

# Forbedring av stabiliserings- forhold og ero- sjonssikring av Bøbekken

---

RIG08 – Utredning av områ-  
destabilitet

---

---

18. NOVEMBER 2021

# Innhold

Prosjekt nr.: 15201  
Dokument nr.: RIG-08  
Revisjon 01

Utarbeidet av CHKS  
Kontrollert av JAJE  
Godkjent av WSAH

<b>1</b>	<b>Innledning</b>	<b>5</b>
1.1	Orientering	5
<b>2</b>	<b>Regelverk og krav</b>	<b>6</b>
2.1	Regelverk	6
2.2	Krav til sikkerhet og kvalitetssikring	6
2.2.1.1	Sikkerhetskrav titakskategori K4	6
2.2.2	Krav til kvalitetssikring	7
<b>3</b>	<b>Grunnlag – identifikasjon av potensielt løsneområde</b>	<b>8</b>
3.1	Områdebeskrivelse og topografi	8
3.2	Tidligere kartlegging	9
3.3	Marin grense	10
3.4	Kvartærgeologi	11
3.5	Grunnundersøkelser	12
3.6	Grunn- og poretrykksforhold	15
3.6.1	Poretrykksforhold	15
3.6.2	Grunnforhold	16
3.6.3	Påviste forekomster av sprøbruddmateriale og kvikkleire	16
3.6.4	Løsmassemekting	21
3.7	Identifikasjon av kritiske skrånninger og mulig løsneområde	22
3.7.1	Sør for Bøbekken	22
3.7.2	Nord for Bøbekken	23
<b>4</b>	<b>Befaring</b>	<b>24</b>
4.1	Befaring langs Bøbekken – dagens situasjon og erosjonsforhold	24
4.2	Befaring i området – forekomster av berg i dagen	33
<b>5</b>	<b>Aktuelle skredmekanismer og avgrensning av faresone</b>	<b>37</b>
5.1	Sør for Bøbekken.	37
5.1.1	Aktuelle skredmekanismer	37
5.1.2	Avgrensning av faresone.	37
5.2	Nord for Bøbekken.	40
5.2.1	Aktuelle skredmekanismer	40
5.2.2	Avgrensning av faresone.	40
<b>6</b>	<b>Klassifisering av faresone</b>	<b>42</b>

---

6.1	Sør for Bøbekken	42
6.2	Nord for Bøbekken	44
<b>7</b>	<b>Kritiske snitt og materialparametere</b>	<b>46</b>
7.1	Kritiske snitt	46
7.2	Materialparametere	47
7.2.1	Styrkeparametere	47
7.2.1.1	Naturlige masser	47
7.2.1.2	Tilførte masser	47
7.2.1.3	Materialer benyttet i slide2	48
7.2.2	Materialparametere avledet fra lab	49
7.2.2.1	Ødometer	49
7.2.2.2	Treaksialforsøk	49
7.2.3	ADP-faktorer	51
7.2.4	Kvalitet CPTu forsøk	52
<b>8</b>	<b>Stabilitetsvurderinger</b>	<b>53</b>
8.1	Forutsetninger	53
8.2	Beregninger	53
8.2.1.1	Seksjonsvis utgravning	61
8.3	Oppsummering	61
<b>9</b>	<b>Stabiliserende tiltak</b>	<b>62</b>
9.1	Bekkebunnsheving	63
9.1.1	Anleggsgjennomføring	63
9.2	Erosjonssikring langs Bøbekken	65
9.2.1	Sprengsteinplastring	65
9.2.1.1	Maynords formel	66
9.2.1.2	Nødvendig $D_{30}$ i henhold til Maynords formel	66
9.2.1.3	Fotgrøft	69
9.2.1.4	Erosjonssikring langs bunnen	69
9.2.2	Etablering av tørrmur	70
9.3	Prosjektering, kontroll og oppfølging av tiltak	71
<b>10</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>72</b>
<b>11</b>	<b>Referanser</b>	<b>74</b>

---

# Vedlegg

---

<b>Vedlegg A, Utførte grunnundersøkelser</b>	<b>A1</b>
<b>Vedlegg B, Plankart og tverrprofil</b>	<b>B1-B7</b>
<b>Vedlegg C, Stabilitetsberegninger</b>	<b>C1-C140</b>
<b>Vedlegg D, SuA tolkningsprofil og NIFS 2015 resultat (CPTu)</b>	<b>D1-D36</b>
<b>Vedlegg E, Hydrogeologisk modellnotat (Vannstandmodell)</b>	<b>E1-E18</b>
<b>Vedlegg F, Stabil D30 steinstørrelse v/Maynords formel</b>	<b>F1</b>
<b>Vedlegg G, Metodebeskrivelse (ADP i SLIDE)</b>	<b>G1-G2</b>
<b>Vedlegg H, Beregninger med seksjonsvis utgravning</b>	<b>H1-H4</b>
<b>Vedlegg I, Grafisk tolkning av ødometerkurver</b>	<b>I1-I5</b>

# 1 Innledning

## 1.1 Orientering

Det har blitt gjort funn av sprøbruddsmateriale i område rundt Bøbekken i Slemmestad, Asker kommune, Viken. Et eventuelt retrogressivt skred vil kunne ha konsekvens for flere mennesker da Bøbekken befinner seg i umiddelbar nærhet til en barneskole og privatboliger (se kart i Figur 1-1). Det har derfor blitt bestemt at områdestabiliserende tiltak skal iverksettes. Tiltakene vil omfatte heving av bekkebunnen med sprengstein, stedvis utslaking av bratte skråninger og erosjonssikring/plastring av bekkebunn og sideskråninger.

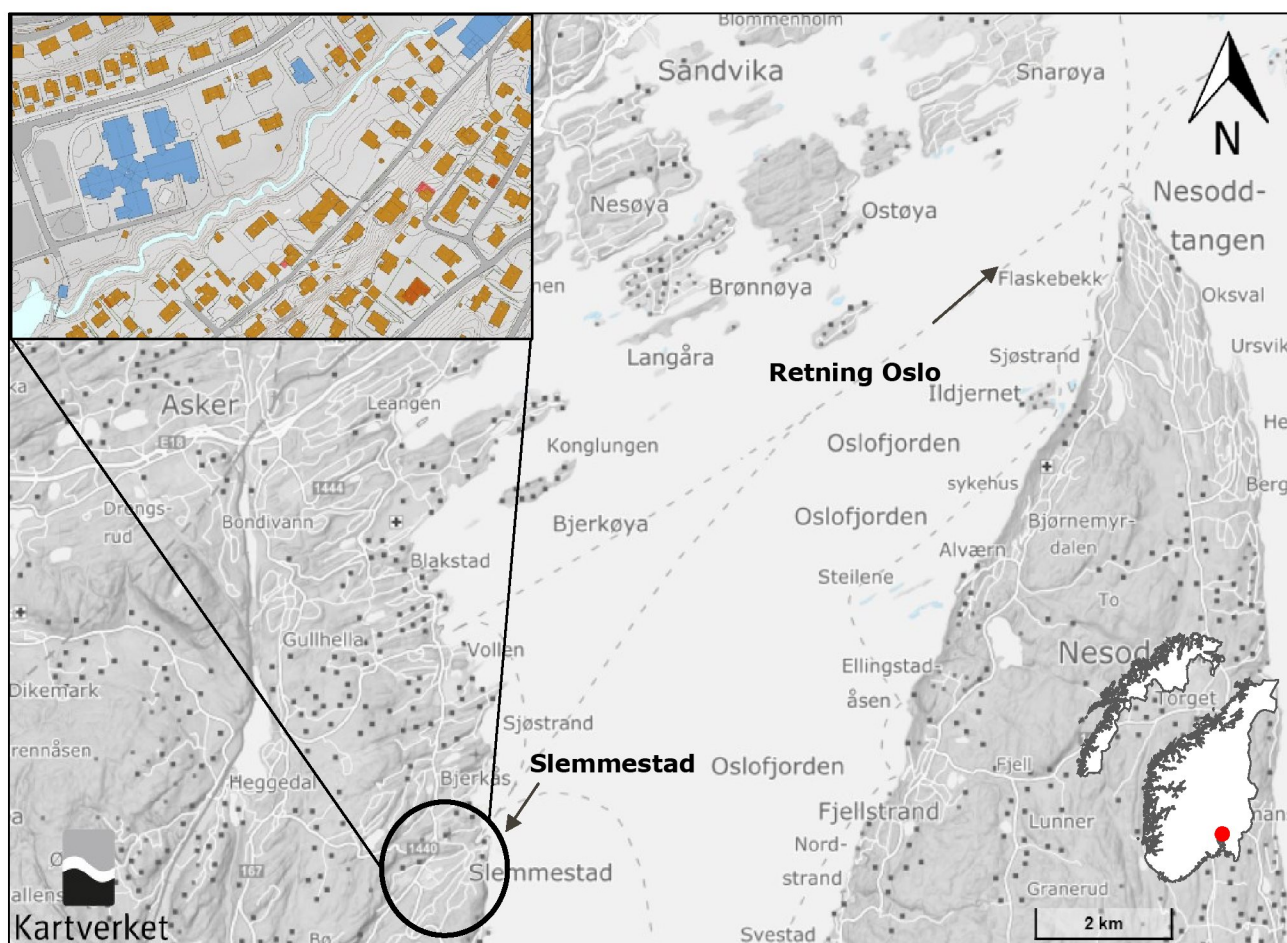
NIRAS Norge har blitt engasjert som Rådgivende Ingeniør Geoteknikk (RIG) av totalentreprenør PA entreprenør med Asker kommune som byggherre.

Prosjektet området plasseres i tiltakskategori **K4** etter dialog med NVE. Grunnen er prosjektets nærhet til skole og barnehage, samt et større antall bolighus.

De aktuelle stegene i NVE veilederen som medgår i denne rapporten er steg 1 - 11 av Tabell 3.1 i NVE veileder 1/2019 [1].

For konsekvenser og hensyn ovenfor miljø henvises det til egen miljøtekniskrapport utarbeidet av NIRAS Norge AS i forbindelse med prosjektet – *Miljøtekniske undersøkelser og tiltaksplan* [2].

Kapittelinnelingen i rapporten er i samsvar med inndelingen oppgitt i vedlegg 1 fra NVE veileder 1/2019 [1].



Figur 1-1 Plassering av Prosjektområdet i Slemmestad i forhold til Oslofjorden og Sandvika. Slemmestad befinner seg i Asker kommune, Viken. **Kilde:** [Norgeskart](#)

## 2 Regelverk og krav

### 2.1 Regelverk

Områdestabilitetsvurderingene som presenteres i denne rapporten er utført i henhold til NVEs veileder 1/2019 «Sikkerhet mot kvikkleireskred» [1] sammen med NVE ekstern rapport 9/2020 «Oversiktskartlegging og klassifisering av faregrad» [3].

NVE veileder 1/2019 gjelder som veileder til TEK17, som er teknisk forskrift til Plan & Bygningslovens (PBL) kap.28: «Krav til byggetomta og ubebygde areal».

Ved å følge NVE veileder 1/2019 innfris kravet i PBL vedrørende gjennomføring av skredfareutredning i forhold til kvikkleireskred.

### 2.2 Krav til sikkerhet og kvalitetssikring

Krav til sikkerhet i områdestabilitetsberegninger avhenger av valgt tiltakskategori i henhold NVE veileder 1/2019. Avhengig av tiltakskategori vil også krav til kvalitetssikring variere.

Sikringsarbeidet plasseres i tiltakskategori K4. Beskrivelse av tiltakskategori K4 og resulterende krav til sikkerhet er som følger:

*Tiltak som medfører større tilflytting/personopphold, samt tiltak som gjelder viktige samfunnsfunksjoner.*

*Eksempler: Bolighus/fritidsboliger med mer enn to boenheter, sykehjem, sykehus, skoler, barnehager, idrettshaller, utendørs publikumsanlegg og nærings- og industribygg. [1].*

#### 2.2.1.1 Sikkerhetskrav tiltakskategori K4

For tiltak som ikke forverrer stabiliteten er kravet til sikkerhet  $F_{cu} \geq 1,40$  og  $F_{c\phi} \geq 1,25$ .

Ved tiltak som forverrer stabiliteten stilles det krav til en absolutt sikkerhetsfaktor  $F_{cu} \geq 1,40 \cdot fs$  hvor  $fs$  er sprøhetsforholdet lik 1,15 jfr. kap. 5.3.3 i NVE veileder 1/2019 [1].

Det bemerkes, at metodene med prosentvis forbedring og vesentlig prosentvis forbedring beskrevet i NVE veileder 1/2019 bare kan benyttes dersom det gjøres topografiske endringer eller benyttes lette masser. Dersom det benyttes grunnforsterkning for å bedre stabilitetsforholdet må en oppnå beregningsmessig sikkerhet på minst 1,4 i permanent situasjon.

### 2.2.2 Krav til kvalitetssikring

For tiltak i tiltakskategori K4 forutsettes i henhold til NVE veileder 1/2019 at utredningen må kvalitetssikres av uavhengig foretak (3. parts kontroll). Følgende anbefalinger rundt prinsippene for uavhengige kontroll legges til grunn:

Hovedformålet med den uavhengige kvalitetssikringen er å kontrollere at følgende utredninger er i samsvar med veilederen og har tilstrekkelig kvalitet:

- *Om faresonen er korrekt avgrenset og klassifisert etter faregrad, og at rett tiltakskategori er valgt.*
- *Om utførte grunnundersøkelser gir tilstrekkelig grunnlag for de geotekniske vurderingene.*
- *Tolkningen av jordparametere basert på tilgjengelig informasjon.*
- *Vurdering av utførte stabilitetsanalyser inklusiv benyttede lagdelinger/parametre og regnemodeller, med enkle overslagsbetraktninger for grov stikkprøvekontroll (uten egne detaljerte stabilitetsanalyser på terrengmodellen).*
- *Om valgte kritiske profiler for stabilitetsanalyser er dekkende, og vurdering av konklusjoner og begrunnelser ut fra situasjon og beregningsresultater.*
- *Vurdering av nødvendighet/effekt av foreslåtte og/eller planlagte stabiliserende tiltak og prinsipp for utførelse av disse.*

Utført kvalitetssikring må beskrives og dokumenteres av det uavhengige foretaket som utfører kvalitetssikringen.

Den prosjekterende (NIRAS Norge AS) har ansvar for å følge opp innspill fra den uavhengige kvalitetssikringen og står ansvarlig for det endelige produktet.

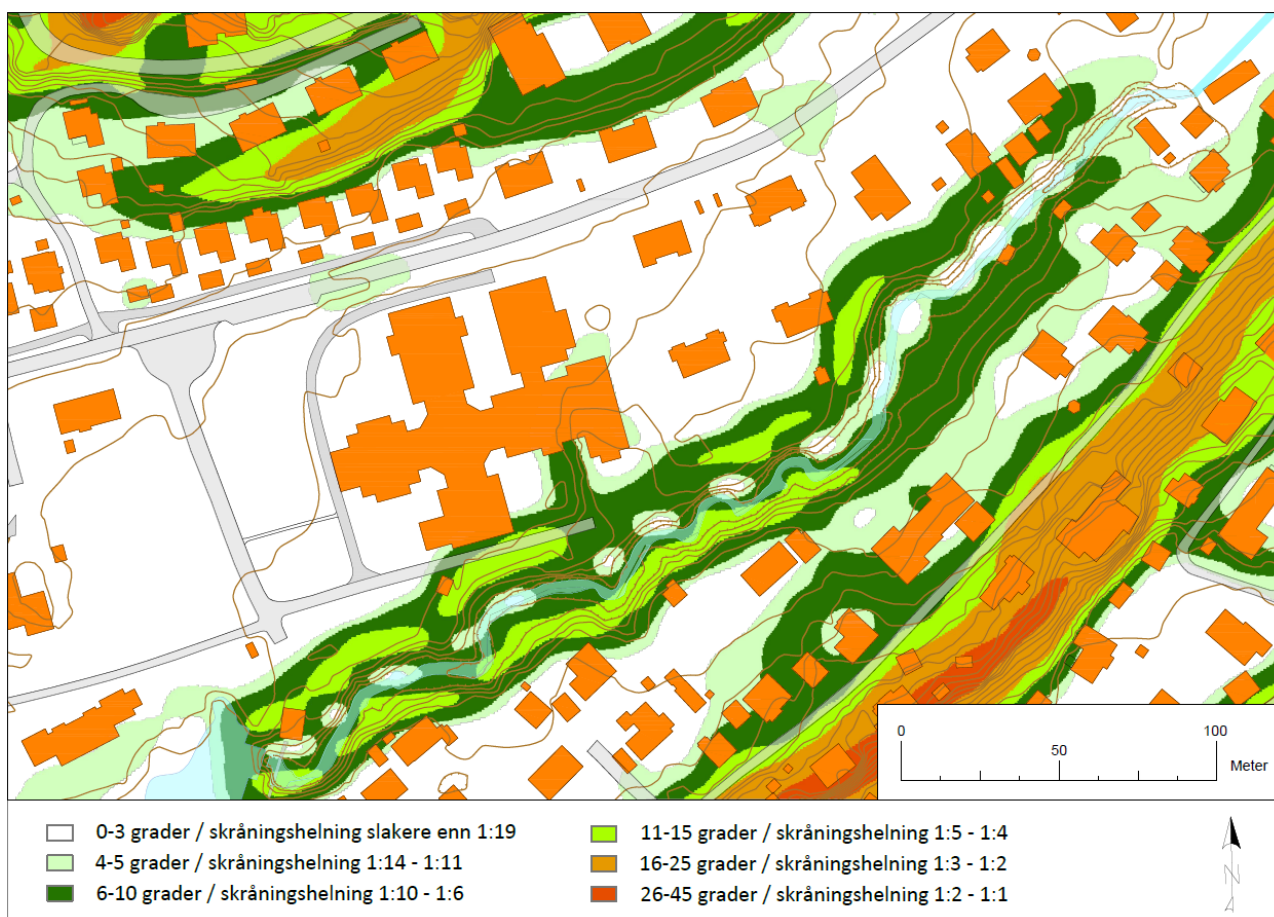
### 3 Grunnlag – identifikasjon av potensielt løsneområde

#### 3.1 Områdebeskrivelse og topografi

Området sør for, og langs med Bøbekken består hovedsakelig av privatboliger. Nord for bekken ligger Slemmestad barneskole sammen med enkelte privatboliger, se kart i Figur 3-1. Bekken løper ca. 400 m fra dagens demning i vest til kulvertinnløpet mot øst. Fra vannstanden bak dagens demning og ned til bekken er det et fall på ca. 3 meter. Videre nedstrøms fra demningen til kulvertinnløpet er fallet tilnærmet 2 meter tilsvarende et gjennomsnittlig fall på 5 promille.

Området rundt Bøbekken er forholdsvis flatt mot nord og noe brattere mot sør (se kart i Figur 3-1). Skråningene langs bekkeløpet har generelt en helning på 1:10 – 1:4 mot sør-vest og noe slakere terreng med en helning på 1:14 – 1:6 mot nord-øst (se Figur 3-1). Terrengen er stedvis brattere enn kartet klarer å gjengi, enkelte skråninger ble observert under befaring med en helning tilnærmet 1:1 (~45 grader). Skråningshøyden langs Bøbekken er rundt 6 meter mot sør-vest, høyden reduseres til rundt 4 meter mot nord-øst.

Under prosjekteringen er følgende DTM modell benyttet (fra hoydedata.no) - NDH Lier-Røyken-Hurum-Svelvik 5 pkt 2017.

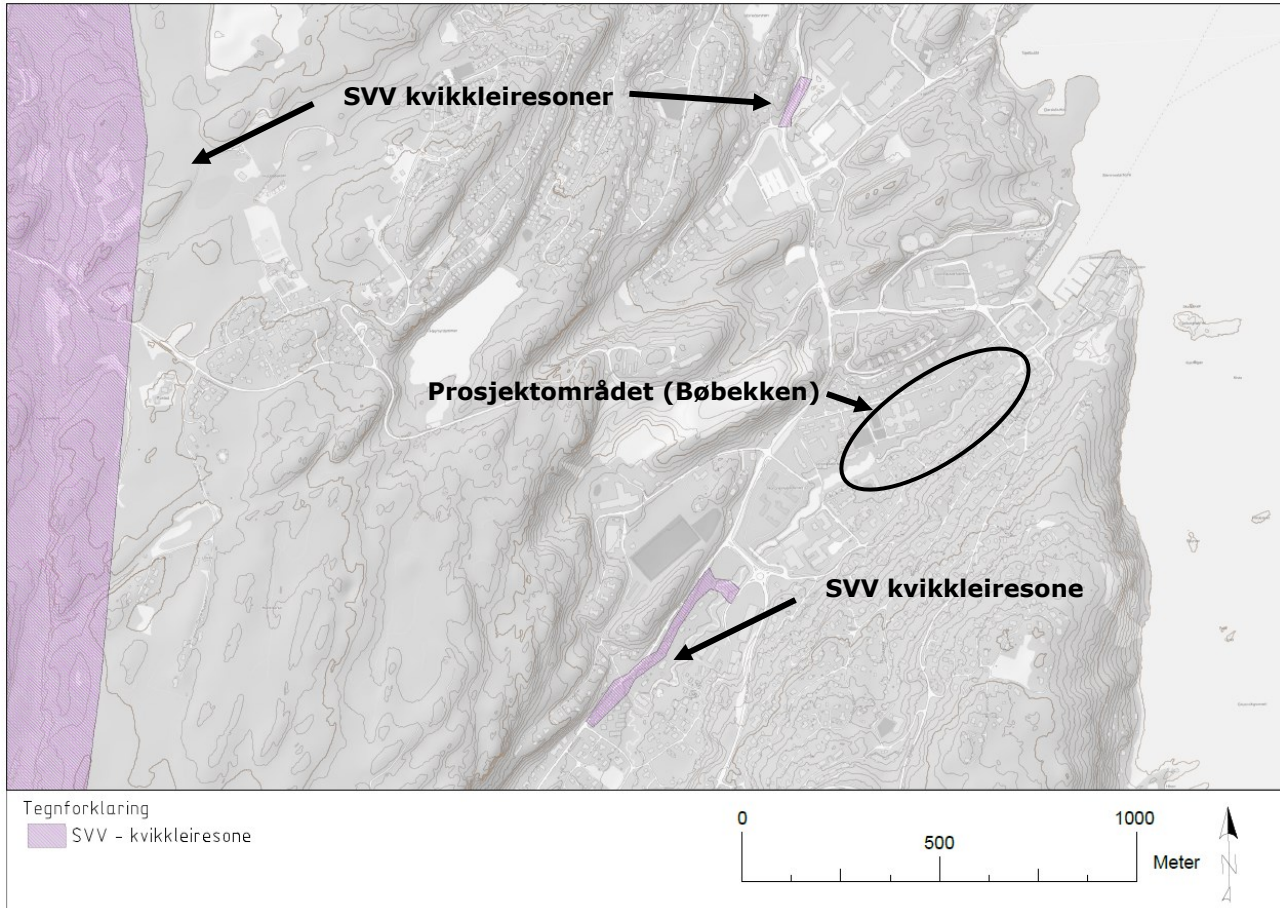


Figur 3-1 Helning (grader) av områdene rundt Bøbekken. Generelt har skråningene langs Bøbekken en helning på 6 - 15 grader.



