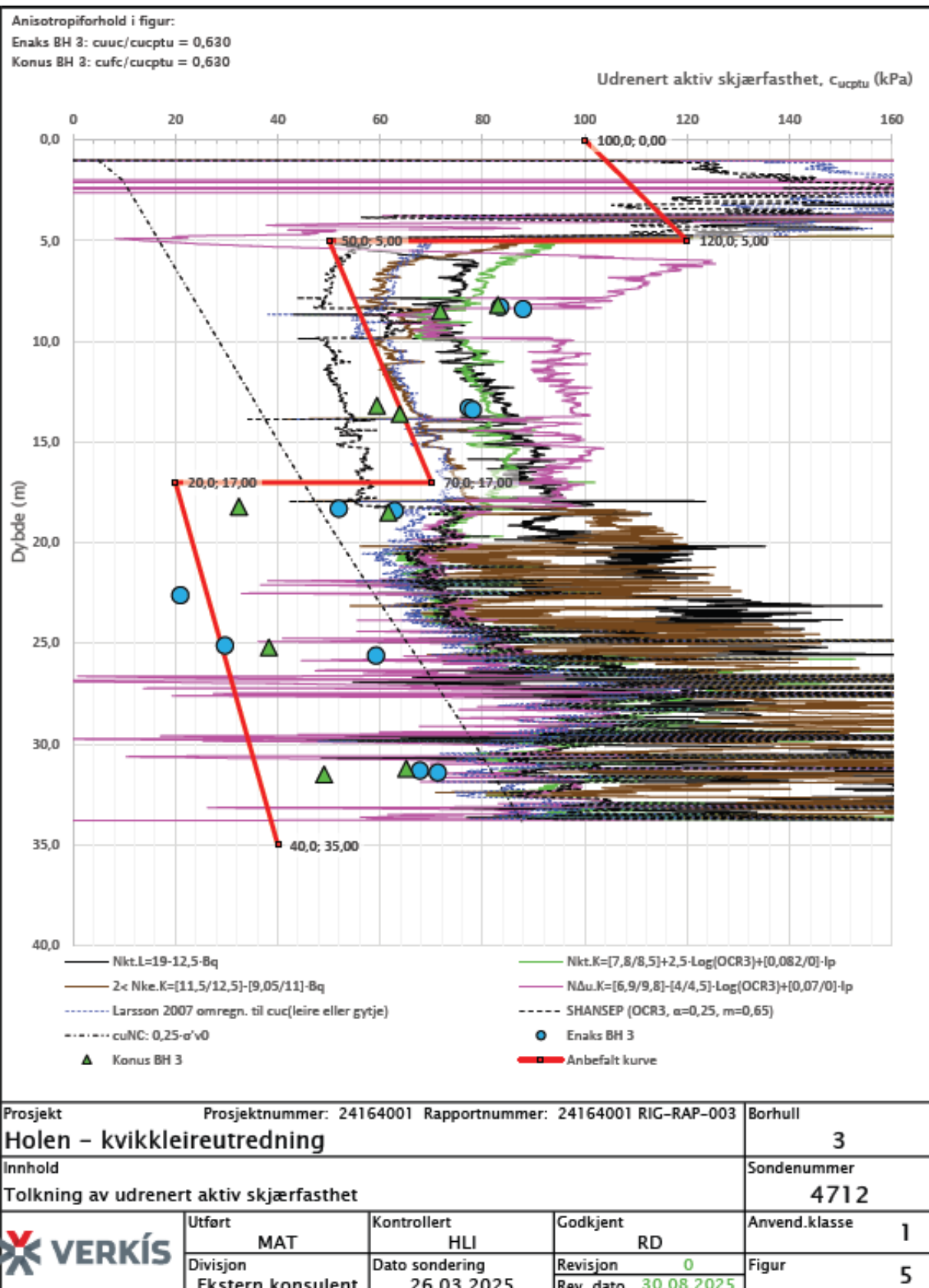


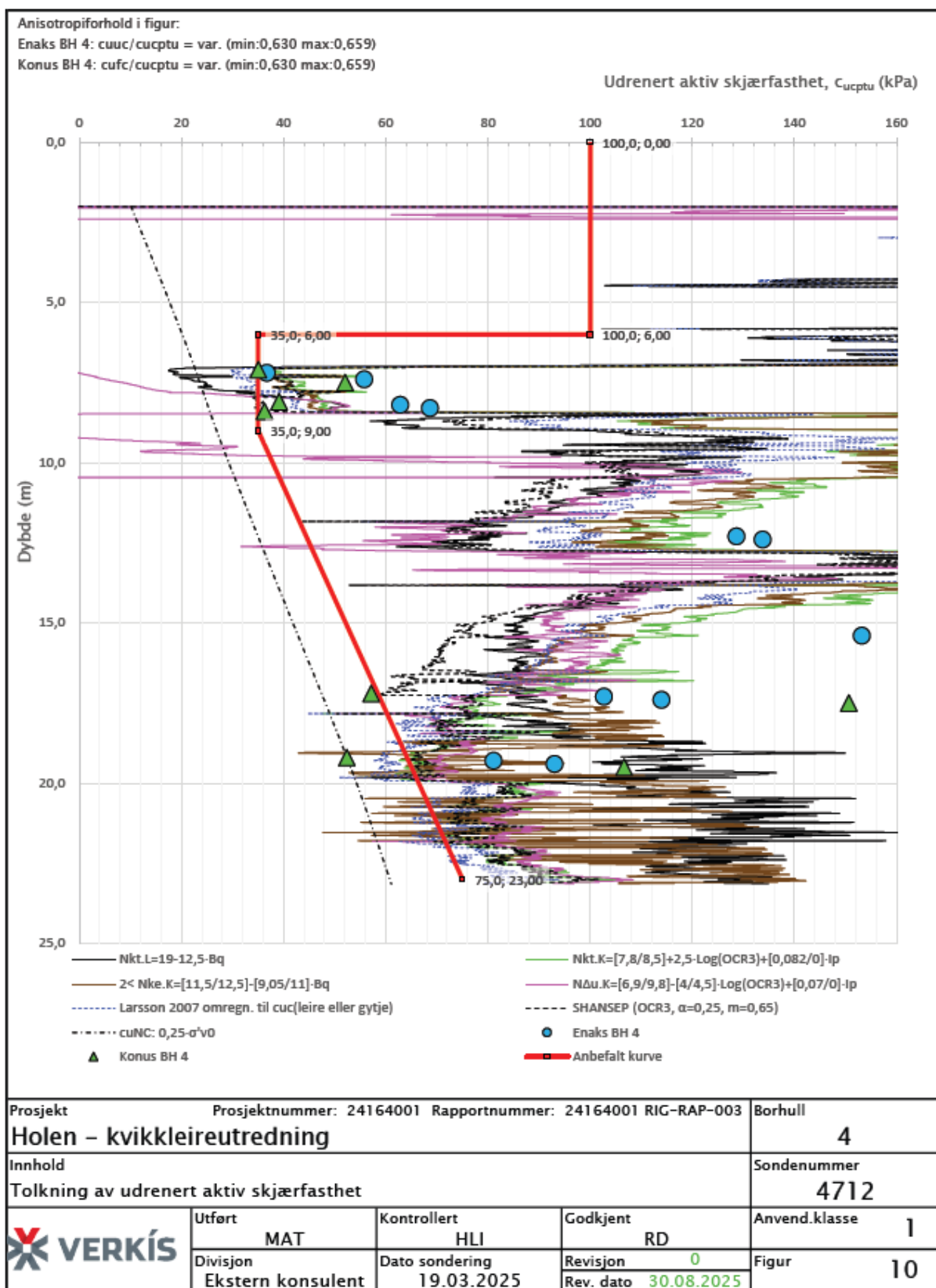
Figur 20: Befaringskart med bildepunkter. Hentet fra befarringsnotatet [16].