### 3.2 Tidligere kartlegging

Det finnes ingen tidligere kartlagte NVE faresoner i umiddelbar nærhet til prosjektområdet. Nærmeste NVE kvikkleiresone er «321 Gullaug» 11 km mot sør-vest. Det eksisterer noen SVV kvikkleiresoner i nærområdet, hvor den nærmeste befinner seg ca. 500 m mot sør-vest. Se oversiktskart i Figur 3-2.

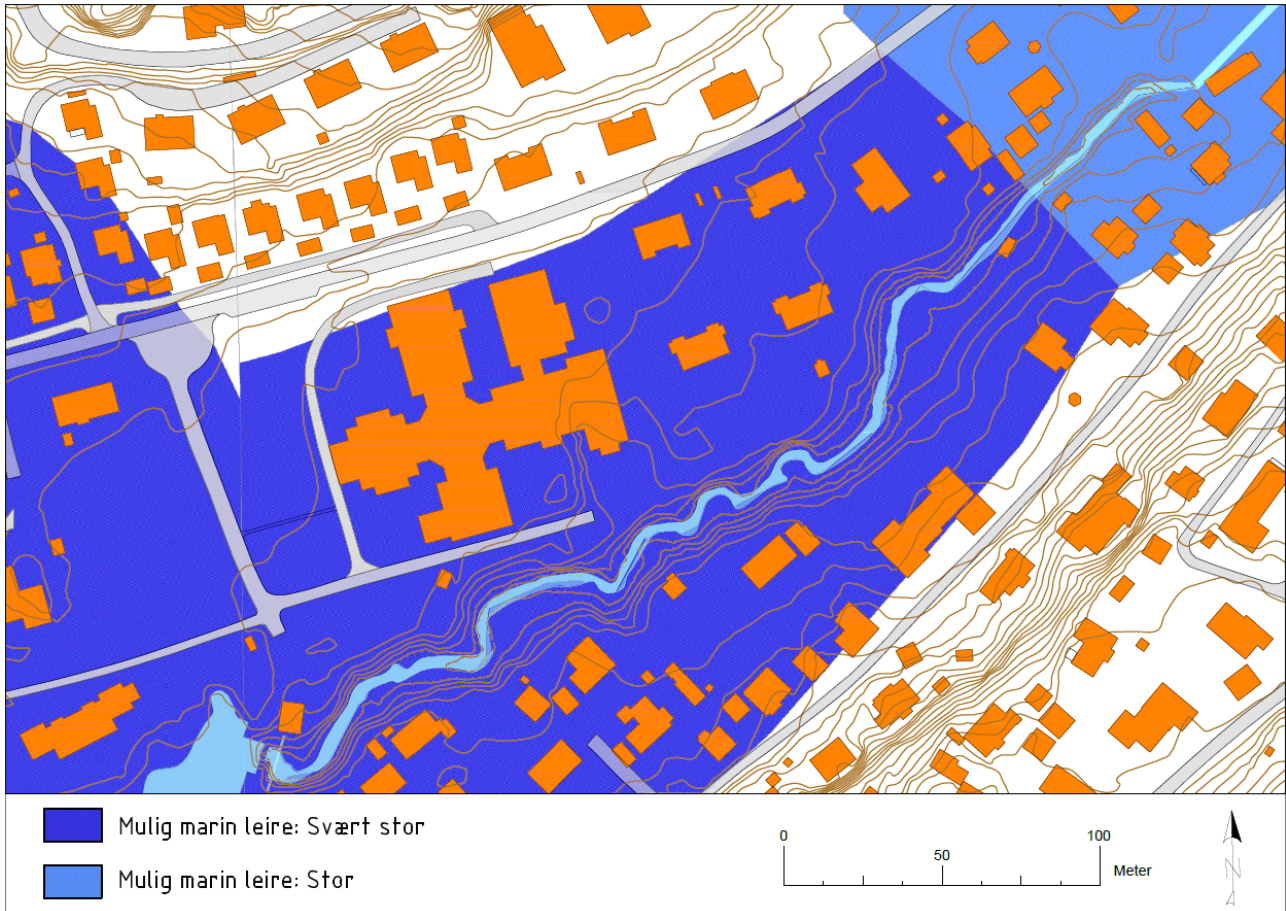


Figur 3-2 Oversiktskart over nærliggende SVV kvikkleiresoner. Det er ingen NVE kvikkleiresoner i umiddelbar nærhet til prosjektområdet.

### 3.3 Marin grense

Ifølge NGU sitt MML-kart befinner prosjektområdet seg helhetlig under marin grense og i en sone med stor til svært stor sannsynlighet for marin leire (se kart i Figur 3-3).

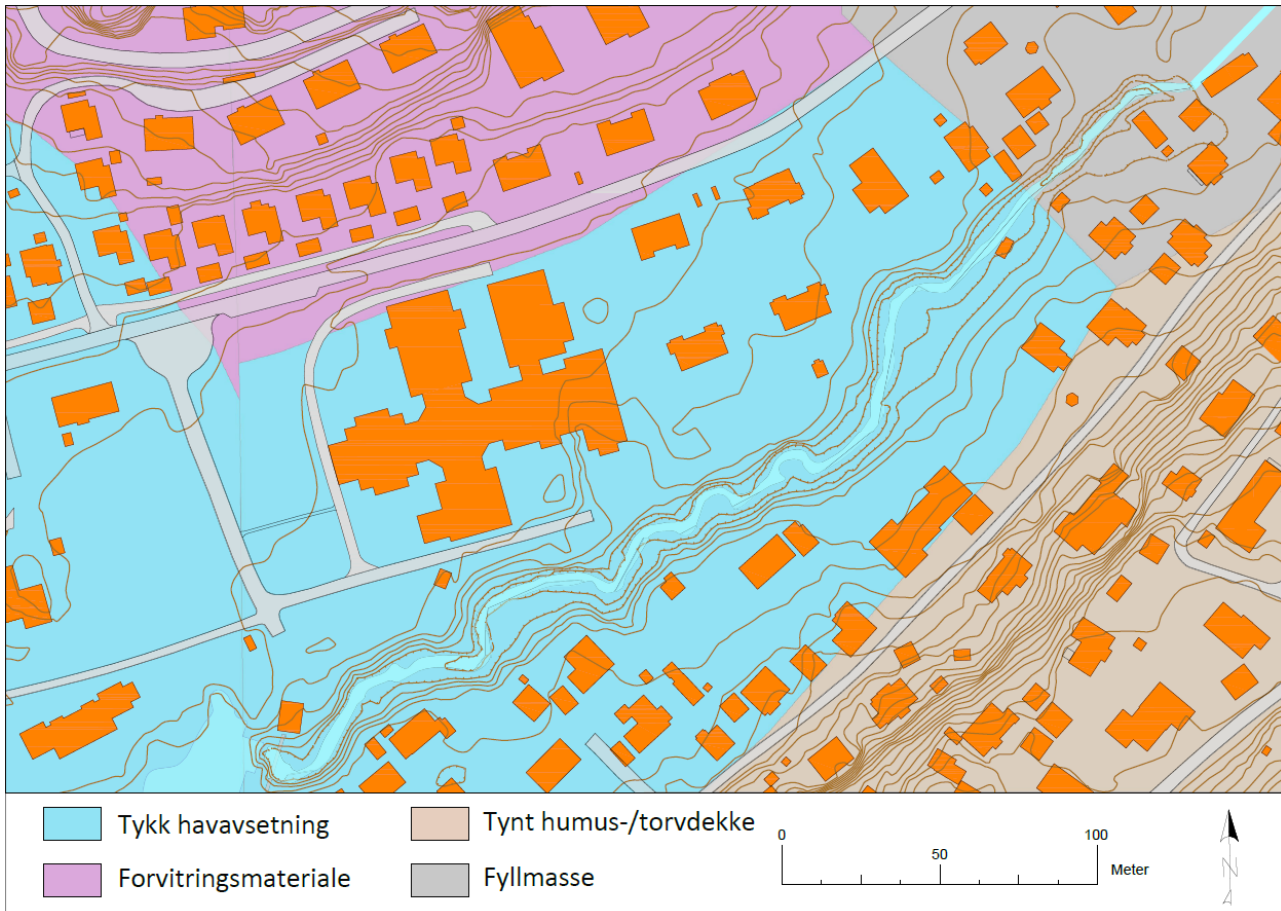
Det er påvist sprøbruddsmaterial og kvikkleire i prøveserier hentet opp under tidligere og supplerende grunnundersøkelser innenfor prosjektområdet.



Figur 3-3 NGU sitt kart over marin grense (MG) og mulighet for marin leire. Prosjektområdet befinner seg helhetlig under marin grense og i en sone med stor sannsynlighet for marin leire. **Kilde:** [NGU](#).

### 3.4 Kvartærgeologi

Ifølge NGU sitt kvartærgeologiske kart består løsmassene i prosjektområdet hovedsakelig av en «tykk havavsetning» med en mindre sone «fyllmasse» mot nord-øst, se kart i Figur 3-4. Havavsetninger består ofte av finkornige, marine avsetninger med mektighet fra 0,5 m til flere ti-tall meter. NGU sitt kart gir alene opplysninger om opprinnelsen til de øverste avsetningene, og det kan trolig forekomme andre avsetninger (eksempelvis morene avsetninger) med dybden. I nærhet til prosjektområdet er det en avsetning bestående av «forvittringsmateriale» mot nord og en «Tynt humus-/torvdekke» avsetning mot sør.



Figur 3-4 NGU sitt kvartærgeologiske kart over løsmassene innenfor prosjektområdet. Bøbekken befinner seg hovedsakelig innenfor en «Tykk havavsetning» og innenfor ett mindre område bestående av «Fyllmasse» mot nord-øst.

Kilde: [NGU](#).

### 3.5 Grunnundersøkelser

I forbindelse med planlegging av områdestabiliserende tiltak langs Bøbekken i Slemmestad, er det utført supplerende grunnundersøkelser i tillegg til de allerede eksisterende undersøkelsene i området, se rapportoversikt i Tabell 3.1. Resultater fra de prosjektspesifikke undersøkelsene er beskrevet nærmere i tilhørende datarapporter. En sammenstilling av plasseringen til de ulike grunnundersøkelsene fremgår av Figur 3-5.

Tilsvarende kart i A1-format finnes i vedlegg A.



Figur 3-5 Oversiktskart over tidligere (svart) og supplerende (blå) borepunkt langs Bøbekken med utført ERT (rød) og seismiske linjer (grønn) markert.

For å utrede områdestabiliteten langs Bøbekken er følgende rapporter benyttet:

Tabell 3.1 Dokumenter/rapporter som er benyttet under utarbeidelse av områdestabilitetsvurdering

Nr.	Tegning/dokument	Tittel, Utarbeidet av: Årstall
[4]	2913-R1	Grunnundersøkelser – Utredning av områdestabilitet i Slemmestad, Geostrøm AS: 2021
[5]	A066696-RIG-R-01	Bøbekken park, geotekniske grunnundersøkelser, datarapport. COWI AS: 2015
[6]	19137-RIG-01	Bøbekken, Slemmestad – Geoteknisk datarapport. Civil Consulting AS: 2019
[7]	-	Seismiske undersøkelser ved Bøbekken, Slemmestad. Ruden Geo Service: 2021.
[8]	20210464-01-R	ERT Slemmestad – ERT-undersøkelser Bøbekken, Slemmestad. NGI: 2021.

Kortfattet oppsummering av innholdet i de ulike rapportene:

[4] Rapporten er en datarapport utarbeidet av Geostrøm AS i forbindelse med supplerende grunnundersøkelser for områdestabilisering i Slemmestad, Asker kommune. Grunnundersøkelsene er utført i starten av august 2021. Undersøkelsene omfatter 15 totalsonderinger, 7 CPTu-sonderinger, 6 prøveserier (1 poseprøve og 5 Ø54 sylindprøver) og nedsettelse av 6 elektroniske poretryksmålere fordelt på 3 borepunkt langs Bøbekken. Laboratoriearbeidene omfatter rutineundersøkelser samt ødometerforsøk, triaksialtesting og korngradering.

De utførte grunnundersøkelsene indikerer at massene hovedsakelig består av tørrskorpeleire med midtels fast leire derunder, med enkelte innslag av silt. Prøveseriene fra borehull 1, 4, 9 og 15 indikerer leirlag klassifisert som sprøbruddmaterial ( $C_u \leq 1.27$ ). I tillegg indikerer prøveseriene fra borehull 1 og 9 enkelte kvikkleirelag ( $C_u \leq 0.5$ ). Vanninnholdet i massene er hovedsakelig rundt 25 – 35%. Massene klassifiseres som T3/T4 masser. Berg er nådd etter ~1 – 13 meter sondering i alle borepunkt og grunnvannstanden er målt til ~3 – 3.5 meter under terreng i borepunkt 4, 9 og 14.

[5] Rapporten er en datarapport tilsendt NIRAS Norge AS fra Asker kommune og er utarbeidet i forbindelse med oppgradering/anleggelse av park langs Bøbekken, Slemmestad. Undersøkelsene ble utført av COWI AS februar 2015. Feltundersøkelsene omfatter 13 totalsonderinger, 1 vingeboring, 3 CPTu-sonderinger, nedsettelse av 5 poretryksmålere i 3 borepunkt, 34 stk Ø54 prøvesylindere og 9 stk poseprøver fordelt på 4 borepunkt. Rutineundersøkelser er gjennomført på prøvene. Det er utført treaksialforsøk i én dybde og ødometerforsøk i to dybder på prøven fra punkt 106.

Grunnundersøkelsene indikerer hovedsakelig tørrskorpeleire, derunder bløt til midtels fast leire ned til berg. Leiren betegnes som noe siltig og stedvis kvikk fra 6 – 8.5 meter under terreng i borepunkt 114. Berg er påvist på 3 – 15 meters dyp. Grunnvannsstand er påvist på 2.2 meters dyp mot sør-vest og 3.1 meters dyp mot nord-øst.

[6] Rapporten er en datarapport tilsendt NIRAS Norge AS fra Asker kommune og er utarbeidet i forbindelse med etablering av ny VA-ledning langs Bøbekken. Feltarbeidet ble utført av Romerike Grunnboring AS i perioden 2 – 11. Juli 2019 og omfatter 9 totalsonderinger, 8 CPTu-sonderinger, 7 vingeboringer og det er tatt opp 2 sylindprøveserier (diameter ikke oppgitt).

Grunnundersøkelsene indikerer hovedsakelig topplag bestående av 0 – 0,5 m fyllmasser/matjord, derunder tørrskorpeaktig leire/silt til 1,3- 2 meters dyp med bløt til midtels fast leire ( $S_uD 1.5 – 2.9 \text{ kN/m}^2$ ) videre ned til berg som er påvist på 2,7 – 16,2 meters dyp. Grunnvannsstand er ikke påvist/målt.

[7] Rapporten er utarbeidet av Ruden Geo Service og omhandler seismiske undersøkelser utført for å fastslå dybde til berg i området rundt Bøbekken, Slemmestad. Feltarbeidet ble utført 18.03.2021 og omfattet innsamling av seismiske profil ved bruk av slegge og autonome seismiske noder.

Det er tolket antatte sensitive leirer opptredende som lavhastighetssoner i de seismiske profilene jfr. rapporten. De seismiske undersøkelsene indikerer dybde til berg mellom 5 – 12 meter innenfor prosjektorrådet, de største dybdene til berg befinner seg i umiddelbar nærhet til dagens elveløp med størst dybde mot nord-øst.

[8] Rapporten er utarbeidet av NGI og omhandler ERT-profil utført i for fastsettelse av dybde til berg og tykkelse av tørrskorpelag. ERT-data sammen med geotekniske boringer er sammenslått til en bergmodell og tørrskorpemodell. Feltarbeidet ble utført 13.06.2021 – 15.06.2021 og omfatter 6 ERT-profil.

*Bergmodell og tørrskorpemodell utarbeidet fra resultatene inngår som inngangsparameter for videre stabilitetsanalyser i SLIDE2, se ytterligere informasjon i kap. 8.*

## 3.6 Grunn- og poretrykksforhold

### 3.6.1 Poretrykksforhold

Det er i forbindelse med supplerende grunnundersøkelsene installert poretrykksmålere i borepunkt 4, 9 og 14 for måling av poretrykk og grunnvannstand. Poretrykksmålerne er plassert i nærheten av dagens elveløp og i to forskjellige dybder. Se plassering på kart i Figur 3-5.

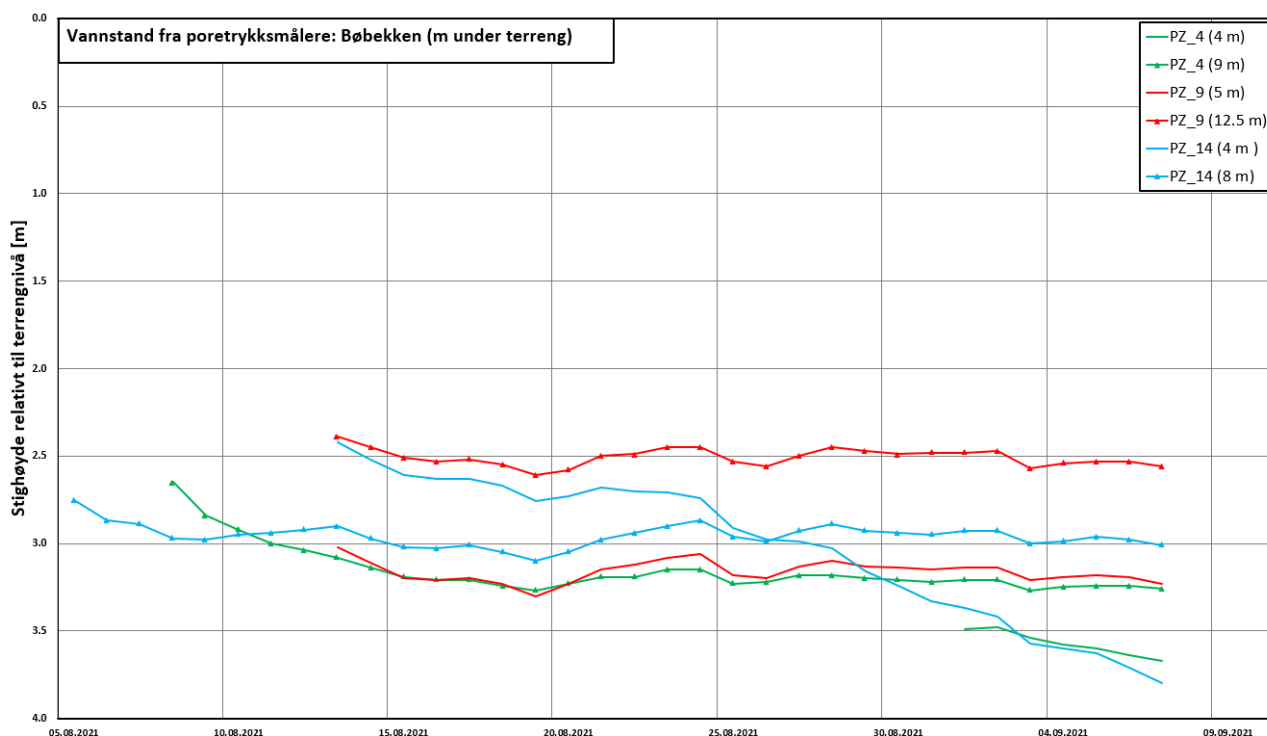
Poretrykksmålerne ble avlest d. 27.08.21 og 07.09.21. I tillegg ble PZ\_4 avlest 31.09.2021. Poretrykksmålerne i borepunktene viser følgende gjennomsnittlige grunnvannsstand; PZ\_4 – 3.4 m, PZ\_9 – 2.8 m & PZ\_14 – 3 m. Informasjonen er gjengitt i Tabell 3.2 og Figur 3 6. Målingene indikerer et artesisk overtrykk med dybden, dette er spesielt tydelig i målingene fra PZ\_9 (rød strek i Figur 3-6). Det virker som grunnvannet følger bekkens fall i lengderetning.

Det er under tidligere undersøkelser blitt etablert peilerør, se nærmere beskrivelse i rapport (A066696-RIG-R-01) [5]. Det er noe usikkerhet rundt plassering og avlesning av peilerørene, derfor er ikke data fra disse tatt med i vurderingene presentert her.

Hydrogeologer i NIRAS Norge AS har utareidet en hydrogeologisk modell basert på fremtidige flomhendelser og dagens situasjon. Se Vedlegg E (E1-E18) for ytterligere informasjon i form av modellnotat.

Tabell 3.2 Gjennomsnittlig målt grunnvannstand fra nedsatte poretrykksmålere.

Bor-hull	Spisskote (m.o.h)	Grunnvannstand (gj.snitt)	
		Under ter-reng (m)	Kote (m.o.h)
4	3.6	3.6	4.0
4	-1.4	3.2	4.4
9	2.1	3.2	3.9
9	-5.4	2.5	4.6
14	1	3	2.0
14	-3	3	2.0



Figur 3-6 Grunnvannsstanden i prosjektområdet rundt Bøbekken. Data hentet fra poretrykksmålere i borhull 4 (Pz\_4), 9 (PZ\_9 og 14 (PZ\_14). Linjer med trekantet markør er vannstanden gitt fra piezometerne med dypere spisskote. Grunnvannet står generelt mellom ~ 2.5 – 3.6 meter under terreng i området ifølge poretrykksdataen innsamlet så langt. Det er indikasjoner på ett artesisk overtrykk med dypet.

### 3.6.2 Grunnforhold

Resultatet av undersøkelser utført i prosjektområdet indikerer hovedsakelig masser bestående av tørrskorpeleire med bløt til middels fast leire derunder. Leiren har enkelte innslag med silt. Enkelte borepunkt indikerer i tillegg topplag bestående av fyllmasse. Samtlige borepunkt indikerer sprøbruddmateriale, ytterligere gjennomgang av dette fremkommer av delkapittel 3.6.3 nedenunder.

Resultater fra utførte grunnundersøkelser viser at løsmassemektingen i området er varierende, berg har blitt påvist på mellom ~1 – 16 meters dyp.

### 3.6.3 Påviste forekomster av sprøbruddmateriale og kvikkleire

Formålet med følgende gjennomgang er å påvise og avgrense områder med forekomst av sprøbruddmateriale og kvikkleire. Grunnlaget for vurderingene er konus-tester utført på Ø54 sylinderprøver samt tolkning av CPTu sonderinger. I tillegg har også totalsonderingsdata blitt tolket i borepunkt uten CPTu eller prøveserier.

Kvaliteten på benyttede CPTu forsøk fremkommer av Tabell 7.7.

Som det fremgår av sammenstillingen i Tabell 3.4 er det totalt påvist masser som kan klassifiseres som sprøbruddmateriale eller kvikkleire i 13 punkter, se Figur 3-8 for ett kart over forekomst av sprøbruddmateriale.

Resultat fra NIFS 2015 (Bq1-Nmc) for samtlige CPTu fremkommer av Vedlegg D.

#### Påviste forekomster av sprøbruddmateriale og kvikkleire

Kriteriene for klassifikasjon av henholdsvis kvikkleire og sprøbruddmateriale angitt i NVE veileder 1/2019 [1] er som følger:

**Kvikkleire:** Leire som i omrørt tilstand har omrørt skjærfasthet  $c_{u,r} \leq 0,5$  kPa, i henhold til NS8015 (dvs. «gammel konusstandard») (3). Etter ISO 17892-6:2017 (6) tilsvarer dette omrørt skjærfasthet på 0,33 kPa (9,0 mm inntrykk på 10 g 60° konus)

**Sprøbruddmateriale (jordarter med sprøbruddegenskaper):** I geoteknisk sammenheng er dette definert som løsmasser (leire og silt) som utviser en utpreget sprøbruddoppførsel, dvs. en betydelig reduksjon i fasthet ved tøyninger ut over tøyning ved maksimal fasthet. Kvikkleire er den mest ekstreme typen sprøbruddmateriale.

Veilederen skal fange opp alle typer skred i leir- og siltematerialer som kan utvikle til større områdeskred. Det er lagt til grunn at slike områdeskred vil kunne oppstå i materiale med omrørt skjærfasthet  $c_{u,r} < 2$  kPa i henhold til NS8015 (dvs. «gammel konusstandard») (3). Etter ISO 17892-6:2017 (6) tilsvarer dette omrørt skjærfasthet på 1,27 kPa (11,2 mm inntrykk på 60g 60° konus). Utførte geotekniske grunnundersøkelser har påvist kvikkleire og sprøbruddmateriale i en rekke punkter. Sprøbruddsmasser har blitt påvist i dybdeintervallet 2-11 m under terreng i enkelte borepunkt.



Se Tabell 3.3or en oversikt over konusstandard benyttet/antatt benyttet i de ulike datarapportene gjennomgått under arbeidet med denne rapporten.

Tabell 3.3 Konusstandard benyttet i de ulike datarapportene benyttet under utarbeidelse av denne rapporten.

Datarapport	Konusstandard
[2913-R1] Grunnundersøkelser – Utredning av områdestabilitet i Slemmestad, Geostrøm AS: 2021 [4]	ISO 17892-6
[A066696-RIG-R-01] Bøbekken park, geotekniske grunnundersøkelser, datarapport. COWI AS: 2015 [5]	NS8015*
[19137-RIG-01] Bøbekken, Slemmestad – Geoteknisk datarapport. Civil Consulting AS: 2019 [6]	NS8015*
*Standard ikke oppgitt, antar NS8015 for å være konservativ.	

### Vurdering av risiko for sprøbruddmateriale og kvikkleire basert på totalsonderinger.

I forbindelse prosjektet og tidligere har det blitt utført 36 totalsonderinger i prosjektområdet.

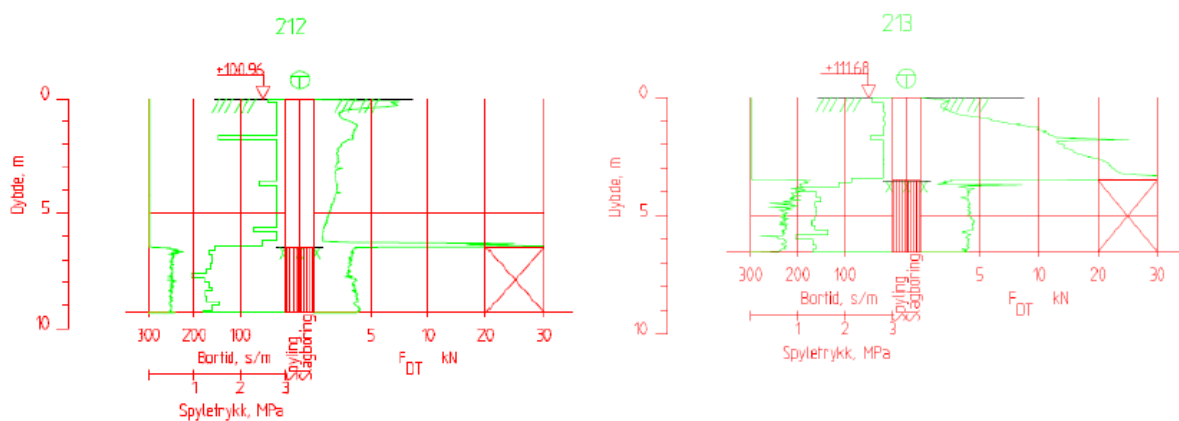
Med tanke på å hente ut informasjon fra disse totalsonderingene har det blitt satt opp følgende kriterier for å vurdere om massene i de enkelte borepunkt klassifiseres som «ikke sprøbruddmateriale» eller som «mulig sprøbruddmateriale».

**Ikke sprøbruddmateriale:** Omfatter totalsonderinger med konstant økende matekraft med dybden og sonderinger med kontinuerlig bruk av slag, spyling eller økt rotasjon. Også borepunkter med løsmasse-mektighet < 2 m omfattes i utgangspunktet av denne kategorien (i henhold til tabell 3.1 pkt. 2 i NVE Veileder 1/2019 [1]).

**Mulig sprøbruddmateriale:** Omfatter totalsonderinger med konstant eller fallende matekraft med dybden samtidig som det ikke er brukt slag, spyling eller økt rotasjon.

I forbindelse med ovenstående inndeling er det generelt sett bort fra de øverste 2-3 m i hver sondering.

Det bemerkes, at tolkning av totalsondering alene ikke er en egnet metode for påvisning av kvikkleire eller sprøbruddmateriale og ovenstående kriterier skal alene brukes på et indikativ nivå. Dersom det i enkelte punkter er vesentlig med sikkerhet å bekrefte eller avkreftede forekomst av kvikkleire eller sprøbruddmateriale må det gjennomføres prøvetaking, CPTu eller vingeforsøk. Viser til eksempler på totalsonderingsprofiler som har blitt tolket på ulikt i Figur 3-7.



Figur 3-7 Eksempel på en totalsondering (212 til venstre) som faller inn under definisjonen for «mulig sprøbruddmateriale» og en totalsondering (213 til høyre) som faller inn under definisjonen for «ikke sprøbruddmateriale».



Figur 3-8 Kartutklipp over påvist sprøbruddmateriale innenfor prosjektområdet. Rød sirkel indikerer borepunkt hvor sprøbruddmateriale er påvist (basert på CPTu og/eller prøveserie), grønn sirkel indikerer ingen sprøbruddmateriale. Gul er totalsonderinger tolket som «sannsynligvis ingen sprøbruddmateriale» og oransje er totalsonderinger tolket som «sannsynligvis sprøbruddmateriale».

Tabell 3.4 Oversikt over hvilke borepunkter som har påvist sprøbruddsmateriale eller kvikkleire. \*Angir punkter der vurdering alene er basert på tolkning av CPTu i henhold til NIFS Bq1-Nmc.

Sør for Bøbekken					
ID	Forsøk	Prøvebeskrivelse	$c_{u,r}$	Sprøbruddsmateriale eller kvikkleire?	Merknad
1	2xØ54 og CPTu	Leire	> 1.26	JA	NIFS 2015 (Bq1-Nmc) indikerer mulig sprøbruddsmateriale mellom ~4 – 6 m dybde og sannsynlig kvikkleire fra 6 – 7.3 m. Det er tatt 2 sylinderprøver i dette dybdeintervallet og forsøk har påvist kvikkleire ved 5 – 7 meters dybde.
2	CPTu	---	---	NEI*	NIFS 2015 (Bq1-Nmc) indikerer ingen intervall med mulig sprøbruddmateriale.
4	Ø54 & CPTu	Leire	> 1.26	JA	NIFS 2015 (Bq1-Nmc) indikerer mulig sprøbruddmateriale mellom ~7.5 – 8.7 m dybde. Fra 8.7 – 9.5 m dybde er det indikert sannsynlig kvikkleire. Det er tatt 2 sylinderprøver i dette dybdeintervallet og forsøk har påvist sprøbruddmateriale ved 7 – 9 meters dybde.
5	CPTu	---	---	NEI*	NIFS 2015 (Bq1-Nmc) indikerer ingen intervall med mulig sprøbruddmateriale.
6	CPTu	---	---	JA*	NIFS 2015 (Bq1-Nmc) indikerer mulig sprøbruddmateriale fra ~6.3-13 meters dyp med en tynn sone Sannsynlig kvikkleire på 13 m.
7	Ø54	Leire	~4 - 6	NEI	Prøvene tatt ut på 2 m dybde indikerer leire, men forsøk har <b>ikke</b> påvist sprøbruddsegenskaper
9	Ø54 & CPTu	Leire	> 1.26	JA	NIFS 2015 (Bq1-Nmc) indikerer sannsynlig kvikkleire mellom ~8.3 - 12 m dybde. Det er tatt 3 sylinderprøver i dybdeintervallet 5 – 10 meter og forsøk har påvist sprøbruddmateriale i hver av dem. Kvikkleire er påvist ved 9 – 10 meters dybde.
10	CPTu	---	---	NEI*	NIFS 2015 (Bq1-Nmc) indikerer ingen intervall med mulig sprøbruddmateriale.
15	Ø54	Leire	<b>1.02</b> - 6	JA	Det er tatt ut fire prøvesylindere mellom 2 - 7.7 m dybde. Prøve fra 5 – 5.7 m indikerer sprøbruddmateriale. (Prøve delvis forstyrret).
*Tolkning alene basert på CPTu					

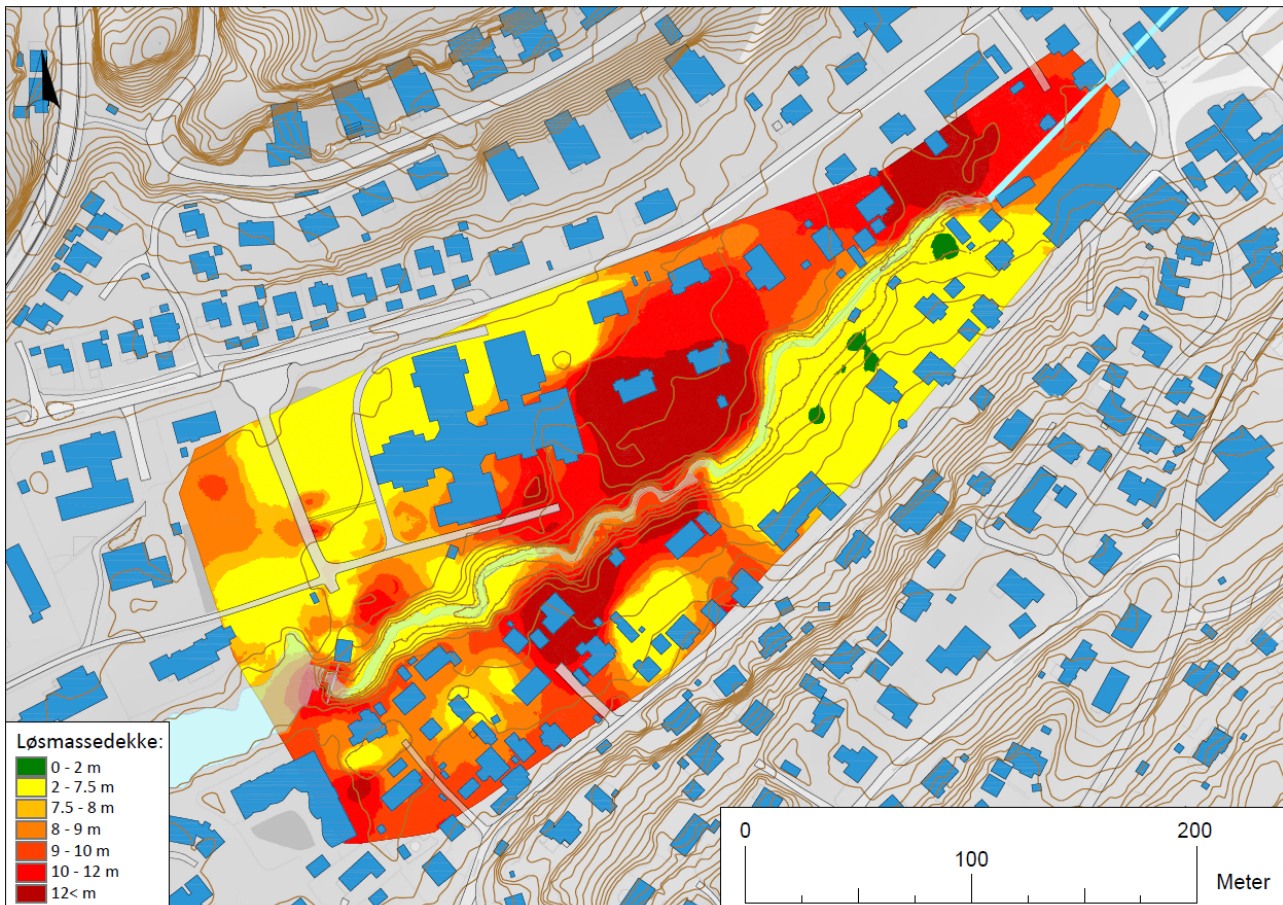
Nord for Bøbekken					
ID	Forsøk	Prøvebeskrivelse	C <sub>u,r</sub>	Sprøbruddsmateriale eller kvikkleire?	Merknad
C1	CPTu	---	---	JA*	NIFS 2015 (Bq1-Nmc) indikerer mulig sprøbruddmateriale fra 5,5 – 6,5 meters dyp.
C2	CPTu	---	---	NEI*	NIFS 2015 (Bq1-Nmc) indikerer ingen intervall med mulig sprøbruddmateriale.
C4	Ø54, CPTU	Leire, siltig	1,5 – 2,9	JA	Det er tatt ut to prøvesylindere mellom 7,5 – 9 m dybde. Forsøk <b>har påvist</b> sprøbruddmateriale (antar NS8015) ved 7.5 – 8.5 m dyp. NIFS 2015 (Bq1-Nmc) indikerer mulig sprøbruddmateriale fra 5.9 – 8.3 meters dyp og sannsynlig kvikkleire fra 8.3 – 9 meters dyp.
C9	CPTu	---	---	JA*	NIFS 2015 (Bq1-Nmc) indikerer mulig sprøbruddmateriale fra 6.5 – 11 meters dyp og sannsynlig kvikkleire fra 11 – 15 meters dyp.
101	Ø54	Leire	4 – 6	NEI	Det er tatt 10 sylinderprøver i dybdeintervallet 0 – 10 meter og forsøk har <b>ikke påvist</b> sprøbruddmateriale.
105	CPTu	---	---	JA*	NIFS 2015 (Bq1-Nmc) indikerer mulig sprøbruddmateriale fra ~6.8 – 8,3 meters dyp.
106	Ø54 & CPTu	Leire	3 – 7	JA*	Det er tatt 10 sylinderprøver i dybdeintervallet 0 – 10 meter og forsøk har <b>ikke påvist</b> sprøbruddmateriale. NIFS 2015 (Bq1-Nmc) indikerer mulig sprøbruddmateriale fra 6 – 6,3 og 8,4 – 11,5 m dyp. Sannsynlig kvikkleire er indikert fra 11,5 – 12 meters dyp.
109	CPTu	---	---	JA*	NIFS 2015 (Bq1-Nmc) indikerer mulig sprøbruddmateriale fra 8,3 – 13,7 meters dyp med en tynn sone sannsynlig kvikkleire fra 13 – 13,5 m dyp.
111	Ø54 & CPTu	Leire	4 – 18	JA*	Det er tatt 10 sylinderprøver i dybdeintervallet 0 – 10 meter og forsøk har <b>ikke påvist</b> sprøbruddmateriale. NIFS 2015 (Bq1-Nmc) indikerer mulig sprøbruddmateriale fra 8,4 – 12,2 meters dyp.
112	CPTu	---	---	JA*	NIFS 2015 (Bq1-Nmc) indikerer mulig sprøbruddmateriale fra 7,3 – 9,7 meters dyp og sannsynlig kvikkleire fra 9,7 – 13 meters dyp.
113	CPTu	---	---	JA*	NIFS 2015 (Bq1-Nmc) indikerer mulig sprøbruddmateriale fra 5,7 – 6,3 meters dyp.
114	Ø54 & CPTu	Leire	> 1.26 - 30	JA	Det er tatt 10 sylinderprøver i dybdeintervallet 0 – 10 meter og forsøk <b>har påvist</b> sprøbruddmateriale fra 6 – 9 meters dyp. NIFS 2015 (Bq1-Nmc) indikerer en tynn sone mulig sprøbruddmateriale fra 8,5 – 9,2 m dyp.

\*Tolkning alene basert på CPTu

### 3.6.4 Løsmassemektighet

Ifølge NVE veilederen 1/2019 vil ikke områdestabilitet være ett problem om løsmassetykkelsen er  $< 2$  m [1]. Det har blitt utarbeidet ett løsmassemektighetkart basert på terrengflaten og bergflaten modellert av NGI [8] basert på det samlede datagrunnlaget bestående av totalsonderinger, seismikk og ERT. Se resulterende kart i Figur 3-9.

De grønne sonene i Figur 3-9 er soner hvor løsmassemektighet er  $< 2$  meter, disse områdene er da automatisk ekskludert fra områdestabilitetsproblematikk jfr. NVE veileder 1/2019 [1].



Figur 3-9 Løsmassemektighetkart over området rundt Bøbekken. Løsmassemektighet er basert på distansen mellom bergflate (modellert av NGI) og terrengoverflaten. Grønne soner er områder uten fare for områdeskred.

### 3.7 Identifikasjon av kritiske skråninger og mulig løснеområde

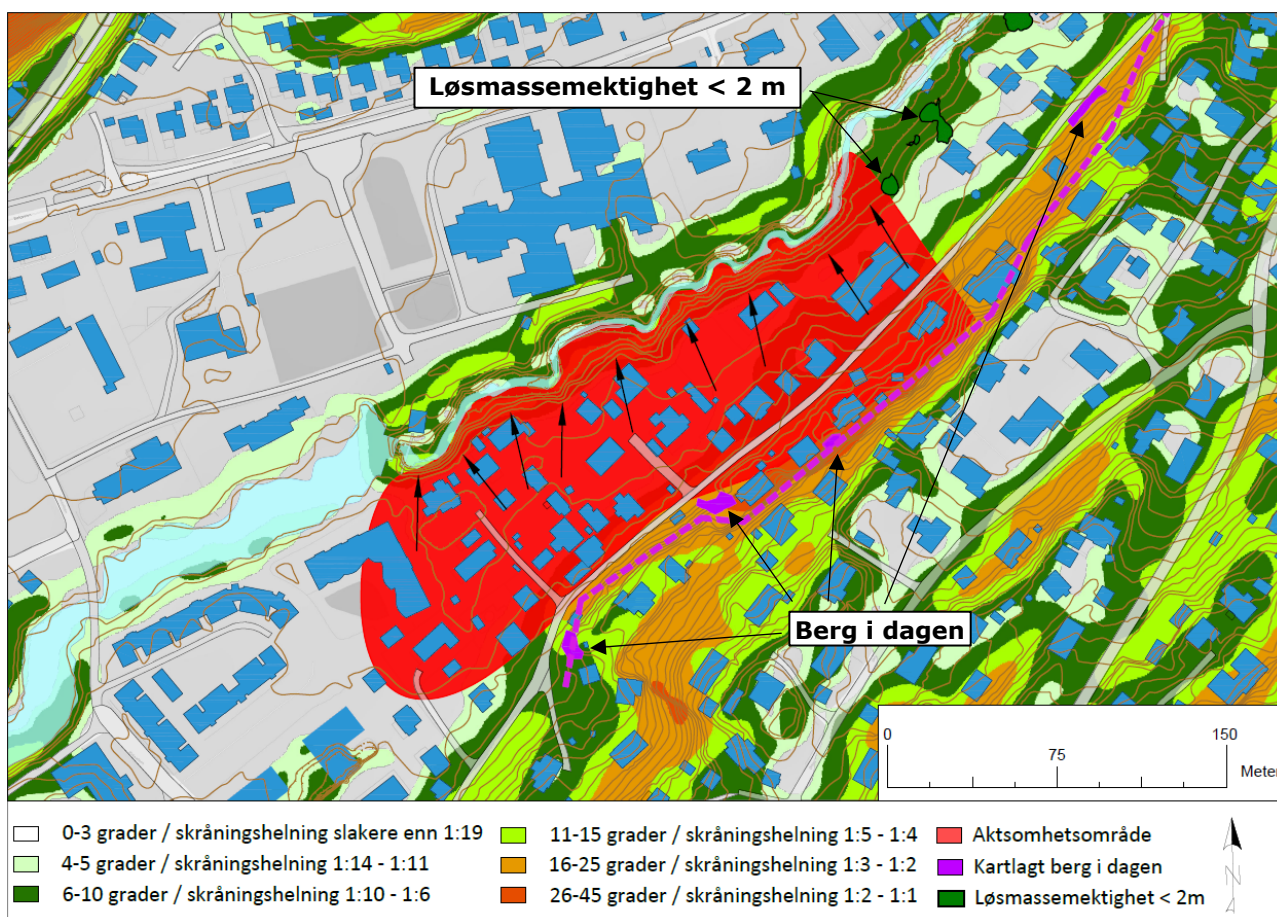
Det er utført en terrenganalyse av området rundt Bøbekken med marine avsetninger for å kunne begrense aktsomhetsområdene til de områdene hvor topografien og løsmassemekktigheten gir mulighet for fare for områdeskred. I denne innledende analysen er bare potensielle løснеområder identifisert og avgrenset.