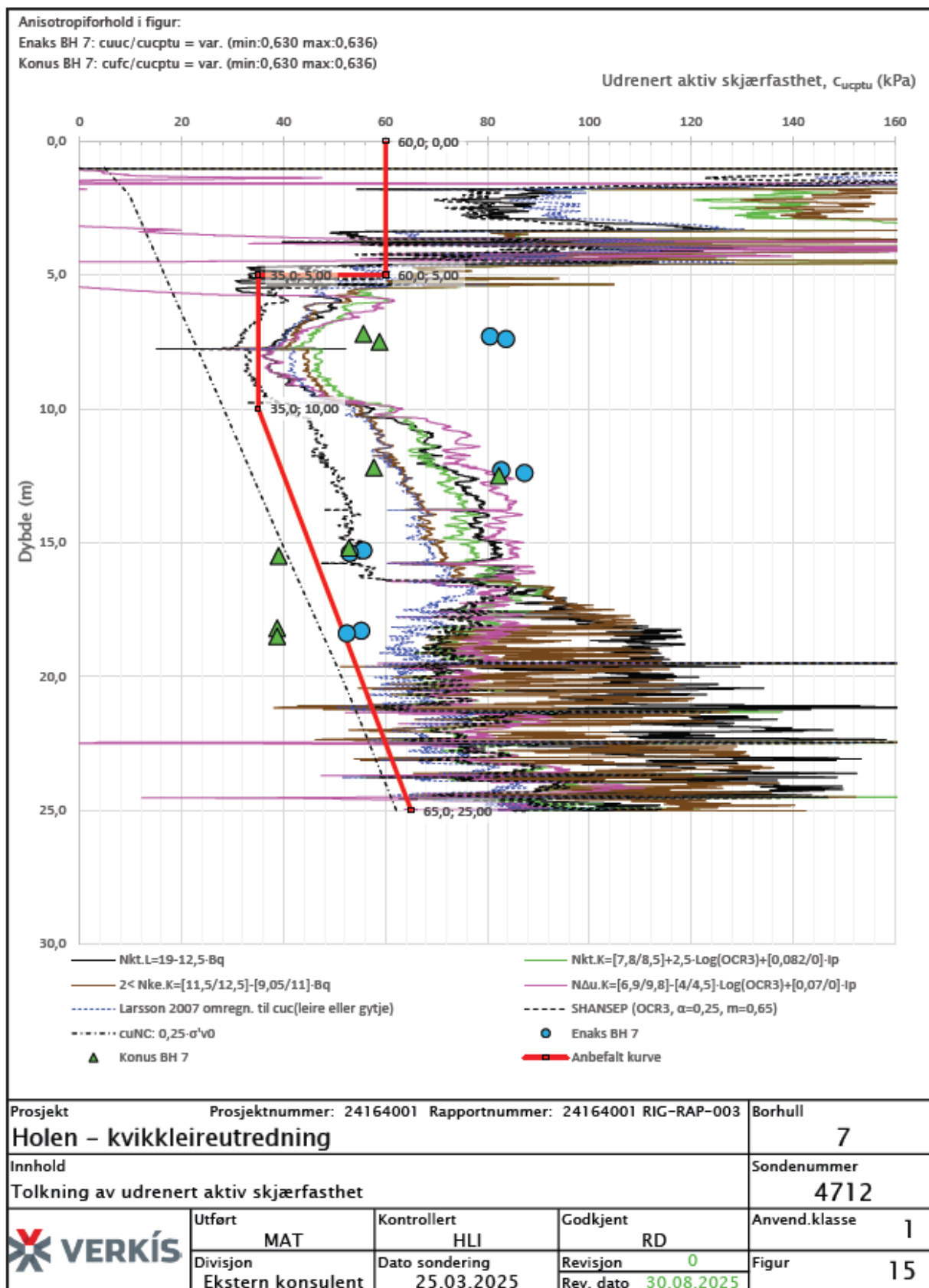
1.9 Lagdeling og kritiske snitt

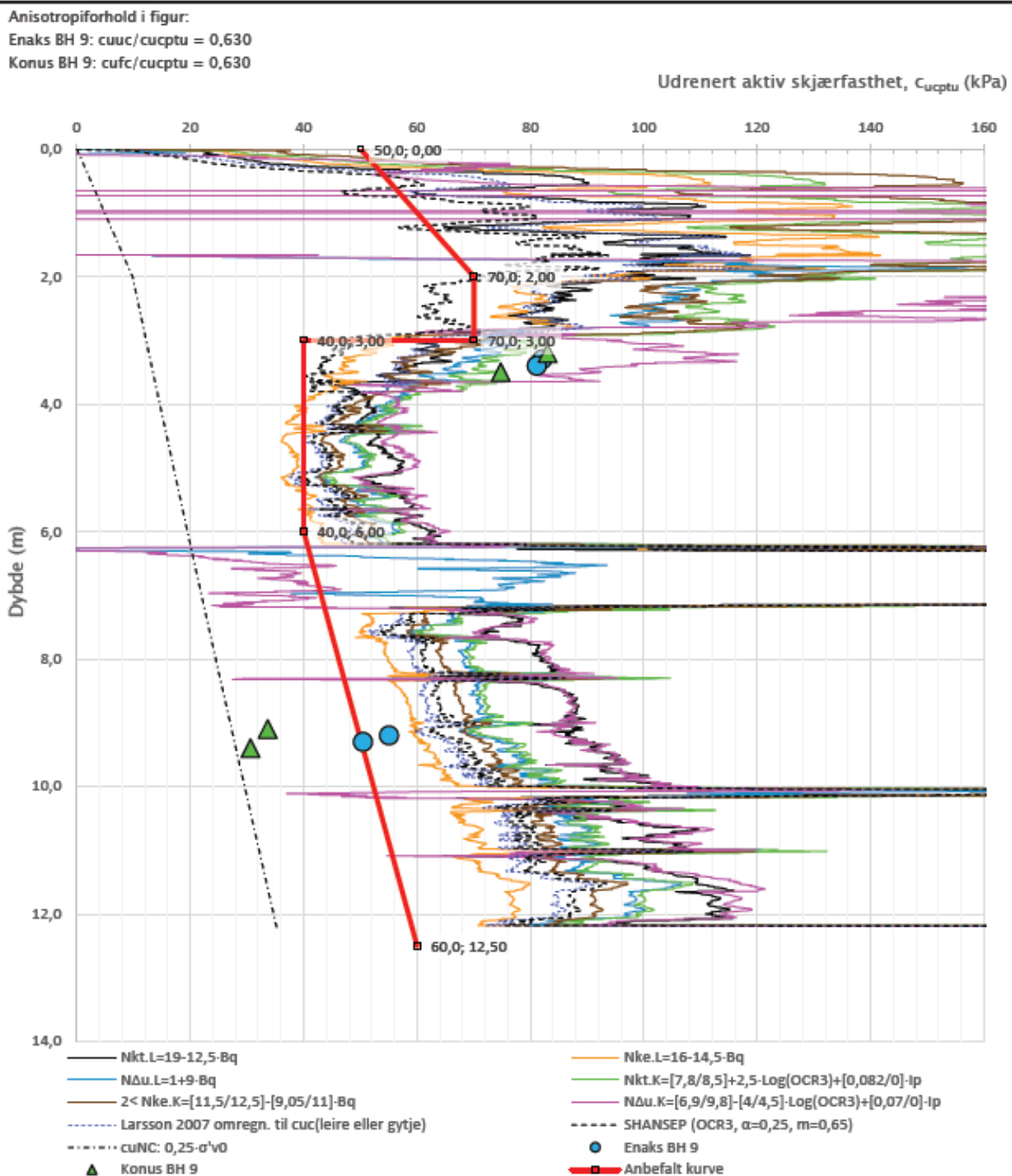
Grunnundersøkelsene viser at området består av lignende grunnforhold og lagdeling. Generelt viser det et øvre tørrskorpelag på 2 m, deretter et tykkere lag med leire over et tykt lag med kvikkleire/sprøbruddmateriale over berg. I nedre partier viser enkelte områder siltig leire. Laget med kvikkleire/sprøbruddmateriale viser et gjennomgående tykt lag som dekker store deler av tiltaksområdet. Lagdeling og kritiske snitt er dermed basert på grunnundersøkelser, laboratorieresultater og erfaringsverdier fra SVV V220 [17], samt topografi og terreng.

Det er tatt 4 CPTu ved borpunkt 3, 4, 7 og 9, se utklippene fra udrenert skjærfasthet Su. Se vedlegg 6 CPTu-ark for flere detaljer.


Figur 21: Udrenert skjærfasthet S_u ved borpunkt 3.


Figur 22: Udrenert skjærfasthet S_u ved borpunkt 4.

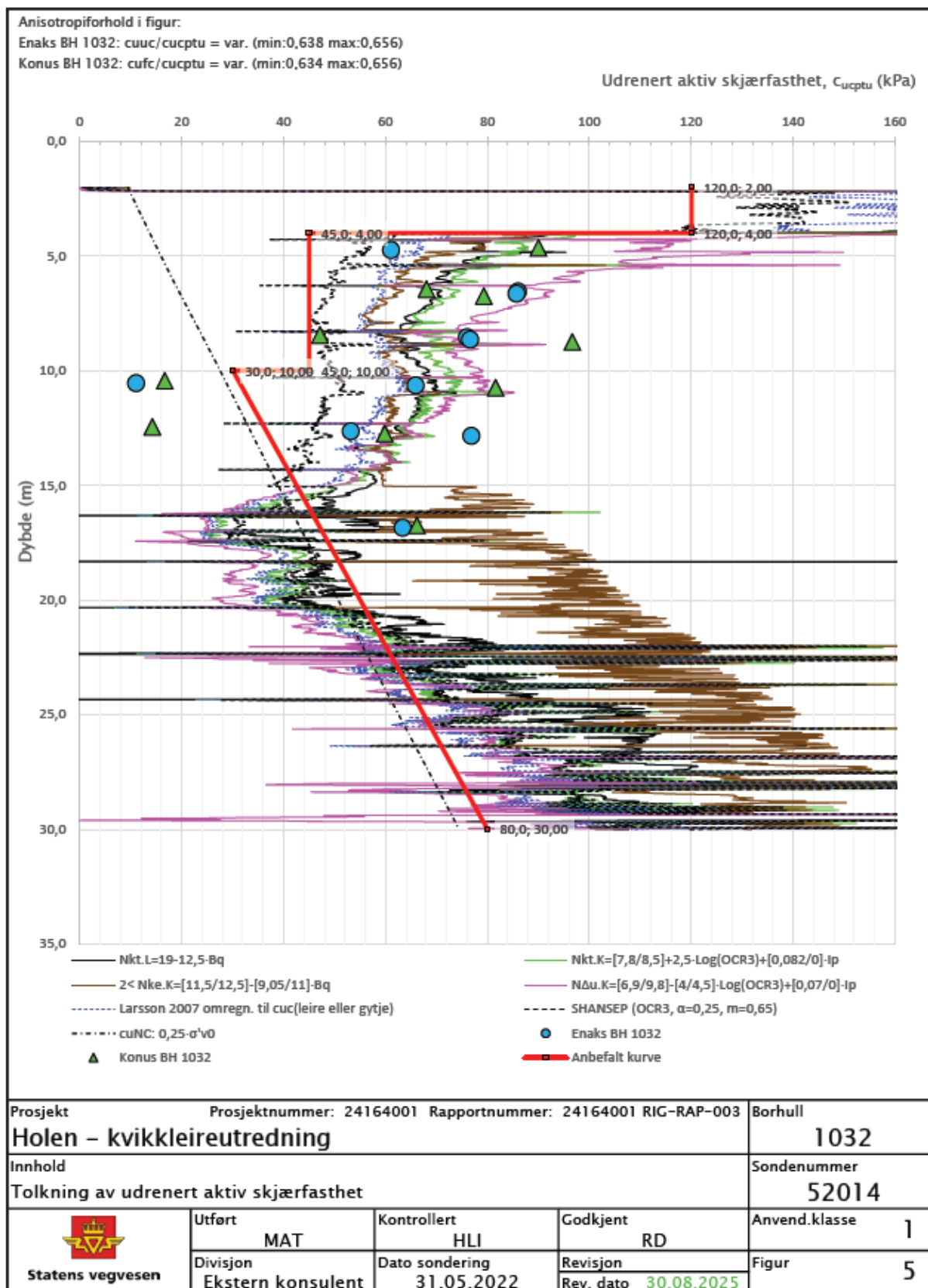

Figur 23: Udrenert skjærfasthet S_u ved borpunkt 7.



Prosjekt	Prosjektnummer: 24164001 Rapportnummer: 24164001 RIG-RAP-003			Borhull
Holen – kvikkleireutredning				9
Innhold				Sondennummer
Tolkning av udrenert aktiv skjærfasthet				4712
	Utført	Kontrollert	Godkjent	Anvend.klasse
	MAT	HLI	RD	1
	Divisjon Ekstern konsulent	Dato sondering 25.03.2025	Revisjon 0 Rev. dato 30.08.2025	Figur 20

Figur 24: Udrenert skjærfasthet S_u ved borpunkt 9.

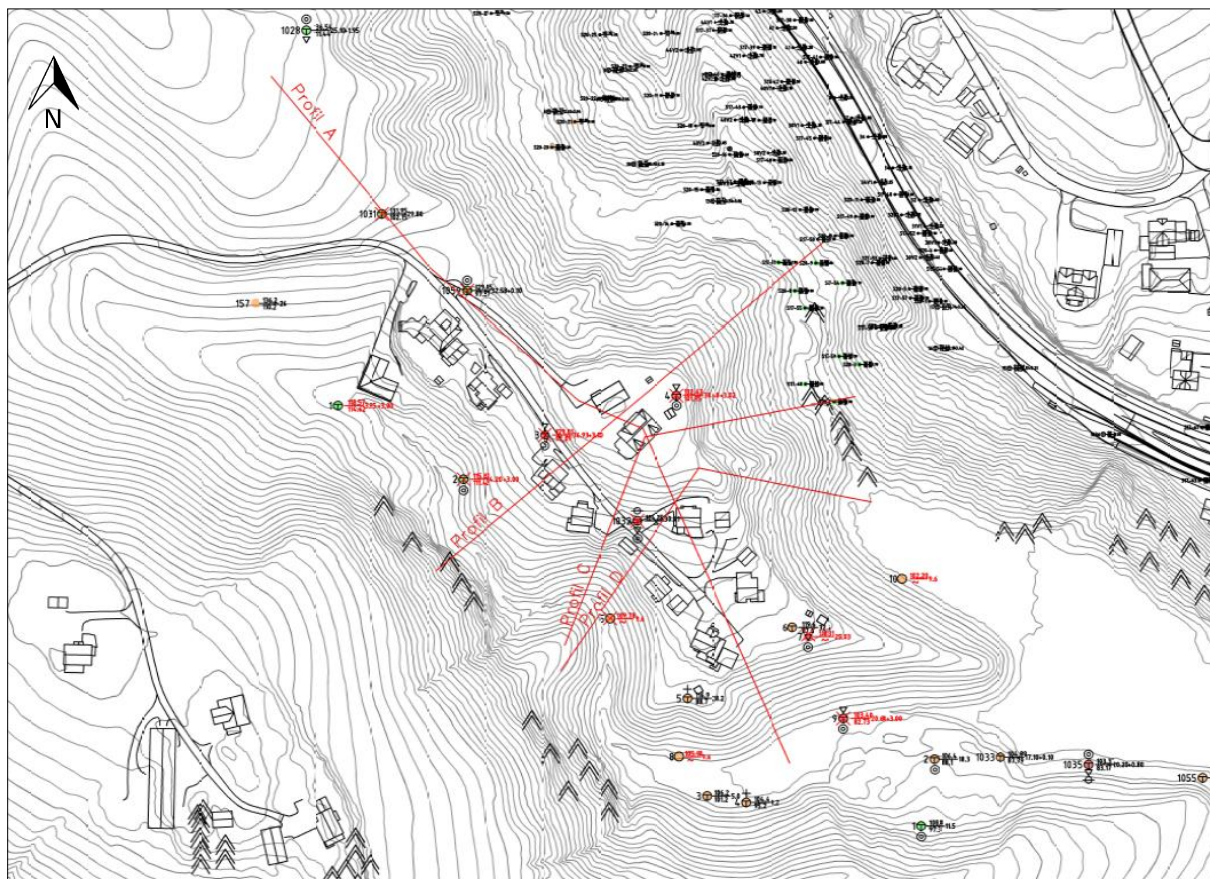
Fra tidligere grunnundersøkelser utført av Multiconsult [14] er det tatt CPTu ved borpunkt 1032, som er vist i Figur 25. CPTu fra dette punktet viser lignende resultater fra CPTu i borpunkt 3, 4, 7 og 9.



Figur 25: Udrenert skjærfasthet S_u ved borpunkt 1032.

Boringer i området viser lignende lagdeling, og viser generelt et øvre tørrskorpelag på 2 m og deretter et bløtere leirlag ned til ca 15 m dybde over et lag som består av sprøbruddmateriale/kvikkleire. Det er boret til mellom 15 m og 30 m dybder, men det er ikke boret i fjell.

Kritiske snitt på området er vist i Figur 26, hvor snitt A, snitt B, snitt C og snitt D er presentert. Snitt A er vist i Figur 27, snitt B er vist i Figur 28, snitt D er vist i Figur 29 og snitt D er vist i Figur 30. Merk at geotekniske plantegning og snitt er presentert i Vedlegg 4. Merk at de kritiske skråningene som er valgt, er basert på bratteste og høyeste skråninger, men at det bør i neste fase vurdere flere skråninger, spesielt mot Fjellsevja.



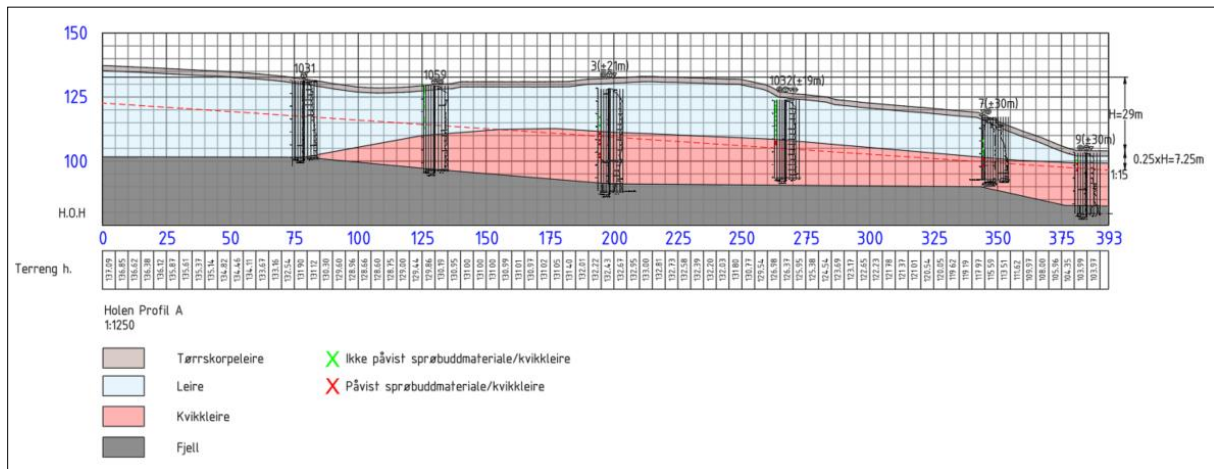
Figur 26: Plankart over kritiske snitt A, snitt B, snitt C og snitt D.

Merk at snittene som er presentert under viser lagdelingen. Lagdelingen er bestemt ut ifra totalsonderinger og CPTu, samt prøveresultater. Snittene viser lagdeling med plottet totalsondering, samt røde kryss som viser påvist sprøbruddmateriale/kvikkleire og grønne kryss som viser ikke påvist sprøbruddmateriale/kvikkleire. Kryssene representerer resultater hentet fra laboratorieforsøket med konustest.

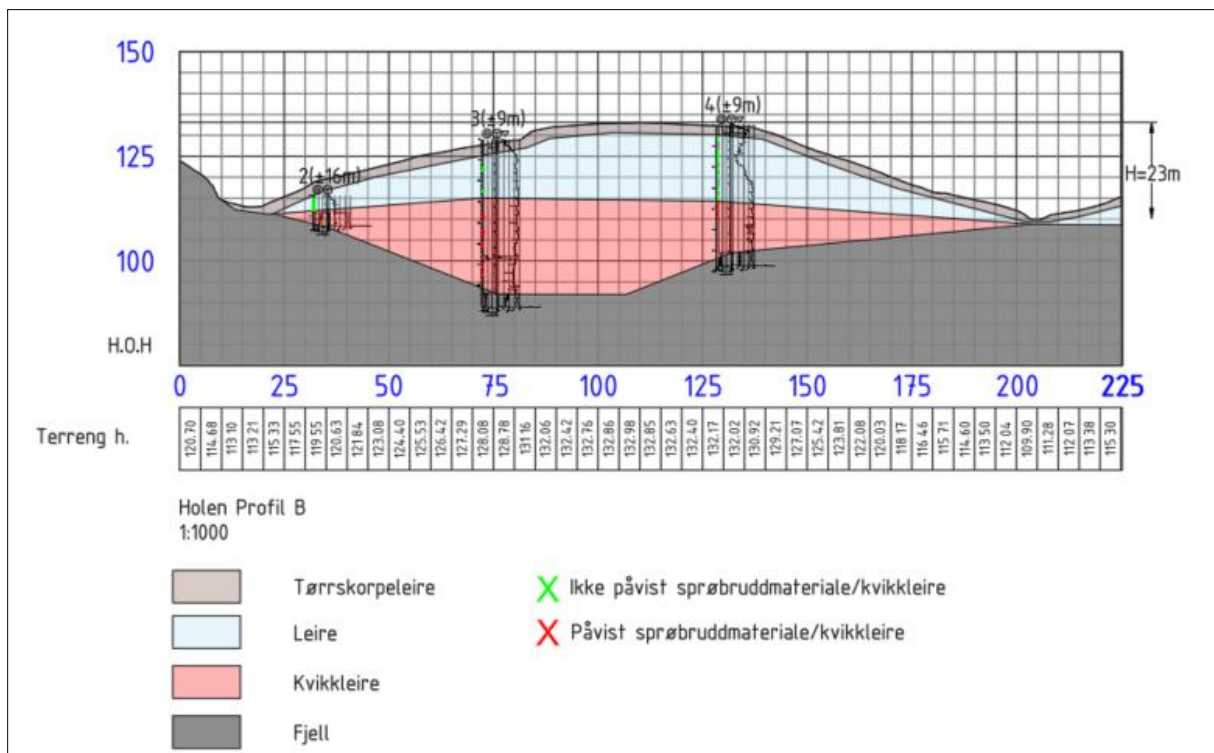
Lagdelingen er basert på antagelser, og for snitt A er laget med kvikkleire avgrenset med borpunkt 1031. Det er tatt prøver ved borpunkt 1059 hvor det ikke er påvist sprøbruddmateriale/kvikkleire, men det utelukkes ikke at det er lag med kvikkleire/sprøbrudd i dypere dybder. Ved borpunkt 1031 er det ikke tatt prøver, men basert på totalsonderingen er det vurdert at kvikkleire/sprøbrudd-laget er avgrenset av borpunkt 1031. Det utelukkes ikke at det er mulig sprøbrudd/kvikkleire i dette borpunktet og at avgrensningen av dette laget da kan justeres og sonen utvides. I neste fase anbefales det med



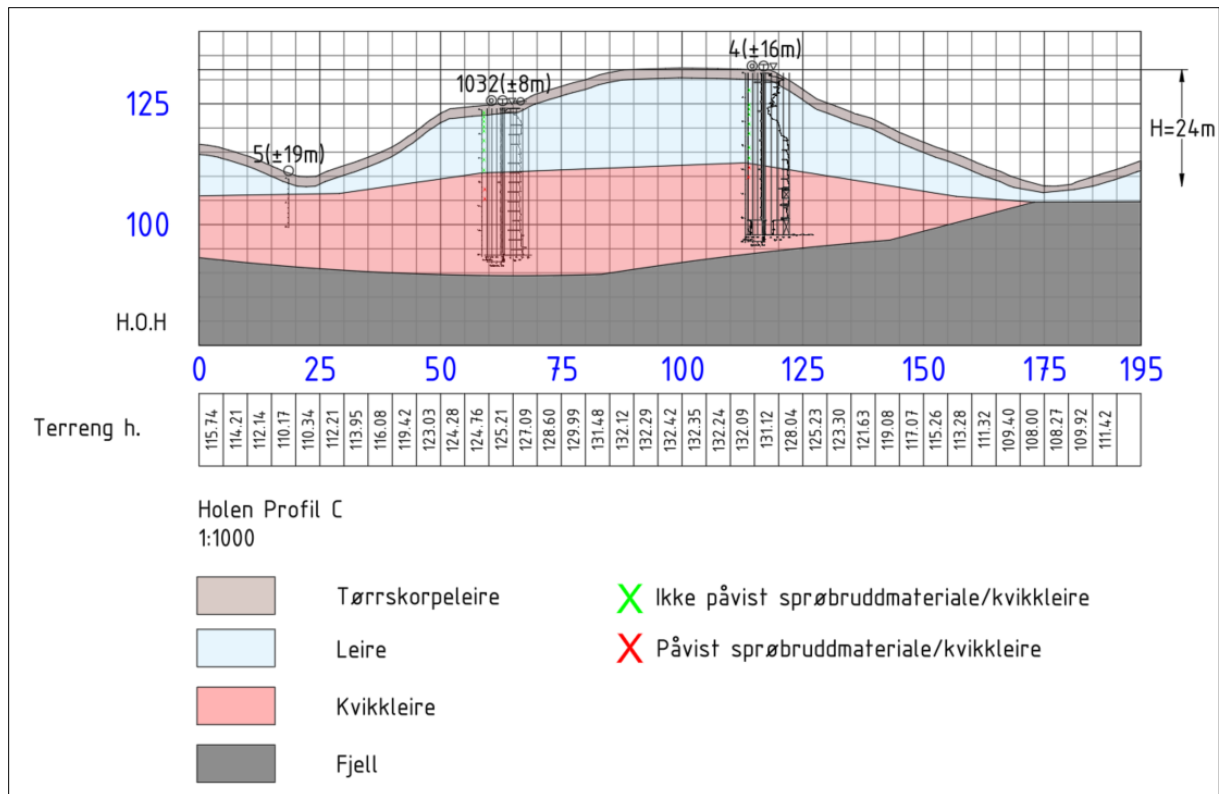
supplerende grunnundersøkelser for å få en tydeligere avgrensning av kvikkleireområdet. Denne avgrensningen definerer soneutredning.