Avgrensning av løснеområdene er i første omgang basert på følgende konservative terrengkriterier gitt i NVE 1/2019 [1]:

- Jevnt hellende terreng brattere enn 1:20 og total skråningshøyde > ca. 5 m.
- I platåterreng: høydeforskjeller på 5 m og mer, inkl. dybde til elvebunn/skråningsfot.
- Maksimal retrogressiv skredutbredelse = 20 x skråningshøyde, målt fra skråningsfot/elvebunn.
- Løsmassemekktighet > 2 m.

#### 3.7.1 Sør for Bøbekken

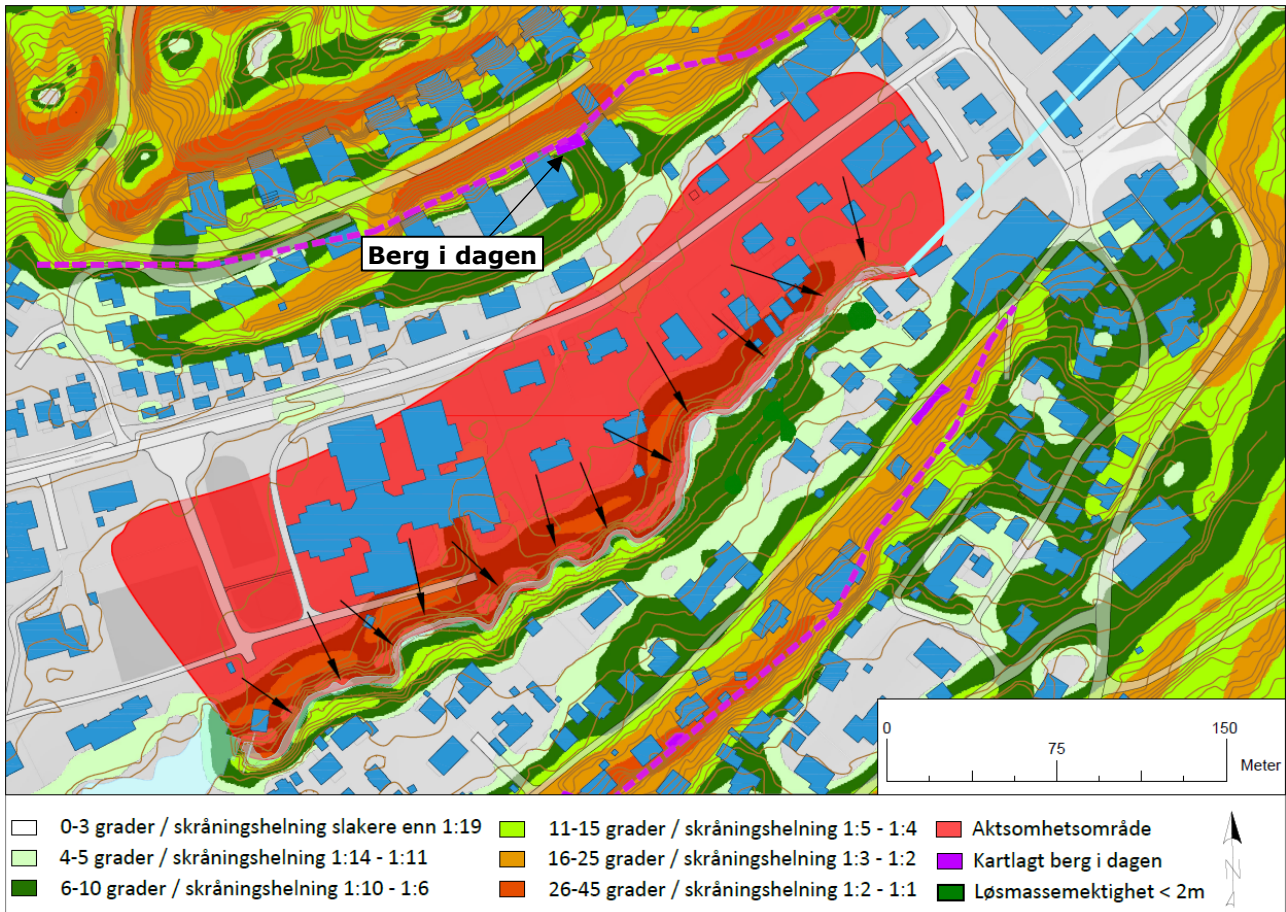
Med utgangspunkt i terrenghelningene som er vist i Figur 3-1 kan man se området sør for Bøbekken har en relativt steil topografi. Aktsomhetssonen sin maksimale utstrekning (20 x H) i området er lik 100 m da skråningshøyden langs Bøbekkens sørside er ~5 m. Eventuelle retrogressive skred vil bli naturlig avgrenset av berg i dagen observert sør for Odalsveien. Det er også påvist områder med en løsmassetykkelse < 2 m som vil virke avgrensende. Basert på kriteriene og avgrensningene nevnt ovenfor er det fastslått ett aktsomhetsområde for områdeskred som indikert i Figur 3-10.



Figur 3-10 Utstrekning av aktsomhetsområdet sør for Bøbekken, analyse basert på terrengkriteriene gitt i NVE 1/2019 veilederen [4] og avgrenset av observert berg i dagen under befaring og områder med løsmassemekktighet < 2 m.

### 3.7.2 Nord for Bøbekken

Med utgangspunkt i terrenghelningene som er vist i Figur 3-1 kan man se området nord for Bøbekken har en relativt slak topografi tilnærmet platåterreng. Aktsomhetssonen sin maksimale utstrekning ( $20 \times H$ ) i området er lik 80 - 100 m da skråningshøyden langs Bøbekkens sørside er  $\sim 5$  m mot sør-vest og 4 m mot nord-øst. Det er observert berg i dagen nord for Boligveien, så dette er en naturlig avgrensning for eventuelle retrogressive skred. Basert på topografikriteriene og avgrensninger nevnt ovenfor er det fastslått ett aktsomhetsområde for områdeskred som indikert i Figur 3-11.



Figur 3-11 Utstrekning av aktsomhetsområdet nord for Bøbekken, analyse basert på terrengkriteriene gitt i NVE veileder 1/2019 vei-lederen [4] og avgrenset av maksimal utstrekning av aktsomhetsområdet ( $20 \times H$ ).

## 4 Befaring

### 4.1 Befaring langs Bøbekken – dagens situasjon og erosjonsforhold

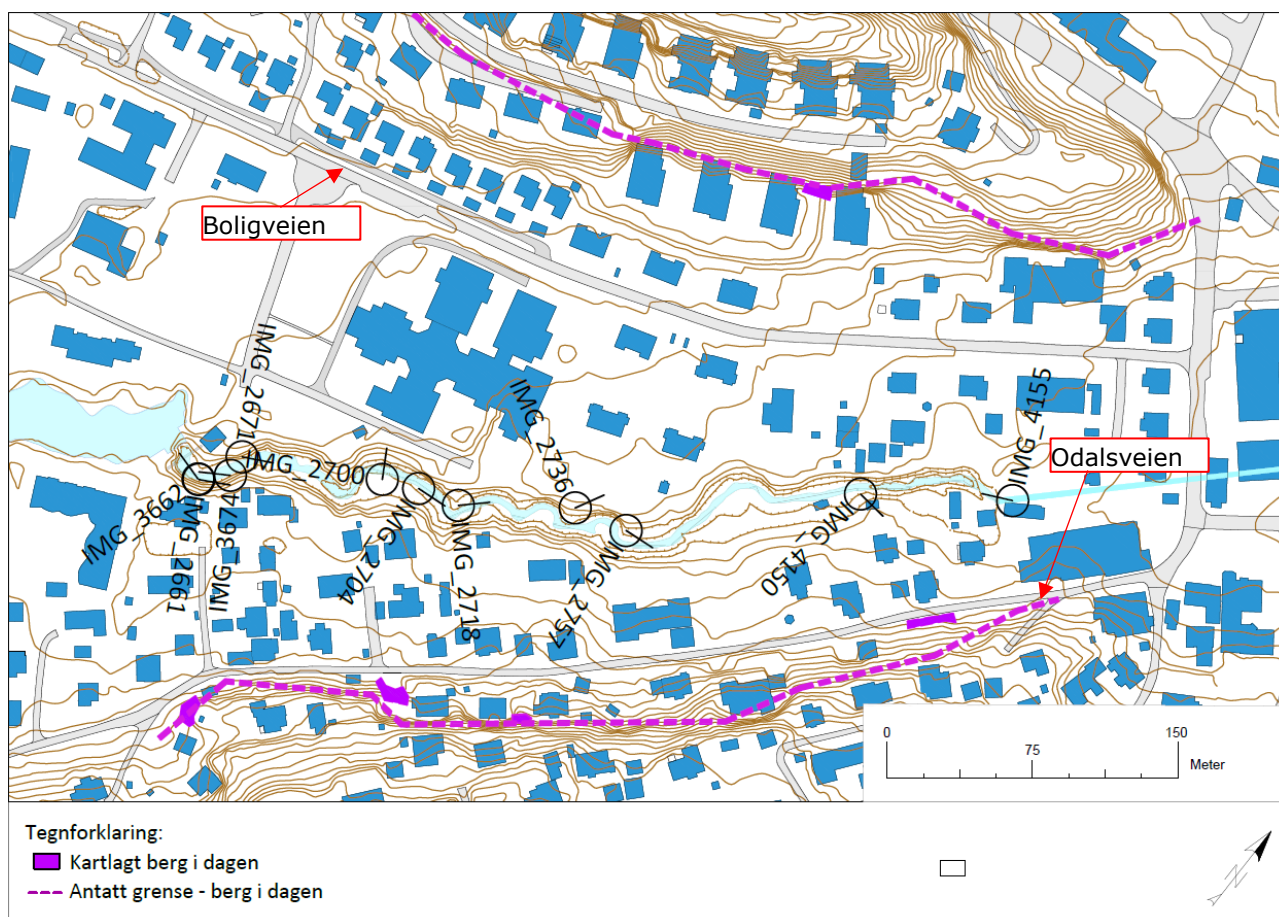
30-01-2021 ble det utført befaring langs Bøbekken av geoteknikker Jakob Bitsch Jensen fra NIRAS Norge AS. Befaringen ble utført med henblikk på kartlegging av erosjonsforhold langs bekken. Bilder fra denne befaring er fortløpende navngitt IMG\_2660 – IMG\_2808.

07-06-2021 ble det utført befaring langs Bøbekken av geoteknikker Jakob Bitsch Jensen fra NIRAS Norge AS. Befaringen ble utført med henblikk på planlegging av supplerende grunnundersøkelser. Bilder fra denne befaring er fortløpende navngitt IMG\_3637 – IMG\_3705.

02-09-2021 ble det utført befaring langs Bøbekken av geoteknikker Jakob Bitsch Jensen og ingeniørgeolog Sondre Hjelmeland fra NIRAS Norge AS. Befaringen ble utført med henblikk på kartlegging av eksisterende konstruksjoner langs bekken. Bilder fra denne befaring er fortløpende navngitt IMG\_4058 – IMG\_4162 og IMG\_6055 – IMG\_6098.

Samtlige befaringer er utført på tidspunkter med antatt «normal vannføring».

Utvalgte bilder fra befaringene finnes i det følgende. Bildene kommer i rekkefølge fra vest (Rørdammen) mot øst (kulvert). Omtrentlig plasseringen til de enkelte bilder fremgår av Figur 4-1. De enkelte bilders posisjon og orientering (indikert med strek i bildets retning) er basert på EXIF-data.



Figur 4-1 Plankart som viser omtrentlig posisjon, orientering og ID til de ulike befaringsbilder.



Erosjonsforholdene på strekningen ble i forbindelse med befaringen vurdert opp imot NVE eksternrapport 9/2020 [3] vedlegg A (bildeeksempler og tabell for vurdering av erosjonsforhold). I tabellen i Figur 4-2 nedenfor er satt ring omkring utsagn som passer på observasjonene på strekningen.

For strekningen som helhet gis poengscore 2 (noe erosjon).

## A5. Tabell: Kjennetegnene til de ulike gradene erosjon

	Vurderingspunkt	Kraftig erosjon (score 3)	Noe erosjon (score 2)	Lite erosjon (score 1)	Ingen erosjon (0)
	Skred og overflateglidninger i løpet av de siste årene	Dyperegående rotasjoner > 1-2 meter, store overflateglidninger, bredde og lengde > 10 m	Lokale overflateglidninger (bredde og lengde < ca. 10 m)	Ingen skred eller overflateutglidninger har blitt utløst pga. begrenset erosjon. Grunnvannserosjon som ikke har utviklet seg videre til overflateutglidninger og skred.	Finnes ikke
	Naturlig erosjonssikring	Lite eller ingen	Lite eller ingen	Lite eller ingen	I bunn og sider
	Observasjoner av gradient, helning m.v.	Oftest betydelig gradient i elva og bunnsenkning (vannet graver vertikalt). Noen tilfeller med graving i yttersving selv ved gunstigere gradient.	Graving i yttersvinger i perioder med flom. I noen tilfeller blir også overflateutglidninger utløst pga. bunnsenkning.	Gradientforholdene tilsier at erosjon kan oppstå.	Lav naturlig gradient eller evt. terskler
	Nye skred og glidninger i fremtiden	Vil bli utløst	Vil kunne bli utløst	Kan ikke utelukkes	Lite sannsynlig
Kohesjonsjordarter	Leire i elve-/bekkeleiet	Ja. Skred og utglidninger har avdekt underliggende leire/silt	Ja	Ja	Nei
	Kjennetegn for bevegelser i bakken	Trær står på skakke	Trær kan stå på skakke	Trær står i hovedsak vertikalt	Ikke tegn
	Vannet	Oftest misfarget grått (ved normal vannføring)	Ofte misfarget grått (typisk ved høy vannføring), men kan også være klart (typisk ved lav vannføring)	Klart eller noe misfarget grått	Klart
Frikksjonsjordarter		Erosjon har blottlagt store områder med lett eroderbare masser. Må ha medført avlastning av foten av kvikkleireavsetning slik at stabilitetsforholdene er forverret	Blottlagt lett eroderbare masser i mindre områder. Må ha medført avlastning av foten av kvikkleireavsetning slik at stabilitetsforholdene er forverret	Partikkelerosjon av lett eroderbare masser i elve-/bekkeleiet. Erosjon har ikke medført stabilitetsforverring eller leirmassene under er ikke avdekket	

Figur 4-2 Utklipp av tabell i vedlegg A5 til NVE eksternrapport 9/2020 [3]. I tabellen er det satt ring omkring utsagn som passer på observasjonene på strekningen.

Det bemerkes, at det på flere delstrekninger finnes eksisterende erosjonssikring i form av ulike typer plastring med blokk/sprengstein samt støttemurer (i hovedsak lagd av betong).



Figur 4-3 Bilde: IMG\_3662.JPG (Jakob Bitsch Jensen 2021-06-07)



Figur 4-4 Bilde: IMG\_3674.JPG (Jakob Bitsch Jensen 2021-06-07)



Figur 4-5 Bilde: IMG\_2661.JPG (Jakob Bitsch Jensen 2021-01-30)



Figur 4-6 Bilde: IMG\_2671.JPG (Jakob Bitsch Jensen 2021-01-30)



Figur 4-7 Bilde: IMG\_2700.JPG (Jakob Bitsch Jensen 2021-01-30)



Figur 4-8 Bilde: IMG\_2704.JPG (Jakob Bitsch Jensen 2021-01-30)



Figur 4-9 Bilde: IMG\_2718.JPG (Jakob Bitsch Jensen 2021-01-30)



Figur 4-10 Bilde: IMG\_2736.JPG (Jakob Bitsch Jensen 2021-01-30)



Figur 4-11 Bilde: IMG\_2757.JPG (Jakob Bitsch Jensen 2021-01-30)



Figur 4-12 Bilde: IMG\_2769.JPG (Jakob Bitsch Jensen 2021-01-30)



Figur 4-13 Bilde: IMG\_2787.JPG (Jakob Bitsch Jensen 2021-01-30)



Figur 4-14 Bilde: IMG\_4150.JPG (Jakob Bitsch Jensen 2021-09-02)



*Figur 4-15 Bilde: IMG\_4155.JPG (Jakob Bitsch Jensen 2021-09-02)*



## 4.2 Befaring i området – forekomster av berg i dagen

07-06-2021 ble det utført befaring langs Odalsveien av geotekniker Jakob Bitsch Jensen fra NIRAS Norge AS. Befaringen ble utført med henblikk på å kartlegge forekomster av berg i dagen sør for bekken i forbindelse med planlegging av supplerende grunnundersøkelser. Bilder fra denne befaring er fortløpende navngitt IMG\_3637 – IMG\_3705.

Utvalgte bilder av de ulike forekomster av berg i dagen finnes i det følgende. En samlet oversikt over kartlagt berg i dagen fremgår av Figur 4-16. Her fremgår også plasseringen til de enkelte bilder. De enkelte bilders posisjon og orientering er basert på EXIF-data.

Utstrekning til de ulike områder med berg i dagen er skissert med basis i DTM gråskala kart og flyfoto. Den stiplede rosa streken indikerer antatt grense for generell forekomst av grunt berg/berg i dagen.

Det er ikke foretatt befaring rundt antatte områder med berg i dagen nord for Boligveien, sonen klassifisert som berg i dagen nord for Bøbekken (se Figur 4-16) er kartlagt ved bruk av Ortofoto.

Det bemerkes, at det også langs Bøbekken er gjort enkelte registreringer av berg i dagen mot vest. For nærmere informasjon, se bilder i kapittel 4.1.

Tegnforklaring:

- Kartlagt berg i dagen
- - - Antatt grense - berg i dagen

Figur 4-16 Plankart som viser områder med kartlagt berg i dagen sammen med posisjon, orientering og ID til de ulike befaringsbilder. Stiplet rosa strek indikerer antatt grense for generell forekomst av grunt berg/berg i dagen.

33



Figur 4-17 Bilde: IMG\_3692.JPG (Jakob Bitsch Jensen 2021-06-07)



Figur 4-18 Bilde: IMG\_3694.JPG (Jakob Bitsch Jensen 2021-06-07)



Figur 4-19 Bilde: IMG\_3699.JPG (Jakob Bitsch Jensen 2021-06-07)



Figur 4-20 Bilde: IMG\_3701.JPG (Jakob Bitsch Jensen 2021-06-07)



Figur 4-21 Bilde: IMG\_3704.JPG (Jakob Bitsch Jensen 2021-06-07)

## 5 Aktuelle skredmekanismer og avgrensning av faresone

Følgende tolkning av skredmekanisme er basert på data oppgitt i figur 4.3 i NVE veileder 1/2019 [1]. Se utklipp i Figur 5-1.



Figur 5-1 Utklipp av figur 4.3 i NVE veileder 1/2019 [1]. Benyttet for å fastslå relevant skredmekanisme.

### 5.1 Sør for Bøbekken.

#### 5.1.1 Aktuelle skredmekanismer

Mulig retrogresjon vil være en problemstilling i området rundt borepunkt 1 og 9. Her er det påvist leirer med  $C_{ur} \leq 0,69$  kPa (ISO 17892-6). Da plasseringen og tykkelsen av den mest kritiske glideflaten ikke er kjent i disse områdene kan ikke faren for retrogressive skred tilbakevises. Derfor anses aktuell skredmekanisme i disse delområdene som retrogressiv for nåværende.

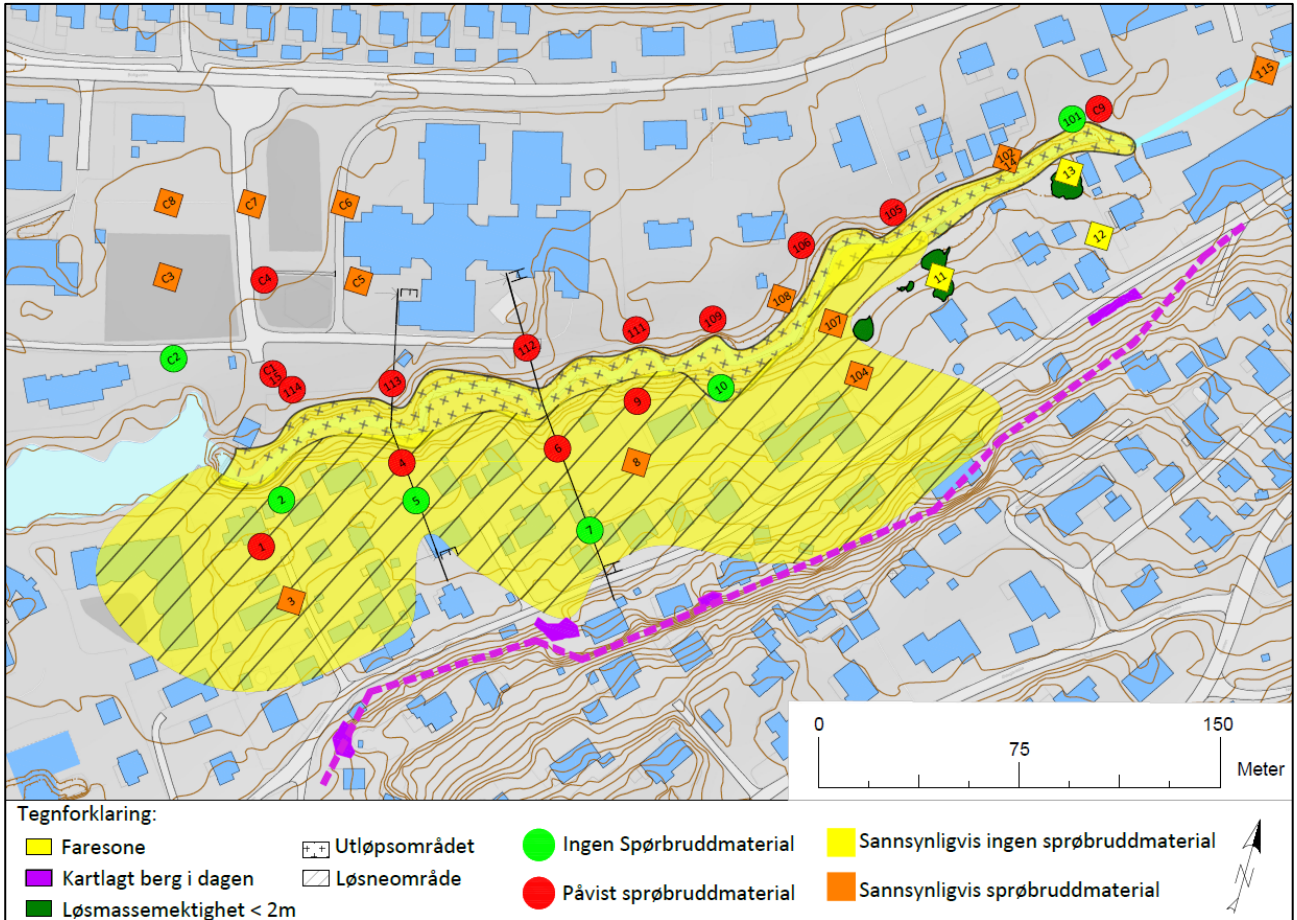
Ved borepunkt 4 er det ett lag med  $C_{ur} \leq 1$  kPa (ISO 17892-6) i 8 – 9 meters dybde, derfor anses rotasjonsskred som aktuell skredmekanisme for delområdet. Se Figur 3-5 for en oversikt over borepunktets plassering innenfor prosjektområdet.