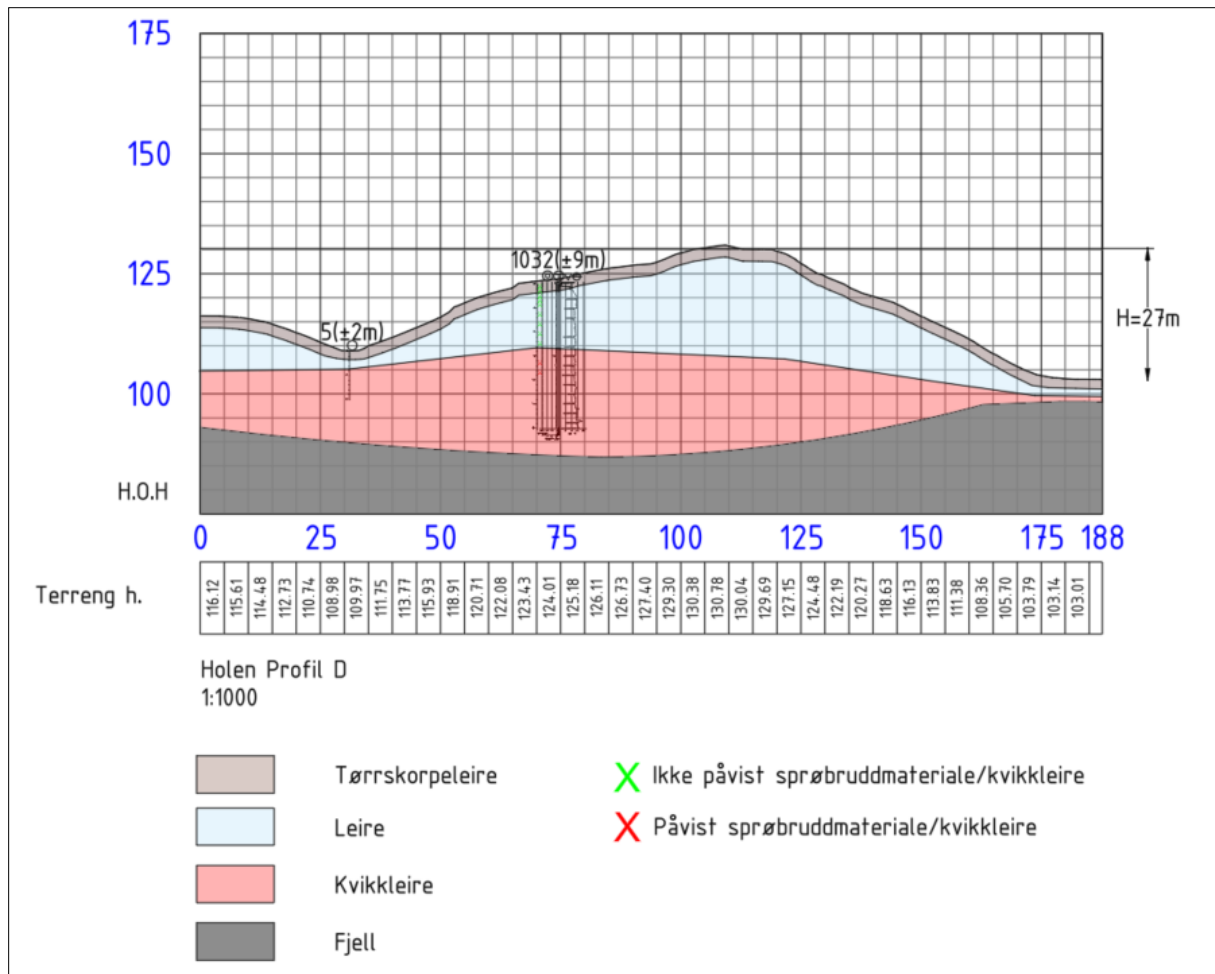
Figur 27: Snitt A. Høyeste skråning er vurdert som ca. 30 m. Det er påvist sprøbruddmateriale/kvikkleire i området.



Figur 28: Snitt B. Høyeste skråning er vurdert som ca. 23 m. Det er påvist sprøbruddmateriale/kvikkleire i området.



Figur 29: Snitt C. Høyeste skråning er vurdert som ca. 24 m. Det er påvist sprøbruddmateriale/kvikkleire i området.



Figur 30: Snitt D. Høyeste skråning er vurdert som ca. 27 m. Det er påvist sprøbruddmateriale/kvikkleire i området.



2 Områdestabilitet iht. NVEs veileder 1/2019

Områdestabiliteten er vurdert i henhold til NVEs veileder 1/2019 «Sikkerhet mot kvikkleireskred» [18]. Prosedyren består av 10 steg, der de 3 første stegene avklarer aktsomhetsområder og steg 4-10 er utredning av faresoner. Dersom man under gjennomgang av prosedyren kan avkrefte fare for områdeskred, er det ikke nødvendig å gå videre i prosedyren og utredningen kan avsluttes. En oppsummering er presentert i Tabell 3.

Alle figurer i tabellen under er hentet fra NVEs veileder 1/2019 «Sikkerhet mot kvikkleireskred» [18].

Tabell 3: Sammendrag av prosedyre for utredning av områdeskredfare. (Tabell 3.1 i NVE Veileder 1/2019).

Pkt .	Overskrift	Kommentar
1	Undersøk om det finnes registrerte faresoner (kvikkleiresoner) i området	Tiltaksområdet ligger i en registrert kvikkleiresone, 705 Holen. Se detaljer fra kap. 1.5.
2	Avgrens områder med mulig marin leire	Tiltaksområdet ligger under marin grense, hvor det er antatt stor mektighet av fjord- og havavsetninger. Tiltaket ligger i aktsomhetsområde for kvikkleireskredfare. Se detaljer fra kap. 1.5. Prosedyren forsetter fra punkt 4.
3	Avgrens områder med terreng som kan være utsatt for områdeskred	Område er utsatt for områdeskred, se punkt 2. Det er påvist berg i fjellskråningen vest for Sanddalen og enkelte steder i ravinebunnen i Holendalen. Skråningene her er dermed ikke utsatt for områdeskred, se kap. 1.8 for kart over berg i dagen.
4	Bestem tiltakskategori	Tiltakskategori K4 på grunn av tiltak i området medfører større tilflytting/personopphold enn to boenheter.



Tiltaks-kategori	Type tiltak
K0	Små tiltak som medfører svært begrensede terrenginngrep. Lite personopphold. Ingen tilflytting av personer Garasjer, naust, tilbygg/påbygg til eksisterende bebyggelse, frittstående uthus, redskapsbod, landbruk- og skogsveger
K1	Tiltak av begrenset størrelse. Lite personopphold. Ingen tilflytting av personer Mindre driftsbygninger i landbruket, lagerbygg av begrenset verdi, lokale VA-anlegg, private og kommunale veger, mindre parkeringsanlegg og trafiksikkerhetstiltak (G/S-veg, midtdeler)
K2	Tiltak som kun innebærer terrengendring; utgraving, opp- og utfylling og masseflytting Massedepotier, komposteringsanlegg, bakkeplanering/nydyrking, massetak, andre massefyllinger
K3	Tiltak som medfører tilflytting av personer med inntil to boenheter, større byggverk med begrenset personopphold eller tiltak med stor verdi Bolighus/fritidsbolig med inntil to boenheter, større driftsbygninger i landbruket, lagerbygg med større verdi, mindre nærings- og industribygg, mindre utendørs publikumsanlegg, større VA-anlegg
K4	Tiltak som medfører større tilflytting/personopphold, samt tiltak som gjelder viktige samfunnsfunksjoner Bolighus/fritidsboliger med mer enn to boenheter, sykehjem, sykehus, skoler, barnehager, idrettshaller, utendørs publikumsanlegg og nærings- og industribygg

Figur 31: Tabell over tiltakskategori [18].

For tiltak i tiltakskategori K4 ved middels faregrad (se kap. 1.4.) kreves sikkerhetsfaktor $F_{cu} \geq 1,40 \cdot f_s$ og $F_{c\phi} \geq 1,25$, hvor f_s er sprøhetsforholdet som korrigerer for sprøbruddseffekt i de udrenerte beregningene. Tiltak i K4 med middels faregrad kreves en forbedring av sikkerhetsfaktor, se Tabell 4.

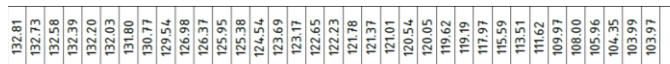
Tabell 4: Krav til forbedring av sikkerhetsfaktor [18].

Tiltakskategori	Lav faregrad	Middels faregrad	Høy faregrad
K3	Ikke forverring	Forbedring	
K4	Forbedring		Vesentlig forbedring

Prosentvis forbedring av sikkerhetsfaktor er vist i Figur 32. Prosentvis forbedring kan bare oppnås ved bruk av topografiske endringer og/eller ved bruk av lette masse. Dersom det velges å bedre området med grunnforsterkning eller spunt, må en oppnå sikkerhetsfaktor $F_{cu} \geq 1,40 \cdot f_s$ og $F_{c\phi} \geq 1,25$ etter at sikringstiltaket er utført.

		Figur 32: Krav til prosentvis forbedring av sikkerhetsfaktor, F_{cu} og $F_{c\phi}$ [18]. Kravet for prosentvis forbedring gjelder alle skredmekanismer som kan berøre tiltaket, og gjelder for alle potensielle glideflater som før tiltak har lavere sikkerhet enn kravet. Ved særlig stor kompleksitet, spesielt ugunstige grunnforhold, utfordrende topografi og stor konsekvens bør større forbedring vurderes. Tiltak kategoriseres i tiltakskategori K4 og skal kvalitetssikres av et uavhengig foretak.
5	Gjennomgang av grunnlag – identifikasjon av kritiske skråninger og mulig løsneområde	Identifisering av kritiske skråninger og mulige løsneområder vurderes basert på tidligere grunnundersøkelser og geotekniske vurderinger av grunnlag. Området består av ravedaler med bratte, kuperte skråninger. Skråningshøyder ved tiltaket er opptil ca. 30 m. Potensielle løsneområder for retrogressivt områdeskred med lengde $L = 15 \cdot H$ vurderes som grunnlag for befaring, grunnundersøkelser og stabilitetsberegninger, se Figur 33. Et eventuelt mulig løsneområde vil da være 450 m fra skråningsfot. Figur 33: Avgrensning av maksimalt løsneområde for et retrogressivt skred. Løsneområdets lengde $L = 15 \cdot H$ [18]. Merk at avgrensning av løsneområde vurderes nøyere i steg 8.
6	Befaring	Det er utført befaring 31.10.2024 og 10.04.2025, se befaringsnotat [16] og Vedlegg 2.

		Notatet oppsummerer noe erosjon i området, både i Sanddalen og Holendalen. Det er også observert berg i dagen ved begge dalene. Området består av ravinedaler, og ved Sanddalen er det tidligere registrert skred og ved Hølandsveien 8 viser det overflateglidninger.
7	Gjennomfør grunnundersøkelse r	Utført mars 2025. Grunnundersøkelsene viser store dybder med leire, hvor det generelt er siltig leire, men dels bløt til middels fast leire. Det er påvist sprøbruddmateriale/kvikkleire i flere dybder i borpunktene på tiltaksområdet. Det er boret ned til 37 m dybde, og dybde til berg varierer mellom 4 m og 37 m. De største dybdene er på platået og i bunn av ravinedal. Grunnere boringer er nord ved tiltaksområdet.
8	Vurder aktuelle skredmekanismer og avgrens løсне- og utløpsområde	Aktuelle skredmekanismer i sprøbruddmateriale er bl.a. avhengig av terrengforhold, sprøbruddmaterialets beliggenhet og leiras omrørte fasthet. Metodikk for bestemmelse av aktuell skredmekanisme er presentert i Figur 34. Utløpsområdets utstrekning er avhengig av aktuell skredmekanisme, løsneområdets størrelse og terrengforholdene i utløpsområdet. <pre> graph TD A[Viser grunnundersøkelser sprøbruddmateriale? NS8015: $c_{u,r} \leq 2 \text{ kPa}$ / ISO 17892-6: $c_{u,r} \leq 1,27 \text{ kPa}$] -- NEI --> B[Ikke fare for områdeskred] A -- JA --> C[Tilsvarende omrørt fasthet eller flyteindeks mulig retrogresjon? NS8015: $c_{u,r} \leq 1 \text{ kPa}$ / ISO 17892-6: $c_{u,r} \leq 0,69 \text{ kPa}$ eller $I_L > 1,2$] C -- NEI --> D[Rotasjonsskred eller Flakskred] C -- JA --> E[Andel sprøbruddmateriale over mest kritiske glideflate $b/D > 40 \%$] E -- NEI --> D E -- JA --> F[Retrogressivt skred] </pre> Figur 34: Flytskjema for vurdering av aktuell skredmekanisme [18]. Store deler av området viser at b/D er mindre enn 40 % og kritisk glideflate vurderes som rotasjonsskred. Figur 35: Andel sprøbruddmateriale over kritisk glideflate (b/D) i ravineterreng, rotasjonsskred [18].



>40%.

videre i stabilitetsberegninger.