#### 5.1.2 Avgrensning av faresone.

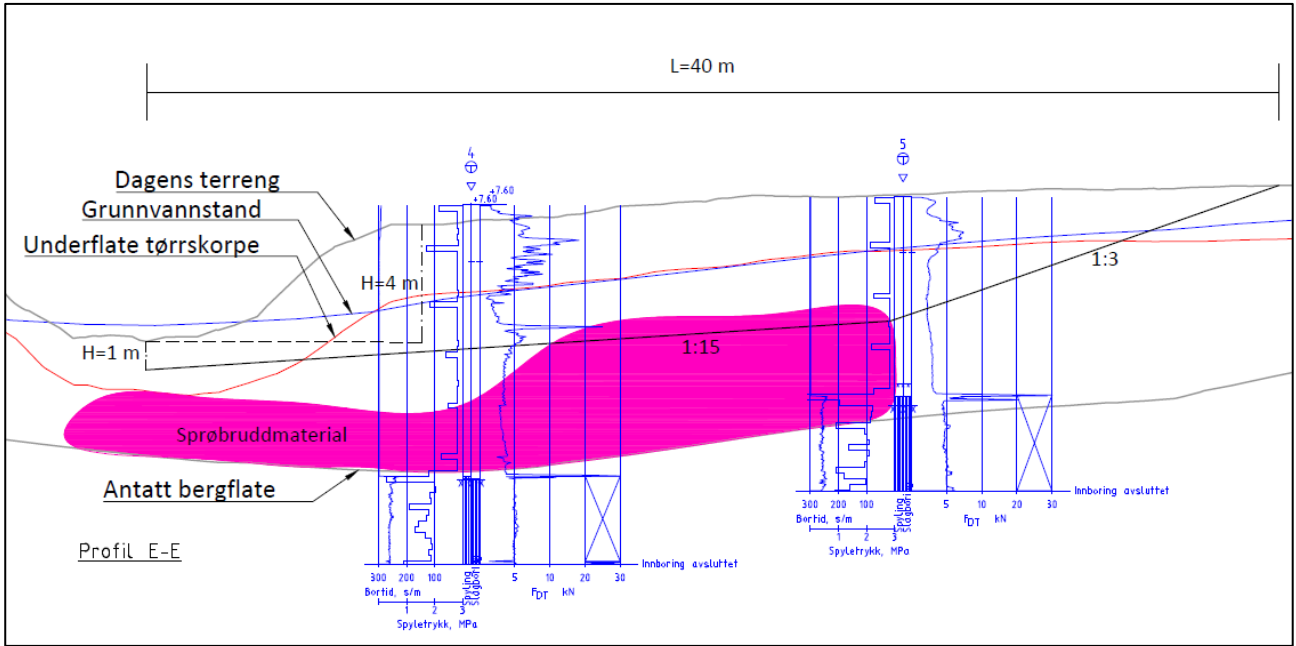
Faresonen sør for Bøbekken avgrenses i bakkant av områder med berg i dagen og løsmassemeknighet < 2 m. Maksimal utstrekning av løsneområdet er fastlagt med basis i NVE sitt kriterie for retrogressiv skredmekanisme ( $15 \times H$ ) jfr. kap 4.5.2 i NVE veileder 1/2019 [1]. Eventuelt begrensende effekter som følge av andre skredmekanismer (rotasjon- eller flakskred) er ikke tatt i betraktning. For snitt E-E og H-H (se Figur 5-2) er NGI metoden benyttet for å avgrense faresonen jfr. kap. 4.5.2 i NVE veileder 1/2019 [1]. Se Figur 5-3 og Figur 5-4 for tverrprofil med opptegnet glideflate basert på NGI-metodens fremgangsmåte for opptegning av 1:15 og 1:3 linjene. I Figur 5-3 og Figur 5-4 indikerer ikke borpunkt 5 og 7 sprøbruddmateriale, derfor avgrenser leirlagets utstrekning av borpunktene.

Et eventuelt skred er antatt kanalisert langs bekkebunnen, maksimal utstrekning ( $L_u$ ) av utløpsområdet er derfor antatt lik  $L_u=3L$  hvor  $L$  tilsvarer lengden av løsneområdet jfr. kap. 4.6 i NVE veileder 1/2019 [1]. Dette gir en maksimal utstrekning av utløpsområdet lik 240 meter, som vil si sonen strekker seg ned til dagens kulvertåpning mot nord-øst. Det er usikkert hvilke effekt dagens kulvert mot nord-øst (se Figur 4-15) vil ha på eventuelle skredmasser, da særlig med tanke på hvorvidt massene vil bli oppstuvet eller ei.

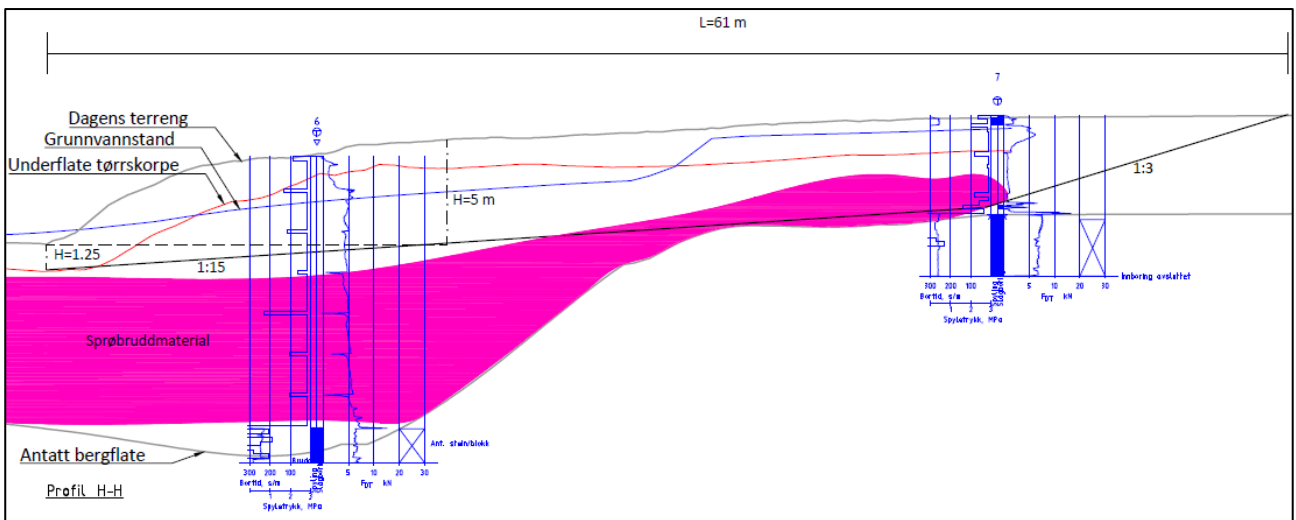
Se kart over avgrenset faresone (Løsne- og utløpsområde) sør for Bøbekken i Figur 5-2.



Figur 5-2 Avgrenset faresone for området sør for Bøbekken. Avgrensning er basert på prøveserier, berg i dagen, NGI metoden og områder med løsmassemektighet under 2 m.



Figur 5-3 Avgrensning av faresonens utstrekning basert på antatt leirforekomst i grunnen rundt borpunkt 4 og 5. Profil E-E.



Figur 5-4 Avgrensning av faresonens utstrekning basert på antatt leirforekomst i grunnen rundt borpunkt 6 og 7. Profil H-H.

## 5.2 Nord for Bøbekken.

### 5.2.1 Aktuelle skredmekanismer

Det er fare for retrogressiv skredutvikling ved borepunkt 114 hvor det er påvist kvikkleire tilsvarende  $C_u \leq 0.69$  kPa. Aktuell skredmekanisme for delområdet anses derfor å være retrogressiv skredutvikling. Nærliggende borehull 15 indikerer en  $C_{ur} \geq 1$  kPa (ISO 17892-6), og indikerer dermed rotasjonsskred som aktuell skredmekanisme. Retrogressiv skredutvikling blir fortsatt benyttet i klassifisering av utbredelse til faresonen.

Prøver fra borepunkt 106 og C4 indikerer leirer med en omrørt skjærstyrke mellom  $1 \text{ kPa} \leq C_{ur} \leq 2 \text{ kPa}$  (NS8015). Det er ikke oppgitt hvilke standard som er benyttet under fastsettelse av omrørt skjærstyrke, det er derfor antatt NS8015. Dette medfører at aktuell skredmekanisme for delområdene for overnevnte borepunkt er rotasjonsskred.

Borepunkt 101 indikerer leirer med  $C_{ur} \geq 2$  (NS8015), det er derfor ikke fare for områdeskred for det aktuelle delområdet. 111 indikerer også leirer med  $C_{ur} \geq 2$  (NS8015), men CPTu indikerer mulig sprøbruddmaterial dypere en dypeste prøveserie, områdeskred kan derfor ikke tilbakevises for området.

### 5.2.2 Avgrensning av faresone.

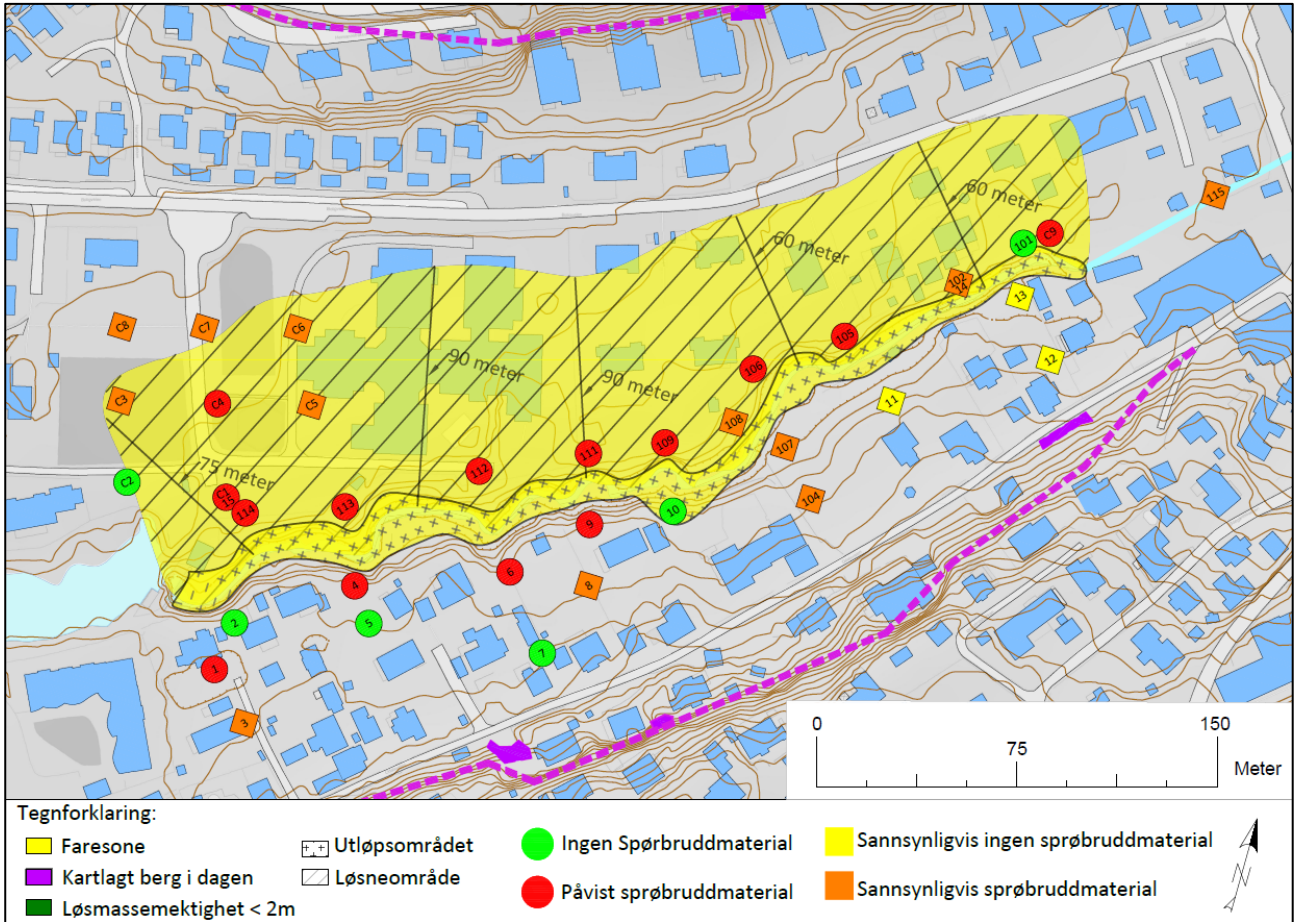
Borepunkt 113, 112, 109 og 105 indikerer sprøbruddmaterial men det er ikke tatt prøver i borepunktene. Da det er påvist leirer med en  $C_{ur} \leq 1$  sør for Bøbekken samt ved borepunkt 114 kan ikke faren for retrogressiv skredutvikling avvises for borepunkt 113, 112, 109 og 105. Derfor er maksimal skredutbredelse for nåværende satt til  $15 \times H$  for området nord for Bøbekken. Denne avgjørelsen baserer seg på kap. 4.2 i NVE veileder 1/2019 [1] som angir at «*Studier av en del historiske skred viser at de aller fleste retrogressive skredene vil stoppe når lengden på løsneområdet bakover i forhold til skråningsfoten,  $L = 15H$* ».

Skråningshøydene nord for Bøbekken varierer fra ca. 4 – 6 m noe som gir maksimal retrogressiv skredutbredelse tilsvarende ca. 60 – 90 m. Det er ikke påvist berg i dagen, prøveserier/cptu uten påvist sprøbruddmaterial eller områder med løsmassemeknighet  $< 2$  m som kan benyttes for avgrensning av faresonen.

Det er antatt samme utløpsområde som for løsneområdet sør for Bøbekken, se beskrivelse i kap. 5.1.2.

Se kart over utstrekning av faresonen (Løsne- og utløpsområde) nord for Bøbekken i Figur 5-5.





Figur 5-5 Avgrenset faresone for området nord for Bøbekken. Avgrensning er basert på maksimal retrogressiv skredutvikling (15XH) da det ikke er påvist berg i dagen, løsmassemekktighet < 2 m eller prøveserier uten spørbrudd innenfor sonen.

## 6 Klassifisering av faresone

Følgende faregradsevalueringer gjelder dagens situasjon uten stabiliserende tiltak.

Faresoner klassifiseres iht. metoden beskrevet i kap.4 i NVE Ekstern rapport 9/2020 «Oversiktskartlegging og klassifisering av faregrad, konsekvens og risiko for kvikkleireskred - Metodebeskrivelse» [8].

### 6.1 Sør for Bøbekken

Basert på den nevnte metoden klassifiseres faresonen som å ha **Middels** faregrad med en totalscore på 24. Hele klassifiseringen er vist i Tabell 6.1 med påfølgende beskrivelse derunder.

Tabell 6.1 Oversikt over valgte parametre under evaluering av faregrad for faresone sør for Bøbekken. Tabellen er basert på Tabell 1 i NVE ekstern rapport 9/2020 [8].

<b>BØBEKKEN SØR, FARESONE</b>						
Faktorer	Vekt-tall	Faregrad, score				Poeng
		3	2	1	0	
Tidligere skredaktivitet	1	Høy	Noe	Lav	Ingen	1
Skråningshøyde	2	>30	20 - 30	15 - 20	< 15*	0
OCR	2	1,0-1,2	1,2-1,5	1,5-2,0	>2,0	4
Poretrykk, overtrykk	3	> + 30	10-30	0-10	Hydrostatisk	3
Poretrykk, undertrykk	-3	> - 50	-(20-50)	-(0-20)		
Kvikkleiremektighet	2	>H*/2	H/2-H/4	<H/4	Tynt lag	6
Sensitivitet	1	>100	30-100	20-30	<20	2
Erosjon	3	Kraftig	Noe	Litt	Ingen	6
Inngrep forverring	3	Stor	Noe	Liten	Ingen	0
Inngrep forbedring	-3	Stor	Noe	Liten		
*Benyttede parametre: H = 5 m, Mektighet kvikkleire = 3 m						<b>SUM: 24</b>

<b>Total poengscore</b>	<b>14</b>
Lav faregrad	0 - 17 poeng
Middels faregrad	18 - 25 poeng
Høy faregrad	26 - 51 poeng

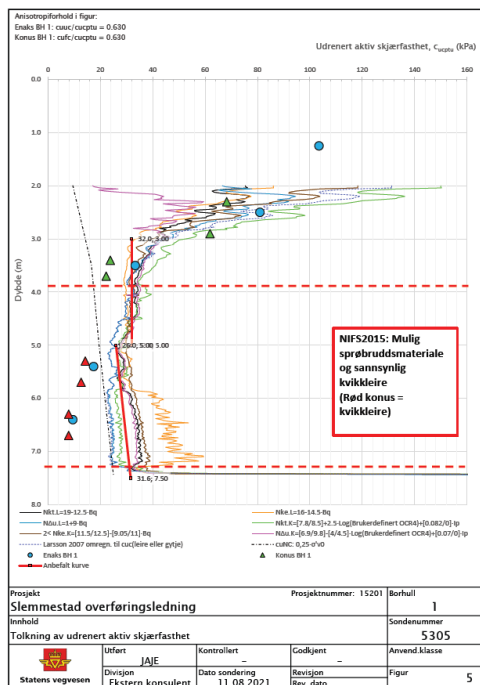
**Tidligere skredaktivitet:** Det er registrert mindre utglidninger og avbøyning av trær langs dagens bekkeløp, antatt klassifisert som lav skredaktivitet. Faregraden er satt til 1.

**Skråningshøyde:** Skråningshøyden er på det høyeste 7 m. Bakkant avgrenses av berg i dagen. Faregraden er satt til 0.

**Tidligere/nåværende terrengnivå:** Ødometerforøket fra borepunkt 4 (8.4 m dybde) indikerer en OCR lik 1.4. Prøven fra borepunkt 9 (7.8 m dybde) indikerer en OCR på 1.73. Se Tabell 7.4 for ytterligere info om ødometerforsøkene. Benytter OCR grad lik 1.4 for klassifisering, faregrad satt til 2.

**Poretrykk:** Installerte poretrykksmålere i området sør for Bøbekken indikerer ca. 10 kPa overtrykk. Faregraden er satt til 1.

**Kvikkleiremektighet:** I samsvar med beskrivelsen gitt i kap 4.2 NVE ekstern rapport 9/2020 [3] er følgende vurderinger utført på ett antatt kritisk snitt i sonen, her antatt å gå gjennom borepunkt 1 (se plassering i Figur 3-5). CPTu-sonderingen i borepunkt 1 indikerer «antatt sprøbruddmateriale» i en tykkelse på 3 meter under et 3 m tykt lag tolket som tørrskorpe. Se Figur 6-1 for et utklipp av CPTu-sonderingen, det henvises til Vedlegg D1 for A4 skala av samme CPTu. Høyden på skråningen i området er ~5 meter. Kvikkleiremektigheten er derfor  $>H/2$ . Faregrad settes til 3.



Figur 6-1 CPTu fra Borehull 1. Indikerer ca. 3 meter mulig sprøbruddmateriale og kvikkleire på 4 – 7 meters dyp.

**Sensitivitet:** Sensitiviteten er valgt med bakgrunn i antatt mest kritisk snitt gjennom borehull 1. Prøveserie fra borehull 1. Prøveserien indikerer sensitivitet på 39 og 42 i lag klassifisert som kvikkleire. Basert på dette er faregraden satt til 2.

**Erosjon:** Det er fra befaring påvist seksjoner med erosjon klassifisert som «noe erosjon», se beskrivelse i kap. 4.1. Faregrad er satt til 2.

**Inngrep:** Faregradsevalueringen gjelder dagens situasjon så det er ikke aktuelt å se på forbedring/forverring av inngrep. Faregrad satt til 0.

## 6.2 Nord for Bøbekken

Basert på den nevnte metoden klassifiseres området rundt Bøbekken som å ha **middels** faregrad med en totalscore på 24. Hele klassifiseringen er vist i Tabell 6.2 med påfølgende beskrivelse derunder.

Tabell 6.2 Oversikt over valgte parametre under evaluering av faregrad for faresone nord for Bøbekken. Tabellen er basert på Tabell 1 i NVE ekstern rapport 9/2020 [8].