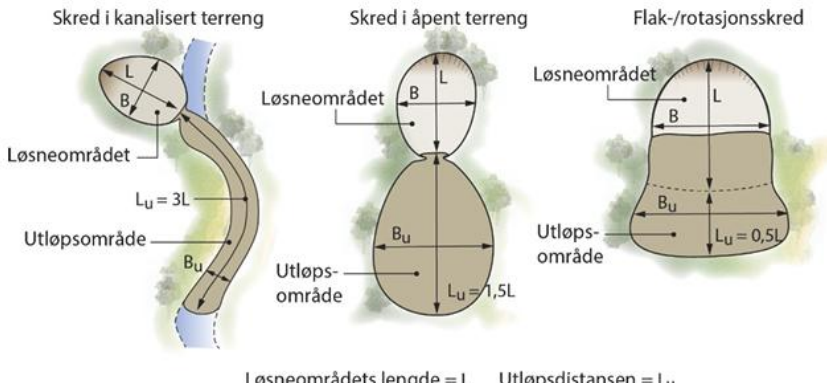
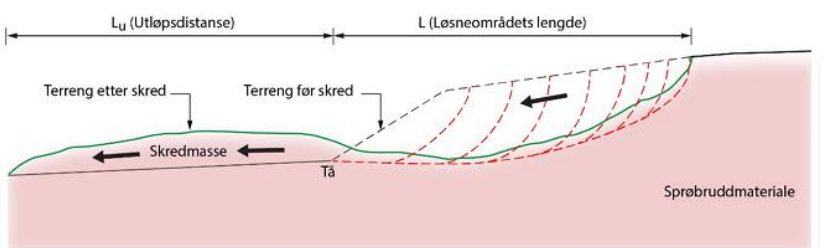
retrogressivt skred [18].

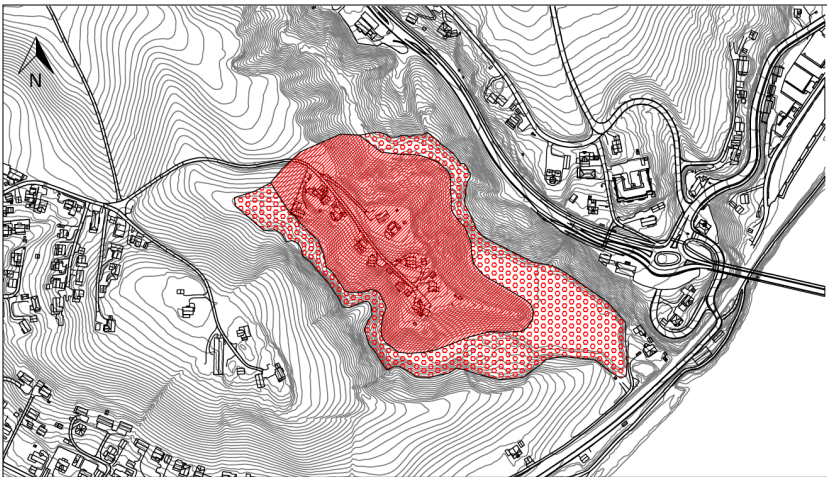
linjen og dybde til sprøbrudd.

Figur 38: Løsnedområde for retrogressivt skred med NGI-metoden [18].

Løsneområde er dermed beregnet til $L = 300 \text{ m}$.

dermed et utløpsområde L_u på $0,5 \cdot L$ på grunn av skråninger i

		utløpsområde som vil redusere utløpsområde. Utløpsområde er dermed vurdert til 150 m.  Løsneområdets lengde = L Utløpsdistansen = L_u Figur 39: Utløpslengden L_u [18].
9	Klassifiser faresoner	Faresoner klassifiseres med faregrad og konsekvens. Utløpsområdene får samme faregrad som løsneområdet. Konsekvens klassifiseres samlet for sonens løsne- og utløpsområde. For tidligere klassifiserte faresoner skal klassifiseringen (faregrad og konsekvens vurderes på nytt).  Figur 40: Løsneområdets lengde og utløpsdistanse [18]. Tiltaksområdet ligger allerede i en sone «705 Holen» med middels faregrad, alvorlig konsekvens og risikoklasse 3, se Figur 11. Det er påvist kvikkleire/sprøbruddmateriale ved utførte grunnundersøkelser og det er derfor vurdert ny faresone, og eksisterende sone anbefales å revideres. Faresonens reviderte klassifisering er endret: - Faregrad: Høy - Konsekvensklasse: Meget alvorlig - Risikoklasse: 5 Se rapport for detaljer rundt oppdatert soneutredning [10] og Vedlegg 3.

		 Figur 41: Utkast av ny soneutredning. For tiltak i tiltakskategori K4 som ligger innenfor aktsomhetsområder, skal beregnet faregrad avgjøre sikkerhetskrav. For tiltakskategori K4 ved høy faregrad er det krav til vesentlig forbedring av sikkerhetsfaktor. Dette utføres ved topografiske endringer og/eller masseutskiftning. Det kreves absolutt sikkerhetsfaktor $F \geq 1,4 \cdot f_s$ for udrenert stabilitetsanalyse og $F \geq 1,25$ for drenert stabilitetsanalyse. Merk at f_s er sprøhetsforholdet som korrigerer for sprøbruddseffekt i de udrenerte beregningene, hvor $f_s = 1,15$. Merk at på grunn av begrensede grunnundersøkelser ved Fjellsevja, vurderes det med at sonen kan justeres ved supplerende grunnundersøkelser. Informasjon om grunnforholdet i Fjellsevja har stor betydning for utredning av kvikkleiresonen og stabilitetsberegninger. Usikkerheten er en viktig faktor i vurderingen.
10	Dokumentér tilfredsstillende sikkerhet	Stabilitetsberegninger gjennomføres og sikkerhet dokumenteres iht. sikkerhetskravene i Figur 32. Hvis sikkerheten er for lav, skal mulige sikringstiltak vurderes for å oppnå tilfredsstillende sikkerhet. Stabilitetsberegninger er beskrevet i kap. 3. Soneutredningen, inkludert beregning av dagens stabilitet og stabilitet med sikringstiltak for å oppnå tilfredsstillende sikkerhet, dokumenteres. Vurderinger skal kvalitetssikres av uavhengig foretak. Føringer for detaljprosjektering og anbefaling til videre arbeid skal beskrives.
11	Meld inn faresoner og grunnundersøkelser	Grunnundersøkelser er meldt inn i NADAG. Eksisterende faresoner anbefales å oppdatere på grunn av påvist kvikkleire/sprøbruddmateriale, samt enkelte områder med ikke påvisning av kvikkleire/sprøbruddmateriale som kan argumenteres for innskrenkning av kvikkleiresone.

3 Stabilitetsberegninger

For tiltakskategori K4 skal stabiliteten tilfredsstillende krav i henhold til NVE Kvikkleireveilederen 1/2019, punkt 3.3.4 i veilederen. Hvis tiltaket forverrer stabiliteten skal det kreves absolutt sikkerhetsfaktor $F \geq 1,4 \cdot f_s$ for udrenert stabilitetsanalyse og $F \geq 1,25$ for drenert stabilitetsanalyse. Merk at f_s er sprøhetsforholdet som korregerer for sprøbruddseffekt i de udrenerte beregningene, hvor $f_s = 1,15$.

Vurdering av skråningsstabilitet må utføres med stabilitetsberegninger i udrenert/totalspenningsanalyse (korttidsstabilitet) og drenert/effektivspenningsanalyse (langtidsstabilitet). Områdestabilitetsvurdering må utføres for vurdering av kvikkleireskred i området, samt skal lokalstabiliteten vurderes for etablering av VA-anlegg. Både områdestabiliteten og lokalstabiliteten skal tilfredsstillende krav iht. veilederen.

3.1 Beregningssnitt, materialparametere og laster

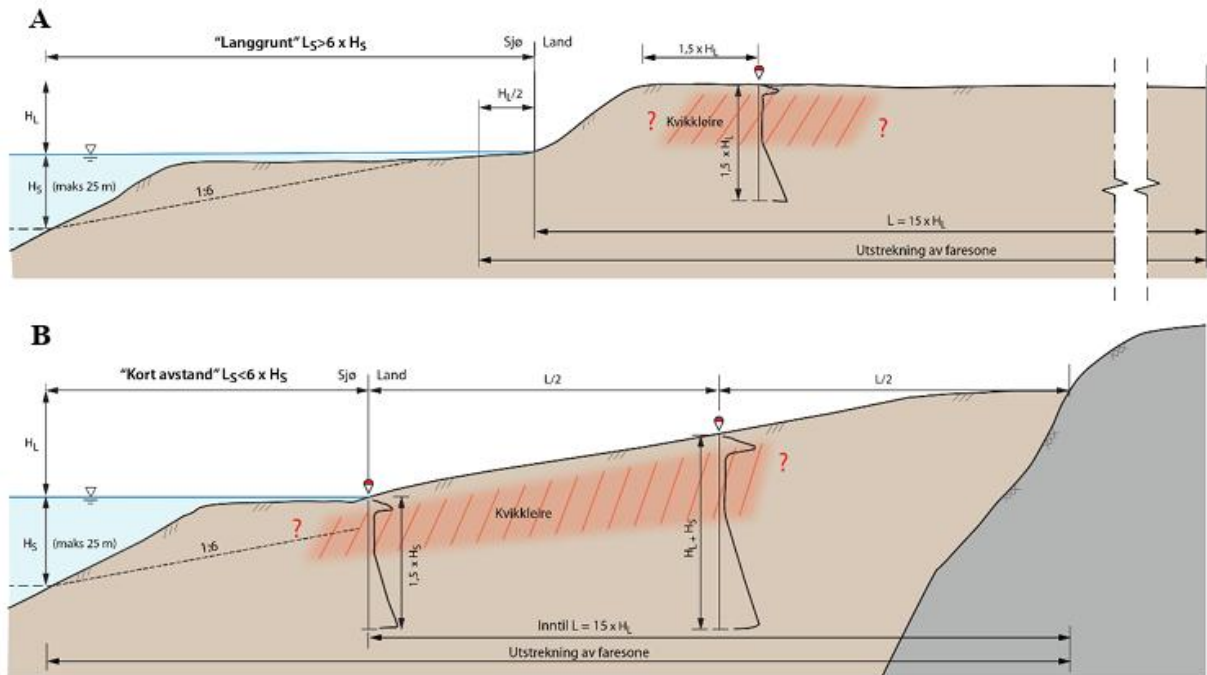
Lagdeling og valg av materialparametere er basert på grunnundersøkelser, laboratorieresultater og erfaringsverdier fra SVV V220 [17]. Lagdeling er presentert i snitt A i Figur 27, snitt B i Figur 28, snitt C i Figur 29 og snitt D i Figur 30. Se Vedlegg 4 for alle tegninger av plankart med snitt og snittene.

Det er antatt bygglast fra 10-20 kPa fra bebyggelse, med lastfaktor 1,0 for permanent ugunstige laster. Det er ikke antatt veglast/trafikklast eller terrenglast.