<b>BØBEKKEN Nord, FARESONE</b>						
<b>Faktorer</b>	<b>Vekt-tall</b>	<b>Faregrad, score</b>				<b>Poeng</b>
		<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	
Tidligere skredaktivitet	1	Høy	Noe	Lav	Ingen	1
Skråningshøyde	2	>30	20 - 30	15 - 20	< 15*	0
OCR	2	1,0-1,2	1,2-1,5	1,5-2,0	>2,0	6
Poretrykk, overtrykk	3	> + 30	10-30	0-10	Hydrostatisk	3
Poretrykk, undertrykk	-3	> - 50	-(20-50)	-(0-20)		
Kvikkleiremektighet	2	>H*/2	H/2-H/4	<H/4	Tynt lag	6
Sensitivitet	1	>100	30-100	20-30	<20	2
Erosjon	3	Kraftig	Noe	Litt	Ingen	6
Inngrep forverring	3	Stor	Noe	Liten	Ingen	0
Inngrep forbedring	-3	Stor	Noe	Liten		
<i>*Benyttede parametre: H = 5 m, Mektighet kvikkleire = 3 m</i>						<b>SUM: 24</b>

<b>Total poengscore</b>	<b>24</b>
Lav faregrad	0 - 17 poeng
Middels faregrad	18 - 25 poeng
Høy faregrad	26 - 51 poeng

**Tidligere skredaktivitet:** Det er registrert mindre utglidninger og avbøyning av trær langs dagens bekkeløp, antatt klassifisert som lav skredaktivitet. Faregraden er satt til 1.

**Skråningshøyde:** Skråningshøyden er på det høyeste 5 m. Bakkant avgrenses av berg i dagen. Faregraden er satt til 0.

**Tidligere/nåværende terrengnivå (OCR):** Tolkning av ødometerforøket fra borepunkt 15 (4.5 m dybde) indikerer en OCR lik 3.16. Ødometerforsøk fra borepunkt 106 indikerer OCR tilsvarende 1.06 (5.38 m) og 0.9 (9.5 m). Se Tabell 7.4 for ytterligere info om ødometerforsøkene. Benytter OCR grad lik 1 for klassifisering, faregrad satt til 3.

**Poretrykk:** Installerte poretrykksmålere i området nord for Bøbekken indikerer ca. 0.5 kPa overtrykk. Faregraden er satt til 1.

**Kvikkleiremektighet:** Følgende beskrivelse er antatt mest kritisk nord for Bøbekken. Under et 2 m tykt lag med tørrskorpe og 4 meter tykt leirlag uten sprøbruddegenskaper er det påvist sprøbruddmaterial med en tykkelse på 4 meter fra prøveserier i borepunkt 114. Høyden på skråningen er satt til 5 meter. Kvikkleiremektigheten er derfor >H/2 og faregrad settes til 3.

**Sensitivitet:** Denne er valgt med bakgrunn i prøveserie fra borehull 114. Prøveserien indikerer sensitivitet på mellom 25 - 54 i lag klassifisert som kvikkleire. Basert på dette er faregraden satt til 2.

**Erosjon:** Det er fra befaring påvist seksjoner med erosjon klassifisert som «noe erosjon», se beskrivelse i kap. 4.1. Faregrad er satt til 2.

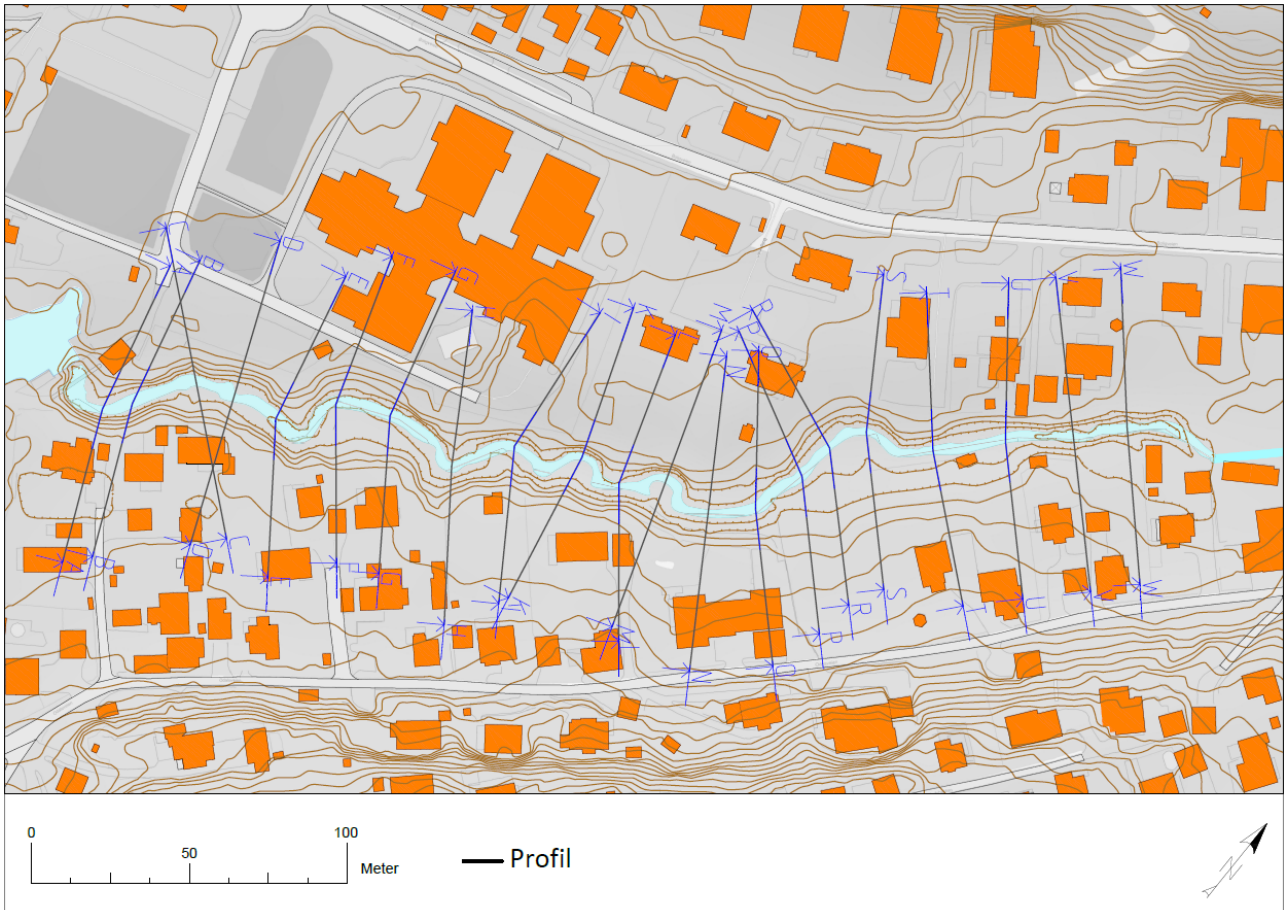
**Inngrep:** Faregradsevalueringen gjelder dagens situasjon så det er ikke aktuelt å se på forbedring/forverring av inngrep. Faregrad satt til 0.

## 7 Kritiske snitt og materialparametere

### 7.1 Kritiske snitt

Kritiske snitt er hentet ut vinkelrett på elvbredden langs hele Bøbekken, se plassering av snitt på oversiktskartet i Figur 7-1. For å få til dette er profilene hentet tatt ut med avbøyning (knekk) på midten for å komme mest mulig vinkelrett på overstående skråninger. Det er i alt tatt ut 21 snitt.

Oversiktskart og tverrsnitt er lagt ved i A1 format i Vedlegg B (B1 – B7).



Figur 7-1 Oversiktskart over kritiske snitt tatt ut i forbindelse med stabilitetsberegninger for prosjektet.

## 7.2 Materialparametere

### 7.2.1 Styrkeparametere

Material parameterne benyttet under stabilitetsberegning av de ulike snittene er gjengitt i Tabell 7.1 og Tabell 7.2. Verdiene er basert på tolkning av CPTu, utførte rutineundersøkelser (triaks (se kap. 7.2.2.2), enaks og konus) og erfaringsverdier hentet fra V220 (kap. 2.9.5.1) [9]. Tabell 7.3 indikerer materialnavn og udrenert skjærstyrke for de ulike udrenerte leirene benyttet i SLIDE2.

Prioriteringsrekkefølgen for valg av SuA-designprofil følger anbefalt rangering gitt i kap. 4.1 i NIFS rapport 77/2014 [10].

#### 7.2.1.1 Naturlige masser

Tabell 7.1 – Antatte/tolkede styrkeparametere for naturlige masser (masser som finnes i grunnen innen anleggsarbeidene starter).

Beskrivelse	Tyngdetetthet $\gamma/\gamma'$	Attraksjon a	Friksjonsvinkel $\Phi$	Udrenert skjærstyrke $s_u$ + tilvekst
[-]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kPa]	[°]	[kPa]
Tørrskorpe*	19/10	0	30	-
Leire	19/10	0	-	Fremgår av vedlegg D (se Tabell 7.3 for tilnæringer benyttet i SLIDE2)
Leire (bløt), drenert tilstand**	19/10	4.5	22.5	-

**Merknader**  
 \* Angitte styrkeparametere tørrskorpe udokumenterte erfaringsparametere gitt i kap. 2.9.5.2 i SVV V220 [9]. Samme beskrivelse gis i NVE veileder 1/2019 kap. 5.3.2 [1].  
 \*\* Angitte styrkeparametere er basert på triaksialforsøk (se Figur 7-3).

#### 7.2.1.2 Tilførte masser

Tabell 7.2 – Antatte styrkeparametere for tilførte masser (masser som tilføres og komprimeres som en del av anleggsarbeidene).

Beskrivelse	Tyngdetetthet $\gamma/\gamma'$	Attraksjon a	Friksjonsvinkel $\Phi$	Udrenert skjærstyrke $s_u$
[-]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kPa]	[°]	[kPa]
Sprengstein, komprimert*	19/10	0	42	-

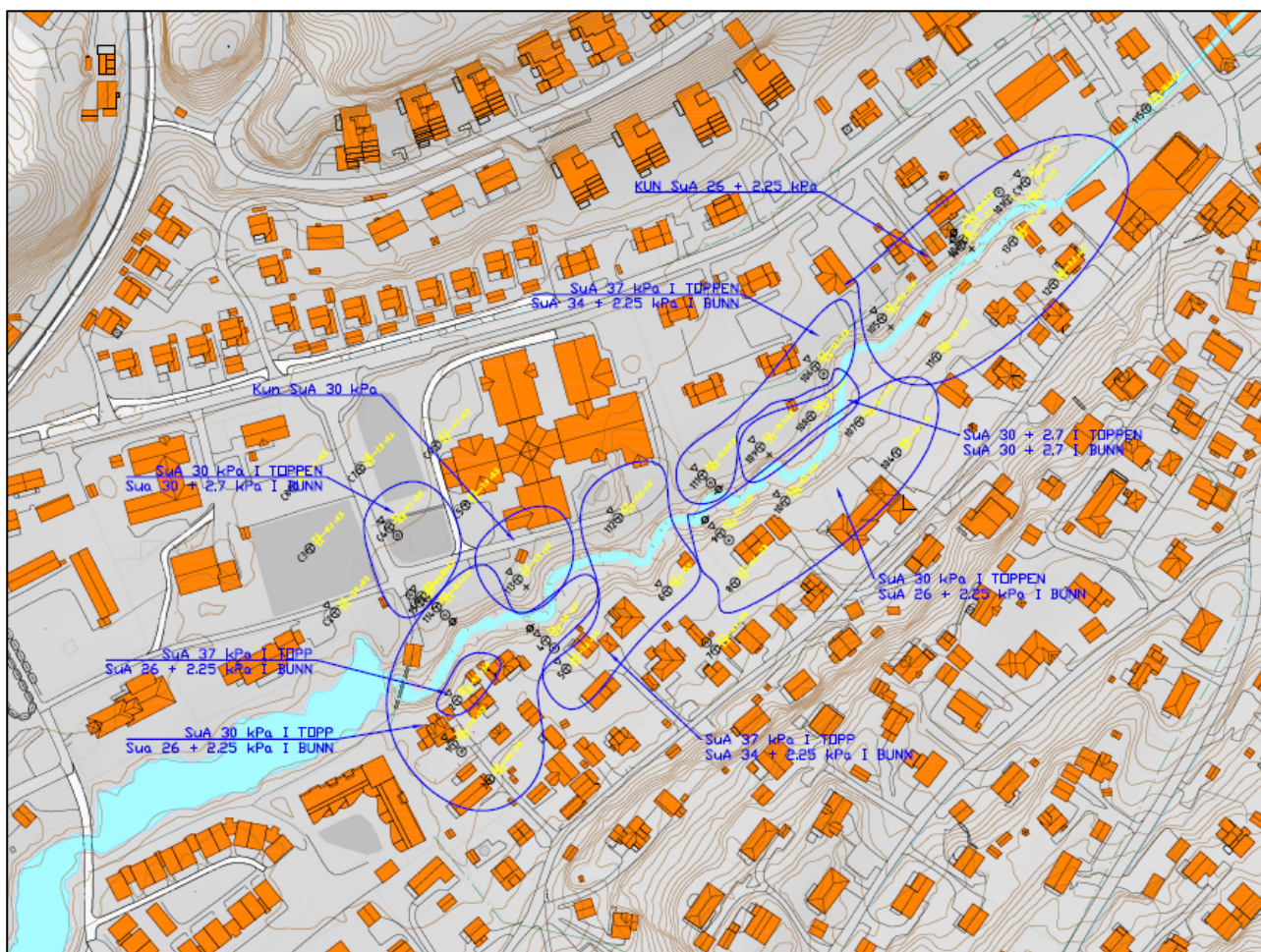
**Merknader**  
 \* Angitte styrkeparametere for ulike typer tilførte masser er udokumenterte erfaringsparametere gitt i Figur 2.39 (kap.2.9.5.1) i SVV V220 [9].

### 7.2.1.3 Materialer benyttet i slide2

Det laget fem materialer med tilnærmet samme styrke som indikert i SuA-designprofil. Se Tabell 7.3 for benyttet styrke + styrketilvekst for materialet. Se Figur 7-2 for et oversiktskart over hvor de ulike parametrene er benyttet. Områdene er tegnet opp basert på CPTu profil med tilnærmet like SuA-designprofil.

Tabell 7.3 Benyttede materialer i SLIDE2 sammen med skjærstyrke + tilvekst og kommentar på hvilke SuA-designprofil som har blitt tilegnet materialet.

Materialnavn	Udrenert skjærstyrke $s_u$ + tilvekst	Kommentar
[-]	[kPa]	[-]
Leire SuA 30	30	Benyttet på leirer fra SuA-designprofil med en lav tilvekst (<1 kPa/m) og aktiv skjærstyrke (SuA) mellom 27 – 34 kPa
Leire SuA 37	37	Benyttet på leirer fra SuA-designprofil med en lav tilvekst (<1 kPa/m) og aktiv skjærstyrke (SuA) mellom 36 – 40 kPa
Leire SuA 26 + 2.25	26 + 2.25 kPa/m	Benyttet på leirer fra SuA-designprofil med relativt lav tolket tilvekst (1.5 – 2.3 kPa/m) og aktiv skjærstyrke (SuA) mellom 22 – 30 kPa
Leire SuA 34 + 2.25	34 + 2.25 kPa/m	Benyttet på leirer fra SuA-designprofil med relativt lav tolket tilvekst (1.5 – 2.3 kPa/m) og aktiv skjærstyrke (SuA) mellom 32 – 34 kPa
Leire SuA 30 + 2.7	30 + 2.7 kPa/m	Benyttet på leirer fra SuA-designprofil med relativt moderat tolket tilvekst (>2.5 kPa/m) og aktiv skjærstyrke (SuA) mellom 24 – 40 kPa



Figur 7-2 Oversiktskart over hvilke delområder de ulike materialparametrene har blitt benyttet,



## 7.2.2 Materialparametere avledet fra lab

### 7.2.2.1 Ødometer

Innenfor prosjektområdet er det totalt utført 5 ødometerforsøk på prøver fra borepunkt 106, 4, 9 og 15. Se Tabell 7.4 for utledet data fra utførte ødometerforsøk med kvalitet indikert. Tolkning av  $p'c$  fremkommer av Vedlegg I.

Tabell 7.4 Relevant data utledet fra utførte Ødometerforsøk.

Bor-punkt	Dybde (m)	$p'c^{**}$	$\gamma$	$\gamma'$	GVS	$\sigma'v0$	OCR	$\frac{\Delta e}{e0} \times 100\%^*$	Kvalitet***	Merknad
106	5.38	80	18.5	8.5	3	75.73	1.06	3.5%	Meget god	- Piezometer i samme borpunkt indikerer GVS ca. 3 m under terreng
	9.50	100	18.5	8.5	3	110.75	0.90	4.5%	-	- $p'c$ tolket med Cassagrande
4	8.40	148	19	9	3	105.6	1.40	3.0%	Meget god	- Piezometer i samme borpunkt indikerer GVS ca. 3 m under terreng - $p'c$ tolket med Karlsrud
9	7.60	162	19	9	2.5	93.4	1.73	3.5%	Meget god	- Piezometer i samme borpunkt indikerer GVS ca. 2.5 m under terreng - $p'c$ tolket med Karlsrud
15	4.50	223	19	9	3	70.5	3.16	1.5%	Meget god	- Antatt ca. 3 m under terreng - $p'c$ tolket med Karlsrud

\*Avlest som tøyningssendring innenfor det relevante spenningsintervall (0 kPa til antatt  $\sigma'v0$ )  
 \*\*Se vedlegg I for grafisk tolkning av  $p'c$   
 \*\*\*Kvalitet et fastslått i henhold til Figur 2.21 i SVV V220 [11].

### 7.2.2.2 Treksialforsøk

Det ble utført totalt 4 treksialforsøk på prøveserier fra borepunkt 4, 9 (2 stk) og 15. Tolket maksimal  $SuA$  og  $SuA$  ved 2% tøyning fremgår av Tabell 7.5. Kvaliteten av tolkede treksialforsøk fremgår av Tabell 7.6.

Alle tolkede treksialforsøk befinner seg i datarapporten utarbeidet av Geostrøm [2913-R1] [4].

Treksialforsøk har også blitt benyttet for å fastsette attraksjon og friksjonsvinkel for leirene innenfor prosjektområdet, se Figur 7-3 for en grafisk oversikt av resultatene. I stabilitetsanalysene er en attraksjon på 4.5 og en friksjonsvinkel på 22.5 grad benyttet.

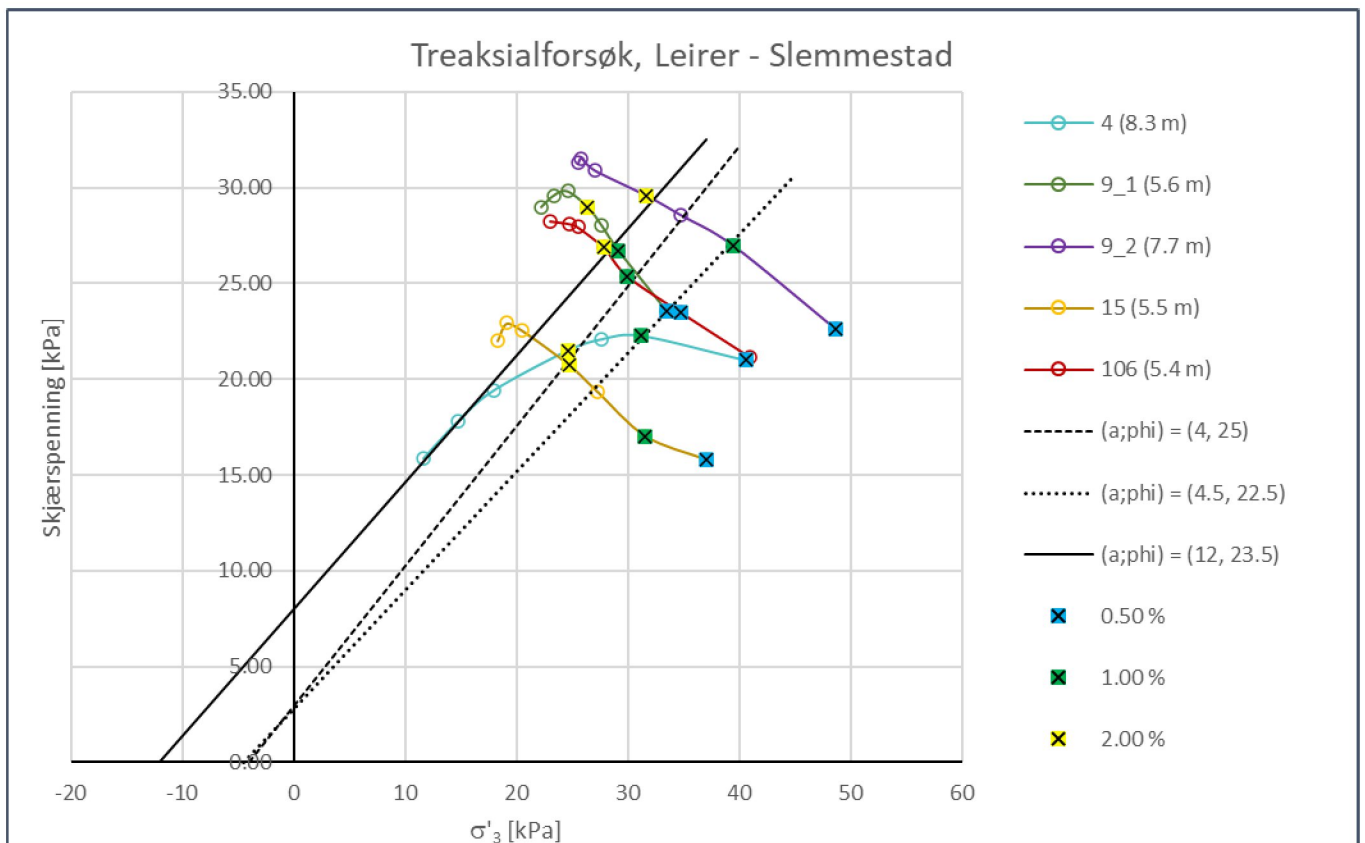
Tabell 7.5 Tolket maksimal  $SuA$  og  $SuA$  ved 2% tøyning for utførte treksialtester.

Borhull	Dybde (m)	Maks. $SuA$ (kPa)	Tøyning	$SuA$ v/2% (kPa)
4	8.3	22.5	1 %	-
9	5.6	30	5 %	28.5
	7.7	32	10 %	29
15	5.5	23	6 %	20.5

Tabell 7.6 Kvalitet på utførte treksialforsøk

Borepunkt	Dybde (m)	V_før [cm <sup>3</sup> ]	V_etter [cm <sup>3</sup> ]	$\Delta V$	$\frac{\Delta V}{V_{\text{før}}} \times 100\%$	Kvalitet*
4	8.3	229	221.5	7.5	3.3%	Akseptabelt forsøk
9	5.6	229	225	4	1.7%	Godt forsøk
	7.7	229	219.7	9.3	4.1%	Dårlig forsøk
15	5.5	229	220.5	8.5	3.7%	Akseptabelt forsøk

\*Kvalitet er fastslått i henhold til figur 2.20 i SVV V220 [11].



Figur 7-3 Tolkning av attraksjon og friksjonsvinkel fra treksialforsøk utført på leirer.

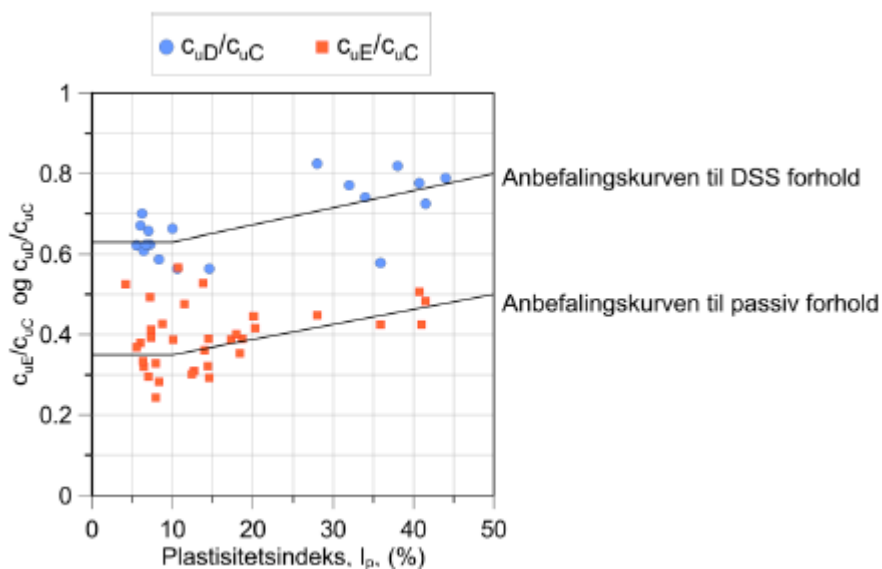
### 7.2.3 ADP-faktorer

Dette kapittel anvender i samsvar med NIFS rapportene sin terminologi den engelske notasjonen for hhv. aktiv, direkte og passiv skjærstyrke, slik at  $c_{uD} = s_{uA}$ ,  $c_{uD} = s_{uD}$  og  $c_{uE} = s_{uP}$ .

ADP-faktorer fastlegges i henhold til de omforente anbefalingene gitt i kap. 4 i NIFS rapport 14/2014 [12].

Det er større mengde felt- og lab. arbeider med tanke på å oppnå en nøye fastlegging av  $c_{uC}$  og  $I_p$ . Det har i dette prosjektet ikke blitt utført passive treaksialforsøk eller direkte skjærforsøk.

Viser til utklipp av NIFS rapport 14/2014 [12] i Figur 7-4 og Figur 7-5 der metoden for å bestemme ADP-faktorer med utgangspunkt  $I_p$  er gjengitt.



Figur 7-4 Utklipp av figur 4 i NIFS rapport 14/2014 [12].

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

Figur 7-5 Utklipp av tabell 1 i NIFS rapport 14/2014 [12]. OBS!:  $I_p$  er i % i formlene

Med basis i ovenstående korrelasjoner og utførte lab. arbeider som indikerer en gjennomsnittlig plastisitetindeks ( $I_p$ %) på **11%** vil det videre i prosjektet bli benyttet følgende ADP-faktorer:

$$c_{uD}/c_{uC} = 0,63$$

$$c_{uE}/c_{uC} = 0,35$$

## 7.2.4 Kvalitet CPTu forsøk

Anvendelsesklasse for de ulike CPTu forsøkene benyttet under fastsettelsen av styrkeparametrene fremkommer av Tabell 7.7.

Tabell 7.7 Kvalitet av benyttede CPTu forsøk.

BH ID	Sonde ID	Anvend. klasse spissmotstand	Anvend. klasse sidefriksjon	Anvend. klasse poretrykk	Anvend. klasse overall	Merknad
1	5305	1	1	1	1	Se vedlegg D
2	5305	1	1	1	1	Se vedlegg D
4	4754	1	1	1	1	Se vedlegg D
5	4754	1	1	1	1	Se vedlegg D
6	5305	1	1	1	1	Se vedlegg D
9	5305	1	1	2	2	Se vedlegg D
10	5305	1	1	1	1	Se vedlegg D
105	51803	1	1	2	2	Se Civil Consulting data-rapport tabell 3
106	4534	1	1	1	1	Se vedlegg D
109	51803	2	1	2	2	Se Civil Consulting data-rapport tabell 3
111	4534	1	1	1	1	Se vedlegg D
112	51803	1	1	3	3	Se Civil Consulting data-rapport tabell 3
113	51803	1	1	2	2	Se Civil Consulting data-rapport tabell 3
114	4534	1	1	1	1	Se vedlegg D
C1	51803	1	1	2	2	Se Civil Consulting data-rapport tabell 3
C2	51803	1	1	2	2	Se Civil Consulting data-rapport tabell 3
C4	51803	1	1	2	2	Se Civil Consulting data-rapport tabell 3
C9	51803	1	1	2	2	Se Civil Consulting data-rapport tabell 3

## 8 Stabilitetsvurderinger

### 8.1 Forutsetninger

Plasseringen av tørrskorpelag og berg i slide2 analysen er hentet ut fra 3D-lagflatemodellen utarbeidet av NGI [8]. Grenseflatene mellom ulike leirlag i grunnen er tolket ut ifra CPTu profil og forskjeller/endringer med dypet tolket fra disse. Se Vedlegg D for tolkning av SuA-kurver.

Tykkelsen av erosjonssikringen fremkommer av en innledende slide2 analyse utført for å påvise nødvendig tykkelse av bekkebunnshevingen som behøves for å ivareta stabiliteten. Videre har resultatene fra denne analysen blitt bearbeidet og implementert i en flomanalyse utført i HEC-RAS av VA i NIRAS Norge AS. Øvre nivå på erosjonssikringen langs sideterrenget fremkommer av denne analysen. Se egen fagrapport fra flom og VA for ytterligere informasjon [13].

Nødvendig bekkebunnsheving og øvre nivå på erosjonssikring er videre bearbeidet av LARK i NIRAS Norge AS til en sammenhengende overflatemodell for fremtidig bekkeløp, denne modellen legger grunnlaget for permanent situasjon som presentert i beregningene, se kap. 8.2.

Grunnvannspeilet i dagens situasjon og fremtidig middelflomsituasjon som blir benyttet i slide2 beregningene fremkommer fra en hydrogeologisk modell utarbeidet av hydrogeologer i NIRAS Norge AS. Se Vedlegg E1-E18 for relatert modell-notat.

Det er forutsatt 5 kPa/m<sup>2</sup> flatelast for å kunne oppta påvirkning fra eksisterende bebyggelse og eventuell anleggsarbeid/utstyrsdepot i midlertidig fase.

Profilsnittene benyttet i slide2 analysen er lagt ved i Vedlegg B og resultatet fra slide2 beregningene fremkommer av vedlegg C (C1 – C140).

### 8.2 Beregninger

Stabilitetsberegninger er utført i programmet SLIDE2 med metode JANBU. Programmet SLIDE2 klarer å søke frem både sirkulære og ikke-sirkulære (optimaliserte, sammensatte) brudd. Det er ikke benyttet 3D-effekter i vedlagte beregninger.

Effektivspenningsanalyser utføres i alle tilfeller som aP-reduksjon mens totalspenningsanalyser utføres på ADP-basis. Det fremgår tydelig av hver enkelt beregning hvilken analysemetode som har blitt benyttet.

Beregningene er gjennomført med styrkeparametere og ADP-faktorer som angitt i 7.2.3 og 7.2.1.

Modellering av anisotropiforhold i SLIDE2 ved analyse på ADP-basis gjøres som beskrevet i kap. 4.2 i NIFS 14/2014, ref. [12]. Viser til vedlegg G (G1-G2) for en nærmere beskrivelse.

Beregningene er utført for å bekrefte at planlagt bekkebunnsheving og erosjonssikringen er tilstrekkelig for å ivareta områdestabiliteten langs Bøbekken i henhold til sikkerhetskrav som angitt i kap. 2.2.1.1.

For profil T-T til W-W (C109 – C140 i Vedlegg C) er det også påregnet med utgravning tilsvarende 1 meter under ny bekkebunn. Dette er da erosjonssikringslaget langs bekkebunnen må være 1 meter tykt i delområdet for å leve opp til kravet gitt i NVE veileder 4/2009 [14].

Resultatene av stabilitetsberegningene fremkommer av Tabell 8.1.

Enkelte profil indikerer utilfredsstillende stabilitet ved brudd i tørrskorpe/under drenert tilstand. Det er ikke regnet med attraksjon i tørrskorpe i analysene. Det antas at en liten økning i attraksjon vil medføre tilstrekkelig stabilitet i drenert tilstand.

Tabell 8.1 Resultat fra utførte stabilitetsanalyser i Slide2.

Vedlegg	Profilnavn	Tilstand	SF*	Kommentar
[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
C1	A-A	Udrenert	<b>0.58</b>	Dagens situasjon, brudd i tørrskorpe og kritisk brudd i leire. Bruddretning høyre mot venstre.
C2	A-A	Udrenert	<b>2.10</b>	Dagens situasjon, brudd i leire. Bruddretning venstre mot høyre.
C3	A-A	Udrenert	<b>1.39</b>	Permanent situasjon, Bekkebunnsheving m/lavt grunnvann. Brudd i tørrskorpe, ingen kritiske brudd i leire. Bruddretning høyre mot venstre
C4	A-A	Udrenert	<b>2.24</b>	Permanent situasjon, Bekkebunnsheving m/lavt grunnvann. Bruddretning høyre mot venstre.
C5	A-A	Udrenert	<b>1.16</b>	Permanent situasjon m/bekkebunnsheving og høy grunnvannstand. Brudd i tørrskorpe, lever ikke opp til SF krav. Ingen kritiske brudd i leire. Bruddretning høyre mot venstre.
C6	A-A	Udrenert	<b>2.41</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Middelflomsituasjon. Bruddretning venstre mot høyre.
C7	B-B	Udrenert	<b>0.89</b>	Dagens situasjon. Brudd i tørrskorpe, lever ikke opp til SF krav. Ingen kritiske brudd i leire. Bruddretning høyre mot venstre.
C8	B-B	Udrenert	<b>1.31</b>	Dagens situasjon. Kritisk brudd i leire, lever ikke opp til SF krav. Bruddretning venstre mot høyre.
C9	B-B	Udrenert	<b>2.07</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Normalvannstand. Bruddretning høyre mot venstre.
C10	B-B	Udrenert	<b>2.23</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Normalvannstand. Bruddretning venstre mot høyre.
C11	B-B	Udrenert	<b>2.02</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Middelflomsituasjon. Bruddretning høyre mot venstre.
C12	B-B	Udrenert	<b>1.86</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Middelflomsituasjon. Bruddretning venstre mot høyre.
C13	C-C	Udrenert	<b>1.29</b>	Dagens situasjon. Brudd i tørrskorpe, lever opp til SF krav. Ingen kritiske brudd i leire. Bruddretning høyre mot venstre
C14	C-C	Udrenert	<b>1.18</b>	Dagens situasjon. Brudd i tørrskorpe og kritisk brudd i leire, lever ikke opp til SF krav. Bruddretning venstre mot høyre.
C15	C-C	Udrenert	<b>1.61</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Normalvannstand. Bruddretning høyre mot venstre.
C16	C-C	Udrenert	<b>1.54</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Normalvannstand. Bruddretning venstre mot høyre.
C17	C-C	Udrenert	<b>1.39</b>	Permanent situasjon m/bekkebunnsheving. Høy grunnvannstand. Brudd i tørrskorpe, lever opp til SF krav. Ingen kritiske brudd i leire. Bruddretning høyre mot venstre
C18	C-C	Udrenert	<b>1.51</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Middelflomsituasjon. Bruddretning venstre mot høyre.
C19	D-D	Udrenert	<b>1.22</b>	Dagens situasjon, Brudd i tørrskorpe og kritisk brudd i leire, lever ikke opp til SF krav. Bruddretning høyre mot venstre.
C20	D-D	Udrenert	<b>1.21</b>	Dagens situasjon. Kritisk brudd i leire, lever ikke opp til SF krav. Bruddretning venstre mot høyre.
C21	D-D	Udrenert	<b>1.48</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Normalvannstand. Bruddretning høyre mot venstre.

C22	D-D	Udrenert	1.60	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Normalvannstand. Bruddretning venstre mot høyre.
C23	E-E	Udrenert	0.84	Dagens situasjon, Brudd i tørrskorpe og kritisk brudd i leire, lever ikke opp til SF krav. Bruddretning høyre mot venstre
C24	E-E	Udrenert	1.44	Dagens situasjon. Normalvannstand. Bruddretning venstre mot høyre.
C25	E-E	Udrenert	1.55	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Normalvannstand. Bruddretning høyre mot venstre.
C26	E-E	Udrenert	1.78	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Normalvannstand. Bruddretning venstre mot høyre.
C27	E-E	Udrenert	1.40	Permanent situasjon m/bekkebunnsheving og høyt grunnvann. Brudd i tørrskorpe. Lever opp til SF krav. Bruddretning høyre mot venstre.
C28	E-E	Udrenert	1.83	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Middelflomsituasjon. Bruddretning venstre mot høyre.
C29	E-E	Effektiv	1.550	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Normalvannstand. Bruddretning høyre mot venstre.
C30	E-E	Effektiv	1.585	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Normalvannstand. Bruddretning venstre mot høyre. Lever opp til kravet i effektivtilstand.
C31	E-E	Effektiv	1.397	Permanent situasjon m/bekkebunnsheving og høyt grunnvann. Brudd i tørrskorpe. Lever opp til SF krav. Bruddretning høyre mot venstre. Lever opp til kravet i effektiv tilstand.
C32	E-E	Effektiv	1.345	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Middelflomsituasjon. Bruddretning venstre mot høyre. Lever opp til kravet i effektivtilstand.
C33	F-F	Udrenert	1.43	Dagens situasjon. Normalvannstand. Bruddretning høyre mot venstre.
C34	F-F	Udrenert	1.47	Dagens situasjon. Normalvannstand. Bruddretning venstre mot høyre.
C35	F-F	Udrenert	1.59	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Normalvannstand. Bruddretning høyre mot venstre.
C36	F-F	Udrenert	1.69	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Normalvannstand. Bruddretning venstre mot høyre.
C37	F-F	Udrenert	1.41	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Middelflomsituasjon. Bruddretning høyre mot venstre.
C38	F-F	Udrenert	1.74	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Middelflomsituasjon. Bruddretning venstre mot høyre.
C39	G-G	Udrenert	1.36	Dagens situasjon, Brudd i tørrskorpe. Ingen kritiske brudd i leire, lever opp til SF krav i effektiv tilstand. Bruddretning høyre mot venstre
C40	G-G	Udrenert	1.27	Dagens situasjon, Brudd i tørrskorpe og kritisk brudd i leire, lever ikke opp til SF krav. Bruddretning venstre mot høyre.
C41	G-G	Udrenert	1.59	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Normalvannstand. Bruddretning høyre mot venstre.
C42	G-G	Udrenert	1.55	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Normalvannstand. Bruddretning venstre mot høyre.
C43	G-G	Udrenert	1.39	Permanent situasjon, Bekkebunnsheving m/høyt grunnvann. Brudd i tørrskorpe, ingen kritiske brudd i leire. Bruddretning høyre mot venstre
C44	G-G	Udrenert	1.57	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Middelflomsituasjon. Bruddretning venstre mot høyre.

C45	G-G	Effektiv	<b>1.675</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Normalvannstand. Bruddretning høyre mot venstre. Påregnet poreovertrykk.
C46	G-G	Effektiv	<b>1.723</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Normalvannstand. Bruddretning venstre mot høyre. Påregnet poreovertrykk.
C47	G-G	Effektiv	<b>1.342</b>	Permanent situasjon m/bekkebunnsheving og høyt grunnvann. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Effektivspenningsanalyse. Bruddretning høyre mot venstre. Lever opp til krav i effektiv tilstand. Påregnet poreovertrykk.
C48	G-G	Effektiv	<b>1.476</b>	Permanent situasjon m/bekkebunnsheving og høyt grunnvann. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Bruddretning venstre mot høyre. Lever opp til kravet i effektivtilstand. Påregnet poreovertrykk.
C49	H-H	Udrenert	<b>0.96</b>	Dagens situasjon, Brudd i tørrskorpe, lever ikke opp til SF krav. Ingen kritiske brudd i leire. Bruddretning høyre mot venstre
C50	H-H	Udrenert	<b>1.64</b>	Dagens situasjon. Normalvannstand. Bruddretning venstre mot høyre.
C51	H-H	Udrenert	<b>1.78</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Normalvannstand. Bruddretning høyre mot venstre.
C52	H-H	Udrenert	<b>1.74</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Normalvannstand. Bruddretning venstre mot høyre.
C53	H-H	Udrenert	<b>1.38</b>	Permanent situasjon, Bekkebunnsheving m/høyt grunnvann. Brudd i tørrskorpe, ingen kritiske brudd i leire. Bruddretning høyre mot venstre
C54	H-H	Udrenert	<b>1.76</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Middelflomsituasjon. Bruddretning venstre mot høyre.
C55	I-I	Udrenert	<b>1.12</b>	Dagens situasjon, Brudd i tørrskorpe lever ikke opp til SF krav. Ingen kritiske brudd i leire. Bruddretning høyre mot venstre
C56	I-I	Udrenert	<b>2.17</b>	Dagens situasjon. Normalvannstand. Bruddretning venstre mot høyre.
C57	I-I	Udrenert	<b>1.62</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Normalvannstand. Bruddretning høyre mot venstre.
C58	I-I	Udrenert	<b>2.64</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Normalvannstand. Bruddretning venstre mot høyre.
C59	I-I	Udrenert	<b>1.58</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Middelflomsituasjon. Bruddretning høyre mot venstre.
C60	I-I	Udrenert	<b>2.89</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Middelflomsituasjon. Bruddretning venstre mot høyre.
C61	K-K	Udrenert	<b>1.05</b>	Dagens situasjon, Brudd i tørrskorpe og kritisk brudd i leire. Bruddretning høyre mot venstre.
C62	K-K	Udrenert	<b>1.42</b>	Dagens situasjon. Normalvannstand. Bruddretning venstre mot høyre.
C63	K-K	Udrenert	<b>1.41</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Normalvannstand. Bruddretning høyre mot venstre.
C64	K-K	Udrenert	<b>1.91</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Normalvannstand. Bruddretning venstre mot høyre.
C65	K-K	Udrenert	<b>1.33</b>	Permanent situasjon, bekkebunnsheving m/høyt grunnvann. Brudd i tørrskorpe, lever opp til SF krav. Ingen kritiske brudd i leire. Bruddretning høyre mot venstre.
C66	K-K	Udrenert	<b>1.85</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Middelflomsituasjon. Bruddretning venstre mot høyre.



C67	L-L	Udrenert	<b>0.82</b>	Dagens situasjon, Brudd i tørrskorpe og kritisk brudd i leire, lever ikke opp til SF krav. Bruddretning høyre mot venstre
C68	L-L	Udrenert	<b>1.81</b>	Dagens situasjon. Normalvannstand. Bruddretning venstre mot høyre.
C69	L-L	Udrenert	<b>1.46</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Normalvannstand. Bruddretning høyre mot venstre.
C70	L-L	Udrenert	<b>2.25</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Normalvannstand. Bruddretning venstre mot høyre.
C71	L-L	Udrenert	<b>1.42</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Middelflomsituasjon. Bruddretning høyre mot venstre.
C72	L-L	Udrenert	<b>2.25</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Middelflomsituasjon. Bruddretning venstre mot høyre.
C73	M-M	Udrenert	<b>1.34</b>	Dagens situasjon. Kritisk brudd i leire, lever ikke opp til SF krav. Bruddretning høyre mot venstre.
C74	M-M	Udrenert	<b>1.49</b>	Dagens situasjon. Normalvannstand. Bruddretning venstre mot høyre.
C75	M-M	Udrenert	<b>1.43</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Normalvannstand. Bruddretning høyre mot venstre.
C76	M-M	Udrenert	<b>1.87</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Normalvannstand. Bruddretning venstre mot høyre.
C77	M-M	Udrenert	<b>1.42</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Middelflomsituasjon. Bruddretning høyre mot venstre.
C78	M-M	Udrenert	<b>1.82</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Middelflomsituasjon. Bruddretning venstre mot høyre.
C79	N-N	Udrenert	<b>1.49</b>	Dagens situasjon. Normalvannstand. Bruddretning høyre mot venstre.
C80	N-N	Udrenert	<b>1.91</b>	Dagens situasjon. Normalvannstand. Bruddretning venstre mot høyre.
C81	N-N	Udrenert	<b>1.51</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Normalvannstand. Bruddretning høyre mot venstre.
C82	N-N	Udrenert	<b>1.98</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Normalvannstand. Bruddretning venstre mot høyre.
C83	N-N	Udrenert	<b>1.58</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Middelflomsituasjon. Bruddretning høyre mot venstre.
C84	N-N	Udrenert	<b>2.10</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Middelflomsituasjon. Bruddretning venstre mot høyre.
C85	O-O	Udrenert	<b>1.76</b>	Dagens situasjon. Normalvannstand. Bruddretning høyre mot venstre.
C86	O-O	Udrenert	<b>2.58</b>	Dagens situasjon. Normalvannstand. Bruddretning venstre mot høyre.
C87	O-O	Udrenert	<b>1.41</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Normalvannstand. Bruddretning høyre mot venstre.
C88	O-O	Udrenert	<b>2.56</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Normalvannstand. Bruddretning venstre mot høyre.
C89	O-O	Udrenert	<b>1.40</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Middelflomsituasjon. Bruddretning høyre mot venstre.
C90	O-O	Udrenert	<b>2.69</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Middelflomsituasjon. Bruddretning venstre mot høyre.