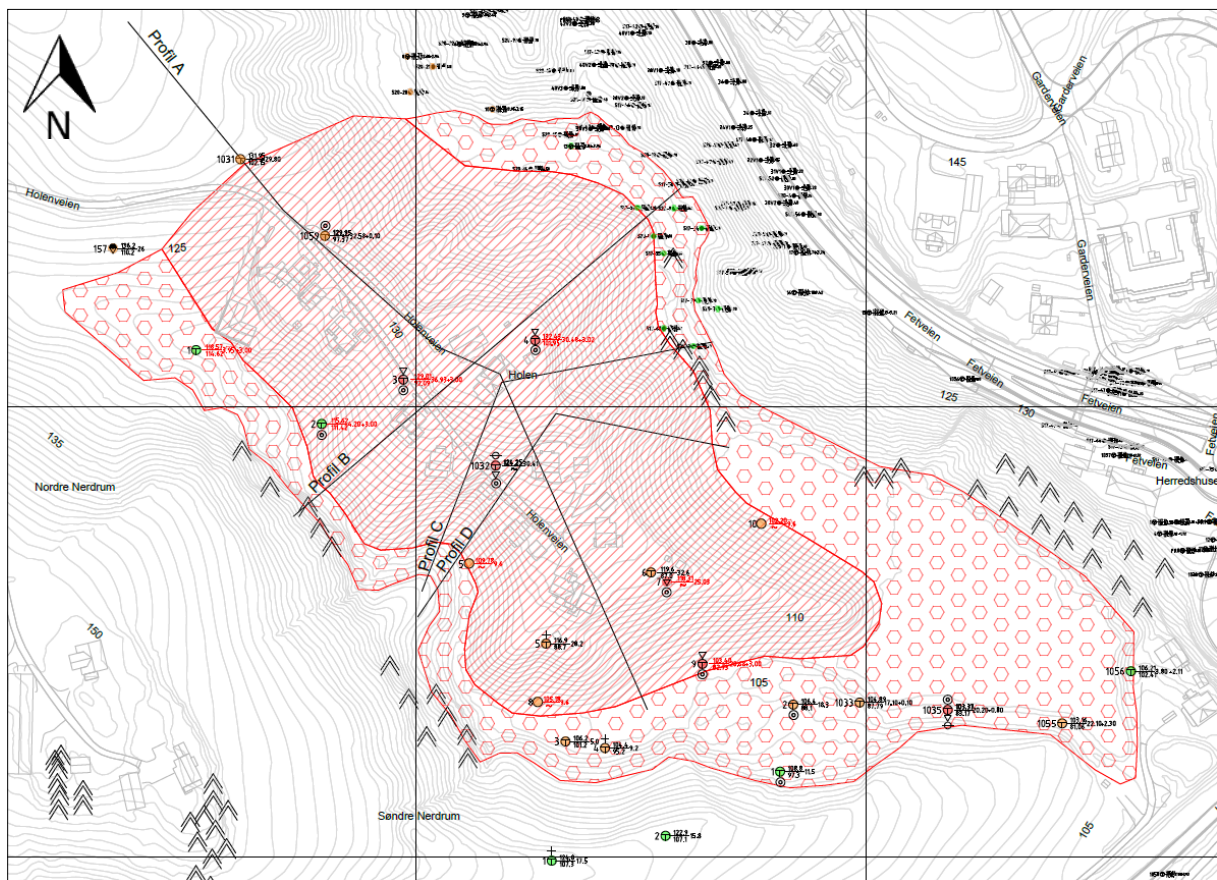
Grunnvannstand er antatt mellom tørrskorpelag og leirlag, på 2 m dybde.

Merk at på grunn av begrensede grunnundersøkelser ved Fjellsevja, vurderes området som tørrskorpe. Basert på flyfoto og befaring er det vurdert minimalt med vanninnhold i tjernet, og enkelte flyfoto viser bunn av tjern. Figur 42 viser at topografien til tjernet Fjellsevja kan endre skråningshøyden og utstrekning av faresonen, og kan gi en betydning for beregning av skråningsstabiliteten. Det presiseres at dette kan være en stor usikkerhet i beregningene, for dette er et kritiske punkt for snittet da masser i bunn kan være stabiliserende. I motsetning om massene i bunn er vann, og at dette kan eroderes vekk eller tørke bort, kan dette være destabiliserende for skråningsstabiliteten. Det er derfor anbefalt å prioritere grunnundersøkelser i dette området i neste fase.

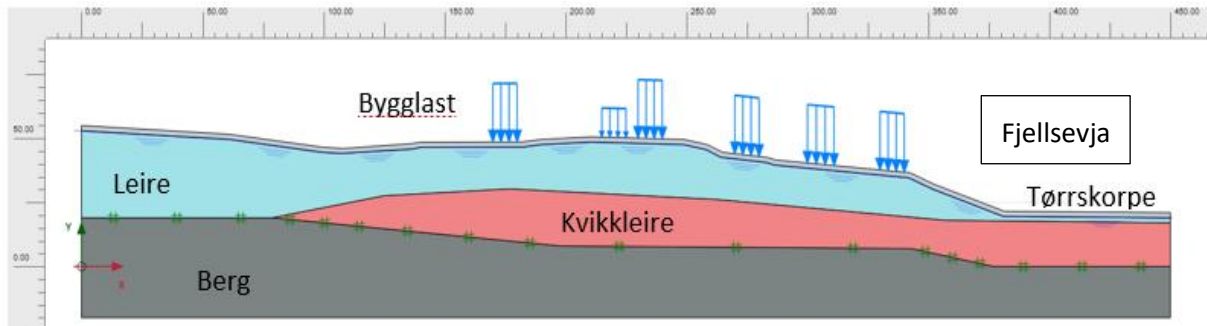
I enkelte området ble det på grunn av store dybder ikke boret i fjell og fjellkontrollboring ble ikke utført. Det er avdekket berg i dagen i enkelte områder, som i bunn av Sanddalen og Holendalen. Dybde til berg og bergets utforming kan påvirke bruddmekanismene i skråningene. Ved dypere dybder enn antatt kan løsne- og utløpsområde påvirkes. Det anbefales å utføre fjellkontrollboring ved supplerende grunnundersøkelser for å få mer oversikt over bergforløpet.



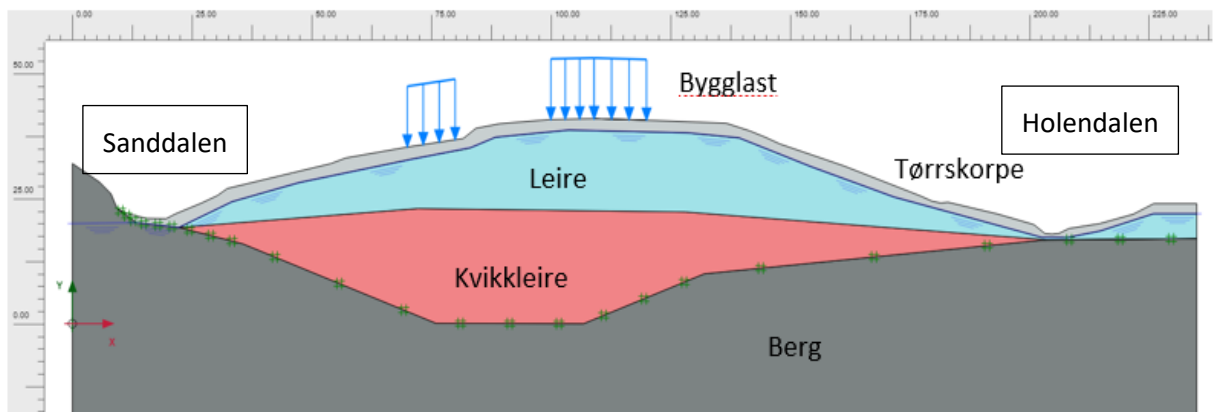
Figur 42: Utklipp hentet fra NVE 9/2020 [2]. Prinsipp – topografiske kriterier i strandsonen og på land. A: Plassering av boringer og avgrensning av faresone der det er langgrunt sjøen. B: Plassering av boringer og avgrensning av faresone der det er kort avstand til marbakken.



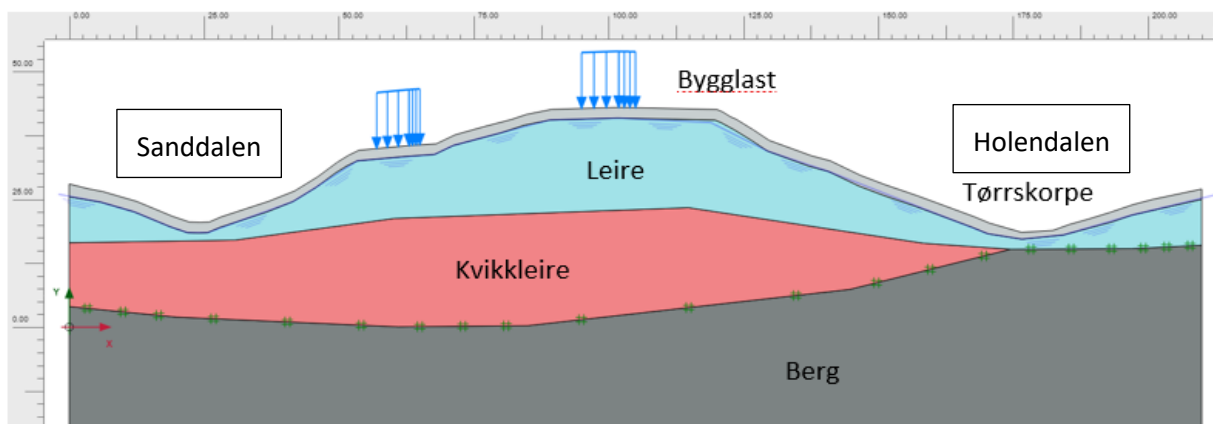
Figur 43: Utklipp fra geotekniske tegninger med soneutredning og kritiske snitt.



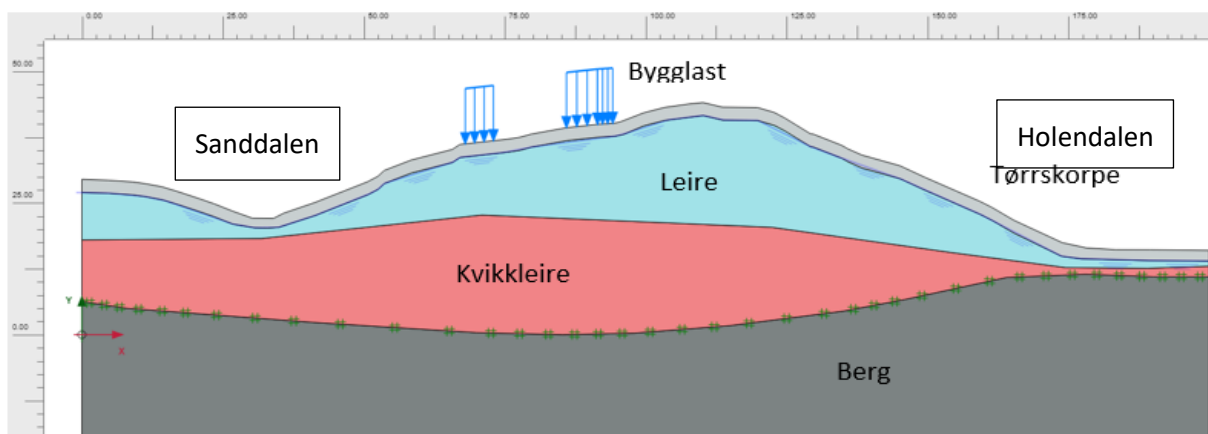
Figur 44: Beregningsnitt A.



Figur 45: Beregningsnitt B.



Figur 46: Beregningsnitt C.



Figur 47: Beregningsnitt D.

Materialeparametere for de ulike snittene er presentert i tabellene under, hvor Tabell 5 representerer materialeparametere for jordmodellen Hardening Soil Udrenert for tørrskorpe og fyllmasselag.

Tabell 6 representerer materialeparametere for jordmodell NGI-ADP Udrenert for sprøbrudd/kvikkleire og leire, mens Tabell 7 viser for jordmodell Hardening Soil Udrenert/Drenert for sprøbrudd/kvikkleire og leire. Merk at fyllmasselag/sprengstein er for etablering av motfylling.

Merk at tørrskorpe skal ha attraksjon 0 kPa og friksjonsvinkel 30 grader, og dermed kohesjon 0 kPa i henhold til SVV Håndbok 016 [19]. Beregninger med følgende parametere gir i enkelte beregninger brudd i overflaten, enten overflateutglidning eller bæreevne under last. Det er dermed økt kohesjon til 5 kPa og friksjonsvinkel 33 grader. Beregningsresultater viser da mer realistisk bruddmekanismen, hvor bruddet går gjennom skråningen enten som rotasjonsskred eller retrogressivt skred i dypere dybder. I enkelte beregninger viser snittene samme bruddmekanisme og SF som med kohesjon 0 kPa og friksjonsvinkel 33 grader. Det har vært en prioritet å se på bruddmekanisme som går i dypere dybder, enn ved overflaten.

Tabell 5: Materialparametere (Hardening Soil Drenert) for tørrskorpe og fyllmasse.

Jordparametere	Tørrskorpe	Fyllmasse/sprengstein
Jordmodell	Hardening Soil	Hardening Soil
Dreneringstype	Drenert	Drenert
Tyngdetetthet, unsat	20 kN/m ³	19 kN/m ³
Tyngdetetthet, sat	20 kN/m ³	19 kN/m ³
E-modul, E50Ref	20E3 kN/m ²	40E3 kN/m ²
E-modul ødometer, EoedRef	20E3 kN/m ²	40E3 kN/m ²
E-modul unloading/reloading, EurRef	60E3 kN/m ²	120E3 kN/m ²
Poisson ratio, v	0,2	0,2
Power m	1	1
Cohesion, C ref	5 kN/m ²	5 kN/m ²
Cohesion, c_inc'	2,5 kN/m ² /m	2,5 kN/m ² /m
Yref, vertical ref, kote	*Varierer	*Varierer
Friksjonsvinkel, phi	33 grader	42 grader
psi	0 grader	0 grader



Tabell 6: Materialparametere (NGI-ADP Udrenert) for sprøbrudd/kvikkleire og leire.

Jordparametere	Sprøbrudd/kvikkleire	Leire
Jordmodell	NGI-ADP	NGI-ADP
Dreneringstype	Udrenert C	Udrenert C
Tyngdetetthet, unsat	18,5 kN/m ³	19,5 kN/m ³
Gur/SuA	250	350
Vu (nu)	Default (0,495)	Default (0,495)
SuAref	45-50 kN/m ²	65 kN/m ²
SuAinc	2,5 kN/m ² /m	5-7,5 kN/m ² /m
Yref, vertical ref, kote	*Varierer	*Varierer
SuP/SuA	0,35	0,36-0,38
SuDSS/SuA	0,63	0,64-0,66
Gamma fC	1,0	1,0
Gamma Fe	2,0	2,0
Gamma fDSS	1,5	1,5
Tau/Su_A	0,5	0,5

Tabell 7: Materialparametere (Hardening Soil Udrenert/Drenert) for sprøbrudd/kvikkleire og leire.

Jordparametere	Sprøbrudd/kvikkleire	Leire
Jordmodell	Hardening Soil	Hardening Soil
Dreneringstype	Udrenert/ Drenert	Udrenert/ Drenert
Tyngdetetthet, unsat	18,5 kN/m ³	19,5 kN/m ³
Tyngdetetthet, sat	18,5 kN/m ³	19,5 kN/m ³
E-modul, E50Ref	15E3 kN/m ²	15E3 kN/m ²
E-modul ødometer, EoedRef	15E3 kN/m ²	15E3 kN/m ²
E-modul unloading/reloading, EurRef	30E3 kN/m ²	45E3 kN/m ²
Poisson ratio, v	0,2	0,2
Power m	1	1
Cohesion, C ref	2 kN/m ²	5 kN/m ²
Cohesion, c_inc'	1,5 kN/m ² /m	2,5 kN/m ² /m
Yref, vertical ref, kote	*Varierer	*Varierer
Friksjonsvinkel, phi	25 grader	27 grader
psi	0 grader	0 grader



Merk at ADP-faktorer er beregnet fra plastisitetsindeks I_p fra laboratorieforsøk, se Figur 48.

I_p	c_{uD}/c_{uC}	c_{uE}/c_{uC}
$I_p \leq 10 \%$	0,63	0,35
$I_p > 10 \%$	$0,63+0,00425 \cdot (I_p - 10)$	$0,35+0,00375 \cdot (I_p - 10)$

Figur 48: Omforent anbefaling av anisotropifaktorer (ADP – faktorer).

3.2 Beregningsresultater

Det er utført stabilitetsberegninger i Plaxis 2D med jordmodell NGI-ADP (udrenert analyse) og Hardening Soil (udrenert og drenert analyse). Resultater er presentert i Tabell 8. Merk at beregninger viser resultater med antatt last fra eksisterende bebyggelse. Resultater representerer dagens terreng med laster. Merk at stabilitetsberegninger i snittene viste at mest kritiske skråninger er i Holendalen. Beregningsresultater presentert Tabell 8 er resultater for Holendalen.

Tabell 8: Beregningsresultater fra stabilitetsberegning i udrenert og drenert tilstand ved Holendalen.

Dreneringstype	Udrenert		Drenert
Jordmodell	NGI-ADP	Hardening Soil	Hardening Soil
Snitt A	1,15	1,05	1,80
Snitt B	1,08	1,30	1,35
Snitt C	1,06	1,15	1,20
Snitt D	1,05	1,10	1,10

Beregningene viser ikke tilfredsstillende sikkerhet for skråningsstabiliteten i området. Krav til sikkerhetsfaktor for udrenert/totalspeningsanalyse er $SF > 1,4$ og for udrenert/effektivspeningsanalyse $SF > 1,25$. Områder hvor det er forventet sprøbruddsmateriale skal det korrigeres med sprøbruddseffekt $f_s = 1,15$ for udrenert analyse.

Merk at beregningsresultater viser mest kritisk skråning i området, og resultater i Tabell 8 representerer skråningsstabilitet mot Holendalen og Fjellsevja. Skråningsstabiliteten mot Sanddalen viser dermed høyere sikkerhet. Se Vedlegg 5 for utklipp av Plaxisberegninger med bruddmekanisme, deformasjoner og sikkerhetsfaktor.

3.2.1 Beregningsresultater – Sanddalen

Stabiliserende tiltak planlegges i Holendalen av Statens vegvesen/Multiconsult i forbindelse med utbyggingen av Rv. 22. Gitt at disse tiltakene gjennomføres, vurderes Sanddalen videre som mest aktuell i forbindelse med å forbedre stabiliteten i området. Det er i tillegg ikke observert erosjon ved Fjellsevja, vurderes erosjonssikring mest aktuell ved Sanddalen hvor det er observert erosjon.

Stabilitetsberegninger som er presentert kap. 3.2 gjelder for hele tiltaksområdet, og Vedlegg 5 med Plaxisberegninger viser at kritiske områder ligger ved Holendalen. Videre er stabiliteten ved Sanddalen er vurdert, se også Vedlegg 5.

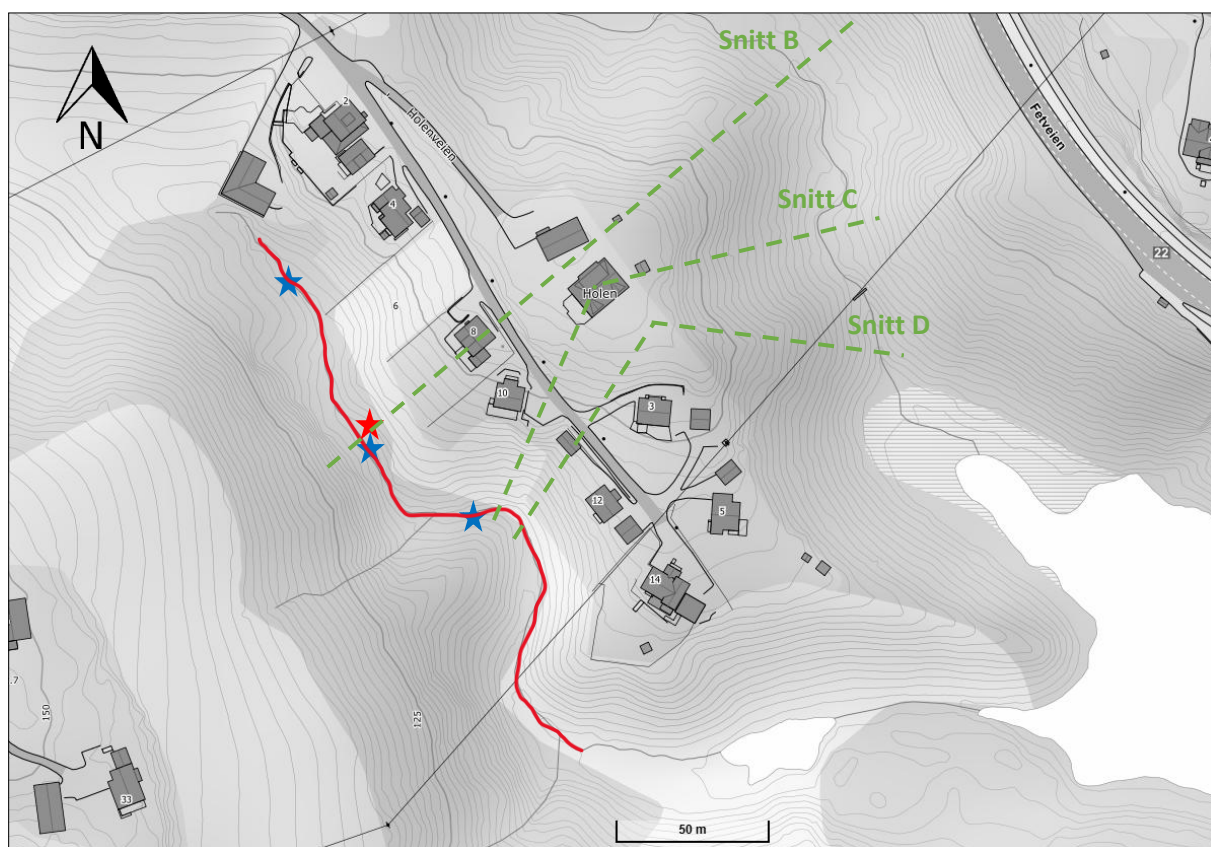
Tabell 9: Beregningsresultater for stabilitetsberegning ved Sanddalen i udrenert og drenert tilstand.

Dreneringstype	Udrenert		Drenert
Jordmodell	NGI-ADP	Hardening Soil	Hardening Soil
Snitt B	1,19	1,60	1,75
Snitt C	1,10	1,33	1,43
Snitt D	1,20	1,45	1,54

Resultater viser ikke tilfredsstillende sikkerhet i Sanddalen, og det anbefales å utføre erosjonssikring på områder som viser erosjon for å unngå reduksjon av stabiliteten.

3.2.2 Sikringstiltak i Sanddalen

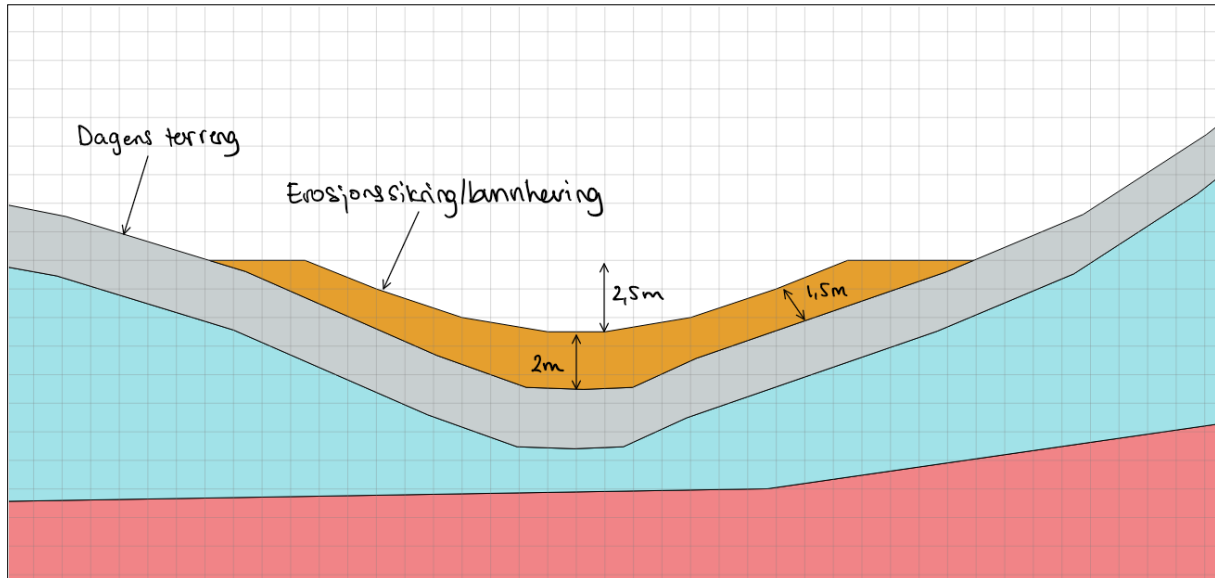
Videre anbefales det med sikringstiltak i Sanddalen i kritisk område. Fra befaringsnotat utført av Multiconsult november 2022 [20] og Verkis april 2025 [16], viser det overflateglidning og erosjon i Sanddalen, se Figur 49. Rød linje viser erosjon observert fra Verkis, samt rød stjerne viser overflateutglidning. Blå stjerner viser erosjon og overflateutglidninger dokumentert av Multiconsult [20]. Fra begge observasjonene viser det en større overflate utglidning ved snitt B. Snitt C fra Tabell 9 viser lavest sikkerhetsfaktor. Snitt B og C vurderes videre som mest kritisk.



Figur 49: Rød linje viser erosjon og rød stjerne viser overflateutglidning dokumentert av Verkis [16]. Blå stjerner viser utglidning og erosjon dokumentert av Multiconsult [20].

I kritisk snitt er det anbefalt med sikringstiltak, og det er utført beregninger og vurderinger med følgende alternativer:

- A. Etablering av erosjonssikring med bunnheving
- B. Etablering av motfylling med en vesentlig forbedret sikkerhet i kritiske snitt



Figur 50: Prinsippskisse med erosjonssikring med bunnheving.

Det er videre vurdert at alternativ A med erosjonssikring og bunnheving som aktuell i denne fasen, da denne løsningen kan utføres raskere. Erosjonssikring av vassdrag i ravinert terreng vil i stor grad redusere risikoen for naturlig utløste skred, og vurderes derfor som det mest hensiktsmessige tiltaket for dette prosjektet. Figur 50 representerer en prinsippskisse for erosjonssikring med bunnheving. Det er utført en foreløpig vurdering med bunnheving på 2,0 m og sideskråning med mektighet 1,5 m hvor sideskråning er 2,5 m over bunnnivå. Overslagsberegning gir volumanslag på ca. 45 m³ per løpemeter i ravinedal.

En foreløpig stabilitetsberegning viser økning av sikkerhetsfaktor ved etablering av erosjonssikring med bunnheving.

Tabell 10: Kritisk snitt vurderes med sikringstiltak.

Dreneringstype	Udrenert	Drenert
Jordmodell	NGI-ADP	Hardening Soil
Snitt B	1,24	1,91
Snitt C	1,18	1,54

Ved bunnheving kan det være nødvendig å etablere anleggsvei i elva, eventuelt på begge sider, for å nå langt nok ut med gravemaskin. Behovet avhenger av lokal topografi og vassdragets størrelse. Det er viktig å starte utfyllingen godt utenfor skråningsfoten slik at massenes vekt bidrar til bedre stabilitet. Utførelsen skal planlegges og beskrives i prosjekteringen, og prinsippene skal følge krav og retningslinjer i henhold til Sikringshåndboka [21]. Mer detaljerte vurderinger av utforming, utstrekning og oppdaterte volumberegninger må gjennomføres i en senere fase.

3.3 Videre arbeid

Stabilitetsberegninger viser ikke tilstrekkelig med stabilitet og ikke tilfredsstillende sikkerhet i henhold til krav fra NVE Kvikkleireveileder. Det anbefales å supplere med grunnundersøkelser i videre arbeid. Supplerende grunnundersøkelser bør tilpasses tiltak som skal utføres, men bør innebære flere totalsonderinger og trykksøndering, samt prøvetaking og laboratorietester som ødometertest og triaks. Det er kun tatt poretrykksmåling ved et punkt, men det bør tas ved flere område på platået, og spesielt i skråning og ved skråningsfot. Det bør tas flere fjellkontrollboringer for å kartlegge bergets topografi.

På grunn av områdets topografi og grunnforhold, samt krevende tilkomst, er det tatt begrenset med grunnundersøkelser. Dette gir en usikkerheten i vurderinger og beregninger. Det er anbefalt i neste fase å supplere med grunnundersøkelser, spesielt ved Fjellsevja.

Ved utbygging på området skal videre prosjektering vise til tilfredsstillende sikkerhet, og stabiliteten i området må forbedres ved stabiliserende tiltak. Forbedring av skråningsstabiliteten skal innebære avlastning og/eller motfylling. I forbindelse med å øke stabiliteten er det anbefalt å erosjonssikre. På grunn av funn av erosjon i området, og da i ravinebunn, er det anbefalt i prosjekteringsfasen å vurdere å kombinere motfylling med erosjonssikring. Erosjonssikring i bunn kan innebære oppfylling, samt legge eksisterende elv i rør/kulvert.

Videre vurderes hva som kan utløse naturlig skred, da det ikke er planlagt tiltak på området. Risikoen for naturlig utløste skred vurderes ut fra flere forhold og parametere, som blant annet:

- Beregnet sikkerhetsfaktor (kort- og langtidsstabilitet)
- Kritisk glideflates plassering
- Skredmekanisme
- Forekomst av kvikkleire i skråningen
- Grad av erosjon
- Topografiske forhold ved kritisk snitt

Med grunnlag i disse forholdene skal det deretter gjøres spesifikke vurderinger av sikringsbehov for hvert beregningssnitt.

Det presiseres at skråningene i Holendalen må håndteres og ivaretas. På grunn av utbygging av Riksvei 22, vurderes Holendalen av SVV/Multiconsult. Kvikkleireutredning for Holen utføres av Verkis, hvor Holendalen vurderes i denne rapporten. Det må være tydelig hva som sikres av hvem, slik at stabiliteten i Holendalen ikke utelukkes og blir ivaretatt av begge parter.



4 Konklusjon

Det er utført en områdestabilitetsvurdering i Holen for Lillestrøm kommune, i forbindelse med kvikkleireutredning. Tiltaket ligger i en ravinedal og under marin grense, og ligger i en eksisterende kvikkleiresone. Tiltaket kvalifiseres i tiltakskategori K4 og områdestabilitetsvurdering skal kvalitetssikres av et uavhengig foretak.

Det er utført grunnundersøkelser som viser generelt store dybder, opptil 30 m, med leire under et tørrskorpelag. Det er ikke boret i berg. Det er påvist et tykt sammenhengende lag av sprøbrudd/kvikkleire i flere borpunkter, og det er antatt at nedre halvdel av borede dybder er kvikkleire og øvre halvdel er leire. Befaring på området viser erosjon i elv og utgraving ved ravinebunn. Det er utført en soneutredning på eksisterende kvikkleiresone, hvor sonen er oppdatert.

For tiltak i tiltakskategori K4 skal skråningsstabiliteten vise tilfredsstillende sikkerhetskrav i henhold til NVEs Kvikkleireveilederen [18]. Tiltak i området krever en forbedring av sikkerheten. Områdestabilitetsvurdering viser ikke tilstrekkelig med sikkerhet, og det er behov for sikringstiltak for å forbedre skråningsstabiliteten ved en eventuell utbygging. I forbindelse med sikringstiltak, er det anbefalt å erosjonssikre området. På grunn av utbygging for Rv. 22 planlegges det sikringstiltak ved Holendalen, og Sanddalen vurderes derfor for kritisk i dette prosjektet, gitt at sikringstiltak ved Holendalen utføres. Det anbefales å erosjonssikre med bunnheving ved Sanddalen for å redusere erosjon og øke stabiliteten i kritiske skråninger. Dette må prosjekteres nærmere i neste fase. Samtidig anbefales det å supplere med grunnundersøkelser i området, da dette kan redusere usikkerhetene og gi en større oversikt av grunnforholdet og bedre bestemmelse av styrke- og deformasjonsparametere.



Vedlegg

Vedlegg 1 – Datarapport 2025

Datarapport – 24164001-RIG-RAP-01-Datarapport

Vedlegg 2 – Befaringsnotat

Befaringsnotat Holen – 24164001-RIG-NOT-01- Befaringsnotat Holen

Vedlegg 3 – Soneutredning

Soneutredning Holen – 24164001-RIG-NOT-03- Soneutredning Holen

Vedlegg 4 – Geotekniske tegninger

Geoteknisk plantegning og snitt

Vedlegg 5 – Beregninger

Plaxisberegninger – Kritisk bruddsirkel med SF

Vedlegg 6 – CPTu-ark

CPTu-ark fra Statens vegvesen

Referanser

- [1] NVE, *Veileder 1/2019 Sikkerhet mot kvikkleireskred. Vurdering av områdestabilitet ved arealplanlegging og utbygging i områder med kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper.*
 - [2] NVE, «Ekstern rapport 9/2020. Oversiktskartlegging og klassifisering av faregrad, konsekvens og risiko for kvikkleireskred.,» 2020.
 - [3] Kartverket, «Norgeskart,» [Internett]. Available: www.norgeskart.no.
 - [4] Multiconsult, 10227544-01-RIG-NOT-008 Rv. 22 Kryssing av Glomma, Garderveien - Kringenkrysset, 15.11.2022.
 - [5] NVE, «Temakart Bratthetskart,» [Internett]. Available: <https://temakart.nve.no/tema/bratthet>.
 - [6] Kartverket, «Høydedata,» [Internett]. Available: www.hoydedata.no.
 - [7] NGU, «Løsmasser - Nasjonal løsmassedatabase,» [Internett]. Available: https://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/.
 - [8] NVE, «NVE Atlas,» [Internett]. Available: <https://atlas.nve.no/>.
 - [9] Multiconsult, «10227544-01-RIG-RAP-003 Rv. 22 Kryssing av Glomma, Garderveien - Kringenkrysset. Geoteknisk vurderingsrapport reguleringsplan, delstrekning Garderveien-Kulturkvartalet,» 02.02.2024.
 - [10] Verkis AS, 2024-075-24164001-RIG-NOT-01-Soneutredning - Holen, Lillestrøm kommune, 2025.
 - [11] NGU, «NADAG - Nasjonal database for grunnundersøkelser,» [Internett]. Available: https://geo.ngu.no/kart/nadag_mobil/.
 - [12] Multiconsult, «10227544-01-RIG-RAP-002 Rv. 22 Kryssing av Glomma, Garderveien - Kringenkrysset. Datarapport – Geotekniske grunnundersøkelser,» 17.11.2022.
 - [13] Multiconsult, «100030-1 Jordras Sanddalen. Grunnundersøkelser. Geoteknisk vurdering,» 26.01.2000.
 - [14] Multiconsult, «110563-1 Jordras Sandsdalen. Grunnundersøkelser datarapport,» 02.12.2002.
 - [15] Verkis AS, «24164001-RIG-RAP-001 Holen. Geoteknisk datarapport,» 2025.
 - [16] Verkis, 24164001-RIG-NOT-001 Utredning av kvikkleiresone 705 Holen. Befaringsnotat, 2025.
 - [17] Statens Vegvesen, Håndbok V220 - Geoteknikk i vegbygging, Vegdirektoratet, 2023.
 - [18] Norges vassdrags- og energidirektorat, «Veileder nr. 1/2019, Sikkerhet mot kvikkleireskred,» Norges vassdrags- og energidirektorat, Oslo, 2020.
 - [19] Statens vegvesen, Håndbok 016 - Geoteknikk i vegbygging, Vegdirektoratet, 2009.
 - [20] Multiconsult, 10227544-01-RIG-NOT-003_rev00 - Geoteknisk befaringsrapport Holen, 2022.
 - [21] NVE, «Sikringshåndboka,» 02.09.2025. [Internett]. Available: <https://veiledere.nve.no/sikringshandboka/>. [Funnet 22 09 2025].
 - [22] Norsk Standard, Eurokode 7: Geoteknisk prosjektering. NS-EN 1997-1:2004+A1:2013+NA:2016, Standard Norge, 2016.
 - [23] Norsk Standard, Eurokode 0 - Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner. NS-EN 1990:2002+A1:2005+AC:2010+NA:2016., Standard Norge.
-



- [24] Norsk Standard, Eurokode 1: Laster på konstruksjoner. NS-EN 1991-2:2003+NA:2010, Standard Norge, 2010.
 - [25] NGI, Kartlegging av områder med potensiell fare for kvikkleireskred, 1989.
 - [26] NVE , «Oversiktskartlegging og klassifisering av faregrad, konsekvens og risiko for kvikkleireskred. Metodebeskrivelse,» 2020.
-