C91	P-P	Udrenert	<b>3.66</b>	Dagens situasjon. Normalvannstand. Bruddretning høyre mot venstre.
C92	P-P	Udrenert	<b>1.98</b>	Dagens situasjon. Normalvannstand. Bruddretning venstre mot høyre.
C93	P-P	Udrenert	<b>2.87</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Normalvannstand. Bruddretning høyre mot venstre.
C94	P-P	Udrenert	<b>1.96</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Normalvannstand. Bruddretning venstre mot høyre.
C95	P-P	Udrenert	<b>3.98</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Middelflomsituasjon. Bruddretning høyre mot venstre.
C96	P-P	Udrenert	<b>2.11</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Middelflomsituasjon. Bruddretning venstre mot høyre.
C97	R-R	Udrenert	<b>2.76</b>	Dagens situasjon. Normalvannstand. Bruddretning høyre mot venstre.
C98	R-R	Udrenert	<b>1.64</b>	Dagens situasjon. Normalvannstand. Bruddretning venstre mot høyre.
C99	R-R	Udrenert	<b>2.57</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Normalvannstand. Bruddretning høyre mot venstre.
C100	R-R	Udrenert	<b>1.68</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Normalvannstand. Bruddretning venstre mot høyre.
C101	R-R	Udrenert	<b>2.95</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Middelflomsituasjon. Bruddretning høyre mot venstre.
C102	R-R	Udrenert	<b>1.78</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Middelflomsituasjon. Bruddretning venstre mot høyre.
C103	S-S	Udrenert	<b>2.92</b>	Dagens situasjon. Normalvannstand. Bruddretning høyre mot venstre.
C104	S-S	Udrenert	<b>1.61</b>	Dagens situasjon. Normalvannstand. Bruddretning venstre mot høyre.
C105	S-S	Udrenert	<b>2.53</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Normalvannstand. Bruddretning høyre mot venstre.
C106	S-S	Udrenert	<b>1.66</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Normalvannstand. Bruddretning venstre mot høyre.
C107	S-S	Udrenert	<b>2.49</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Middelflomsituasjon. Bruddretning høyre mot venstre.
C108	S-S	Udrenert	<b>1.75</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Middelflomsituasjon. Bruddretning venstre mot høyre.
C109	T-T	Udrenert	<b>2.97</b>	Dagens situasjon. Normalvannstand. Bruddretning høyre mot venstre.
C110	T-T	Udrenert	<b>1.46</b>	Dagens situasjon. Normalvannstand. Bruddretning venstre mot høyre.
C111	T-T	Udrenert	<b>1.83**</b>	Midlertidig situasjon. Utgravning for erosjonssikring tilsvarende 1 meter fra fremtidig elvebunn. Normalvannstand. Bruddretning høyre mot venstre.
C112	T-T	Udrenert	<b>1.27**</b>	Midlertidig situasjon. Utgravning for erosjonssikring tilsvarende 1 meter fra fremtidig elvebunn. Normalvannstand. Bruddretning venstre mot høyre. Brudd i leire. Lever ikke opp til SF krav.
C113	T-T	Udrenert	<b>2.75</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Normalvannstand. Bruddretning høyre mot venstre.
C114	T-T	Udrenert	<b>1.49</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Normalvannstand. Bruddretning venstre mot høyre.

C115	T-T	Udrenert	<b>2.68</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus – 5 kN/m2. Middelflomsituasjon. Bruddretning høyre mot venstre.
C116	T-T	Udrenert	<b>1.55</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus – 5 kN/m2. Middelflomsituasjon. Bruddretning venstre mot høyre.
C117	U-U	Udrenert	<b>2.95</b>	Dagens situasjon. Normalvannstand. Bruddretning høyre mot venstre.
C118	U-U	Udrenert	<b>1.74</b>	Dagens situasjon. Normalvannstand. Bruddretning venstre mot høyre.
C119	U-U	Udrenert	<b>2.59</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus – 5 kN/m2. Normalvannstand. Bruddretning høyre mot venstre.
C120	U-U	Udrenert	<b>1.79</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus – 5 kN/m2. Normalvannstand. Bruddretning venstre mot høyre.
C121	U-U	Udrenert	<b>2.54</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus – 5 kN/m2. Middelflomsituasjon. Bruddretning høyre mot venstre.
C122	U-U	Udrenert	<b>1.81</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus – 5 kN/m2. Middelflomsituasjon. Bruddretning venstre mot høyre.
C123	U-U	Udrenert	<b>1.92**</b>	Midlertidig situasjon. Utgravning for erosjonssikring tilsvarende 1 meter fra fremtidig elvebunn. Normalvannstand. Bruddretning høyre mot venstre.
C124	U-U	Udrenert	<b>1.42**</b>	Midlertidig situasjon. Utgravning for erosjonssikring tilsvarende 1 meter fra fremtidig elvebunn. Normalvannstand. Bruddretning venstre mot høyre.
C125	V-V	Udrenert	<b>1.14</b>	Dagens situasjon. Normalvannstand. Bruddretning høyre mot venstre. Brudd i tørrskorpe. Lever ikke opp til SF krav.
C126	V-V	Udrenert	<b>1.92</b>	Dagens situasjon. Normalvannstand. Bruddretning venstre mot høyre.
C127	V-V	Udrenert	<b>2.02**</b>	Midlertidig situasjon. Utgravning for erosjonssikring tilsvarende 1 meter fra fremtidig elvebunn. Normalvannstand. Bruddretning høyre mot venstre.
C128	V-V	Udrenert	<b>1.50**</b>	Midlertidig situasjon. Utgravning for erosjonssikring tilsvarende 1 meter fra fremtidig elvebunn. Normalvannstand. Bruddretning venstre mot høyre.
C129	V-V	Udrenert	<b>1.47</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m2. Normalvannstand. Bruddretning høyre mot venstre.
C130	V-V	Udrenert	<b>1.86</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m2. Normalvannstand. Bruddretning venstre mot høyre.
C131	V-V	Udrenert	<b>1.46</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m2. Middelflomsituasjon. Bruddretning høyre mot venstre.
C132	V-V	Udrenert	<b>1.89</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m2. Middelflomsituasjon. Bruddretning venstre mot høyre.
C133	W-W	Udrenert	<b>2.33</b>	Dagens situasjon. Normalvannstand. Bruddretning høyre mot venstre.
C134	W-W	Udrenert	<b>2.00</b>	Dagens situasjon. Normalvannstand. Bruddretning venstre mot høyre.
C135	W-W	Udrenert	<b>3.11**</b>	Midlertidig situasjon. Utgravning for erosjonssikring tilsvarende 1 meter fra fremtidig elvebunn. Normalvannstand. Bruddretning høyre mot venstre.
C136	W-W	Udrenert	<b>1.64**</b>	Midlertidig situasjon. Utgravning for erosjonssikring tilsvarende 1 meter fra fremtidig elvebunn. Normalvannstand. Bruddretning venstre mot høyre.
C137	W-W	Udrenert	<b>2.54</b>	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m2. Normalvannstand. Bruddretning høyre mot venstre.

C138	W-W	Udrenert	2.15	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Normalvannstand. Bruddretning venstre mot høyre.
C139	W-W	Udrenert	2.77	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Middelflomsituasjon. Bruddretning høyre mot venstre.
C140	W-W	Udrenert	2.23	Permanent situasjon m/bunnheving og erosjonssikring. Påregnet antatt last fra hus - 5 kN/m <sup>2</sup> . Middelflomsituasjon. Bruddretning venstre mot høyre.
<p><b>*Grønn</b> tekst indikerer scenario som lever opp til sikkerhetskravet på <math>F_{cu} \geq 1,40</math>.</p> <p><b>Rød</b> tekst indikerer scenario som ikke lever opp til kravet <math>F_{cu} \geq 1,40</math> for brudd i leire, <math>F_{cp} \geq 1,25</math> for brudd i tørrskorpe og <math>F_{cu} \geq 1,40 * f_s = 1,61</math> i midlertidig forverrende situasjon.</p> <p><b>Oransje</b> tekst indikerer scenario som har en <math>F_{cu} \leq 1.4</math> men bruddet er i tørrskorpe/drenert leire og lever opp til kravet på <math>F_{cp} \geq 1,25</math>.</p> <p><b>**Situasjon hvor stabiliteten forverres og absolutt <math>F_{cu} \geq 1,40 * f_s = 1,61</math> behøves.</b></p>				

### 8.2.1.1 Seksjonsvis utgravning

Utgravning for erosjonssikring gir utilstrekkelig stabilitet for profil T-T, U-U, V-V ( $F_{cu} < 1.6$ ).

For profil T-T (C112) vil en seksjonsvis utgravning på 10 meter ivareta sikkerhetskravet på  $F_{cu} \geq 1,40 * fs = 1,61$ . Se Tabell 8.2 for drivende og stabiliserende krefter før og etter sidefriksjon og seksjonsvis utgravning påregnes.

For beregning av sidefriksjon henvises det til vedlegg H (H1 – H4).

Da profil T-T (C112) er det mest kritiske snittet funnet i analysen antas sikkerhetskravet ivaretatt ved seksjonsvis utgravning også for resterende snitt.

Tabell 8.2 Resulterende sikkerhetsfaktor med seksjonsvis utgravning og sidefriksjon påregnet.

Sidefriksjon	1074.782	[kN]
Utgravingslengde	10	[m]
<b>Stabiliserende krefter uten sidefriksjon</b>	306.825	[kN]
<b>Drivende krefter uten sidefriksjon</b>	242.216	[kN]
<b>Sikkerhetsfaktor uten sidefriksjon</b>	<b>1.267</b>	[-]
<b>Stabiliserende krefter over 10 m seksjon m/sidefriksjon</b>	3068.250	[kN]
<b>Drivende krefter over 10 m seksjon m/sidefriksjon</b>	2422.160	[kN]
<b>Beregnet SF med sidefriksjon</b>	<b>1.710</b>	[-]

## 8.3 Oppsummering

Enkelte seksjoner av Bøbekken er ikke stabil i dagens situasjon og det er behov for stabiliserende tiltak for å ivareta sikkerhetskravet på  $F_{cu} \geq 1,40$  og  $F_{\phi} \geq 1,25$  tilsvarende tiltakskategori K4.

Analysene ovenfor indikerer at bekkebunnsheving og erosjonssikring av sideskråningene skal være tilstrekkelige tiltak for å ivareta sikkerhetskravet i de fleste seksjoner. Der hvor sideskråningene står steilt har det også blitt behov for utslakning for å få plass til sprengsteinskråningene.

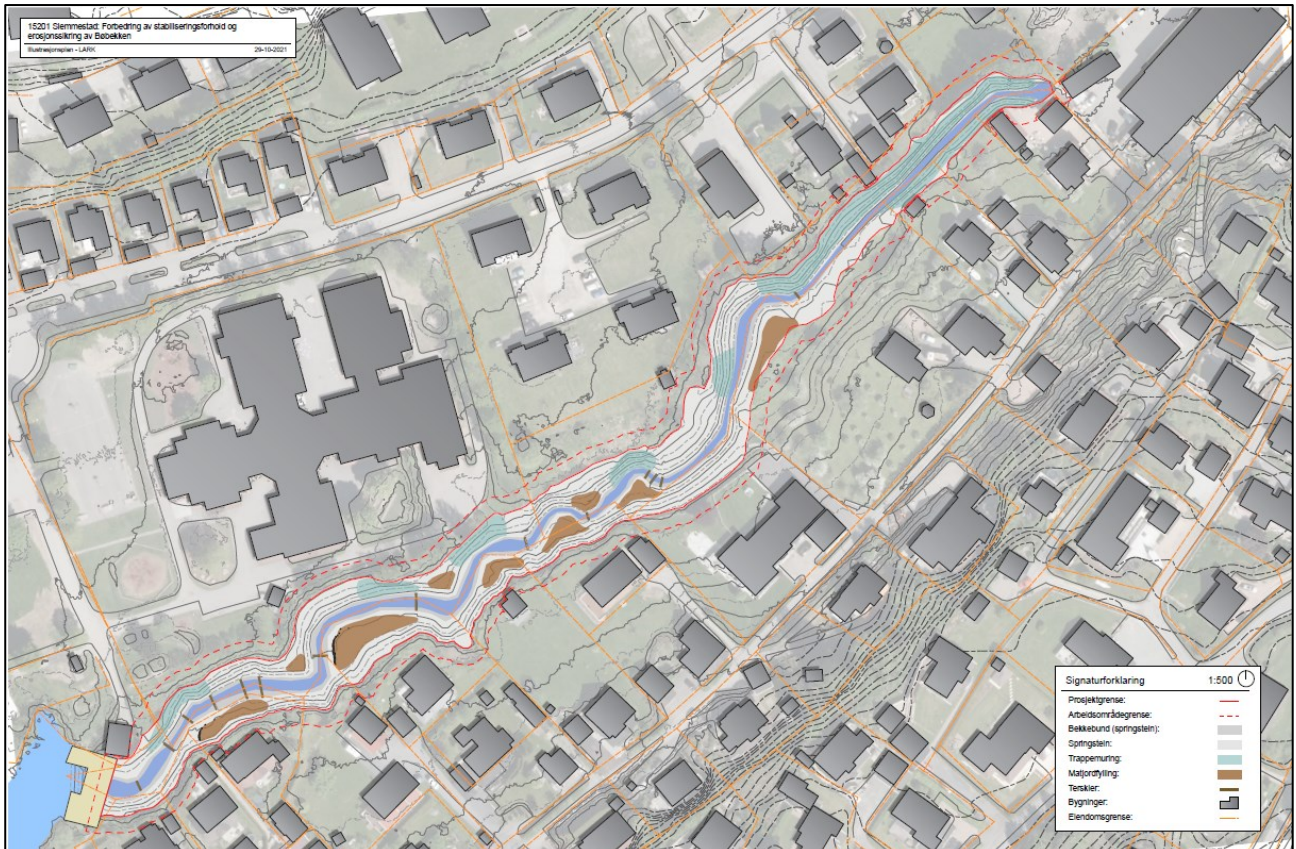
For å få plass til erosjonssikringen vil det i Bøbekkens østlige ende bli behov for 1 meter utgravning inn under nyetablert bekkebunn. Beregninger med seksjonsvis utgravning har indikert at slik utgravning skal være mulig samtidig som sikkerhetskravet  $F_{cu} \geq 1,40 * fs = 1,61$  ivaretas.

Ytterligere informasjon om de planlagte stabilitetstiltakene fremkommer av kap. 9 nedenunder.

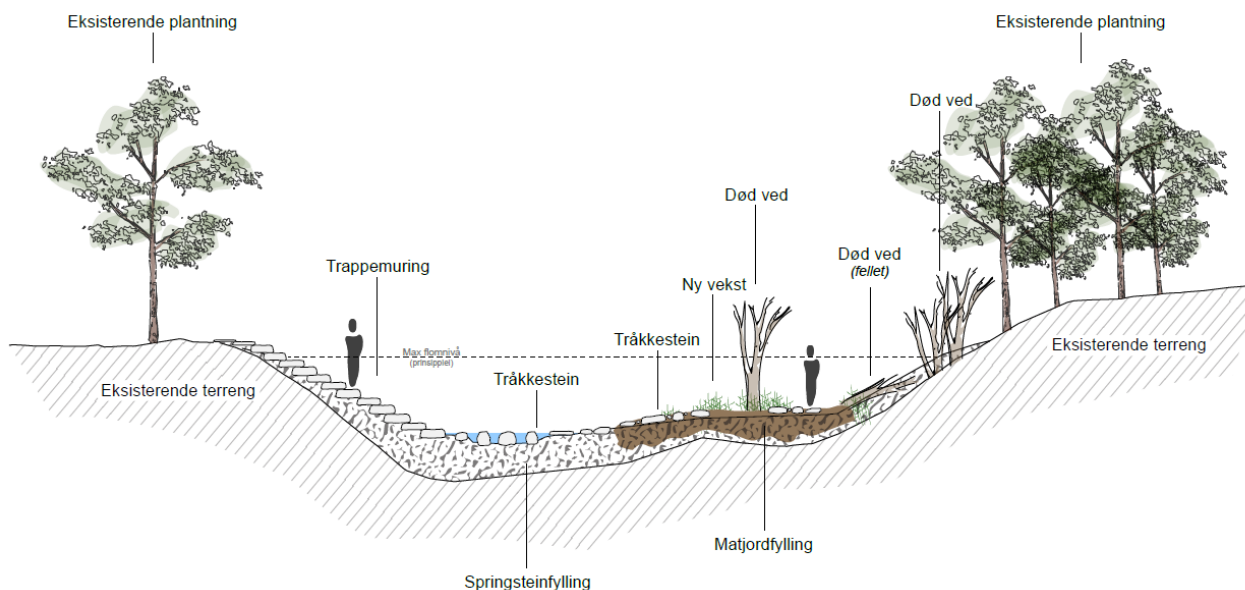
## 9 Stabiliserende tiltak

Nødvendige stabiliserende tiltak som vil bli iverksatt er bekkebunnsheving med sprengstein og erosjons-sikring av elveskråningene. Erosjonssikringen vil bli etablert som samfengt sprengstein og trappemuring. Se kart i Figur 9-1 for en oversikt over planlagte tiltak langs Bøbekken. Figur 9-2 viser ett snitt av planlagte tiltak ved ferdigstilling.

For miljøhensyn og tiltak som må tas under anleggsgjennomføringen og i permanent situasjon henvises det til egen miljø-teknisk rapport [2].



Figur 9-1 Utklipp av tegning «MIP-00-O-00002». Plankartet viser utstrekningen av de ulike typer tiltak.



Figur 9-2 Utklipp av tegning «MIP-00-O-00003». Prinsippnødd viser hvordan bunnen heves og sidene erosjonssikres. Der tegningen angir «matjordfylling» vil bare øvre masser (over erosjonssikringen) bestå av matjord. Tyngde og styrke til matjord har ikke blitt medregnet i stabilitetsanalysene.

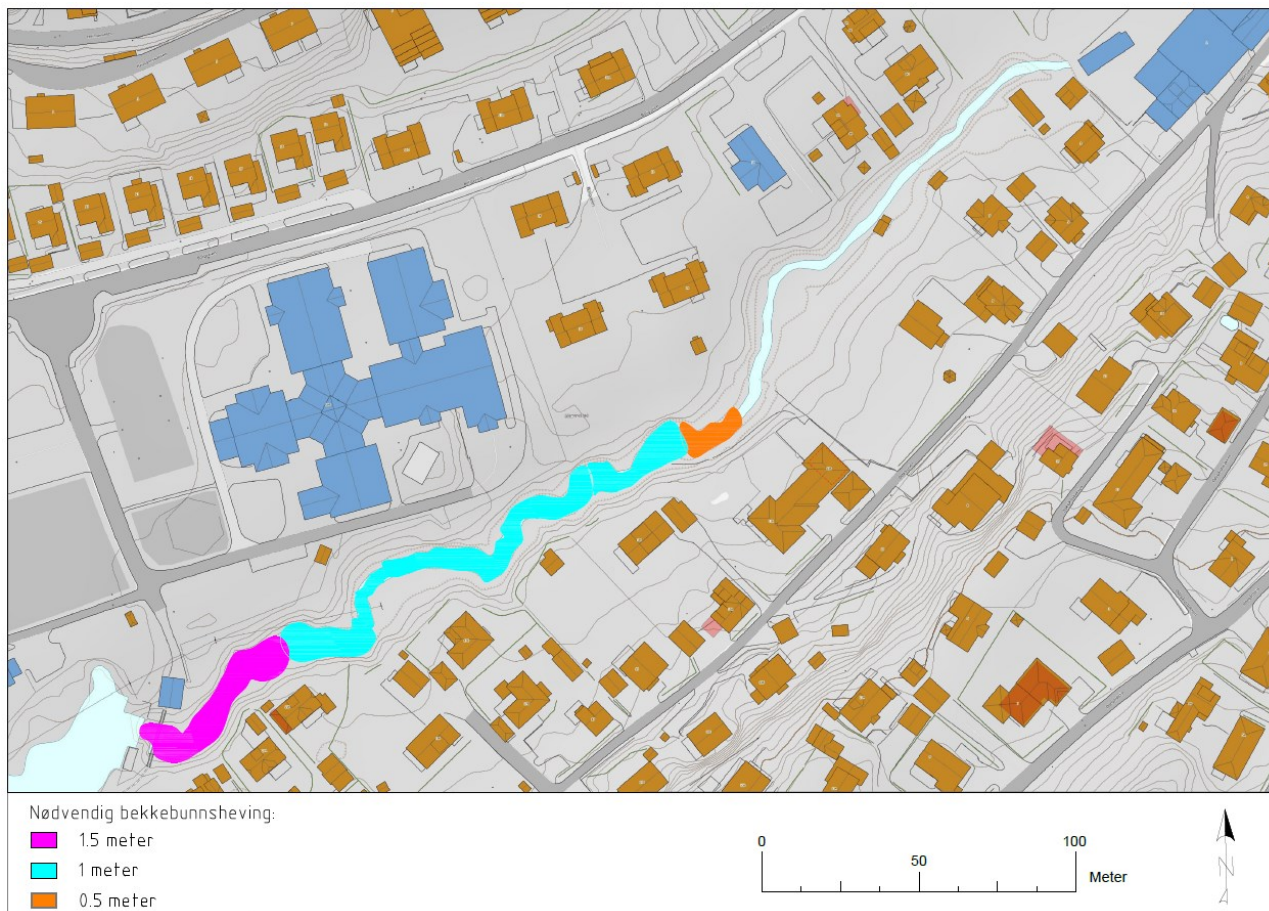
## 9.1 Bekkebunnsheving

Stabilitetsanalyser har indikert at en bekkebunnsheving på mellom 0.5 – 1.5 meter skal være tilstrekkelig for å ivareta sikkerhetskravet på  $F_{cu} \geq 1,40$ . Nødvendig bekkebunnsheving fremkommer av Figur 9-3. Bekkebunnshevingen er påregnet i stabilitetsanalysene og fremkommer som beregninger på «permanent situasjon» i Vedlegg C /Tabell 8.1.

Det er ikke nødvendig med bekkebunnsheving for å ivareta stabiliteten i området lengst mot nord-øst, men bekkebunnen vil uansett bli hevet som et erosjonssikringstiltak langs Bøbekken. Mer informasjon om dette fremkommer av kap. 9.2.

### 9.1.1 Anleggsgjennomføring

Bekkebunnshevingen skal bli utført seksjonsvis med at dumplastebiler først laster av samfengt sprengstein i bekkeløpet fra sideterrenget. Deretter vil det nyetablerte sprengsteinslaget bli benyttet som anleggsvei for videre avlastning nedover/oppover dagens bekkeløp.



Figur 9-3 Nødvendig bekkebunnsheving for å nå sikkerhetskravet på  $F_{cu} \geq 1,40$ .



## 9.2 Erosjonssikring langs Bøbekken

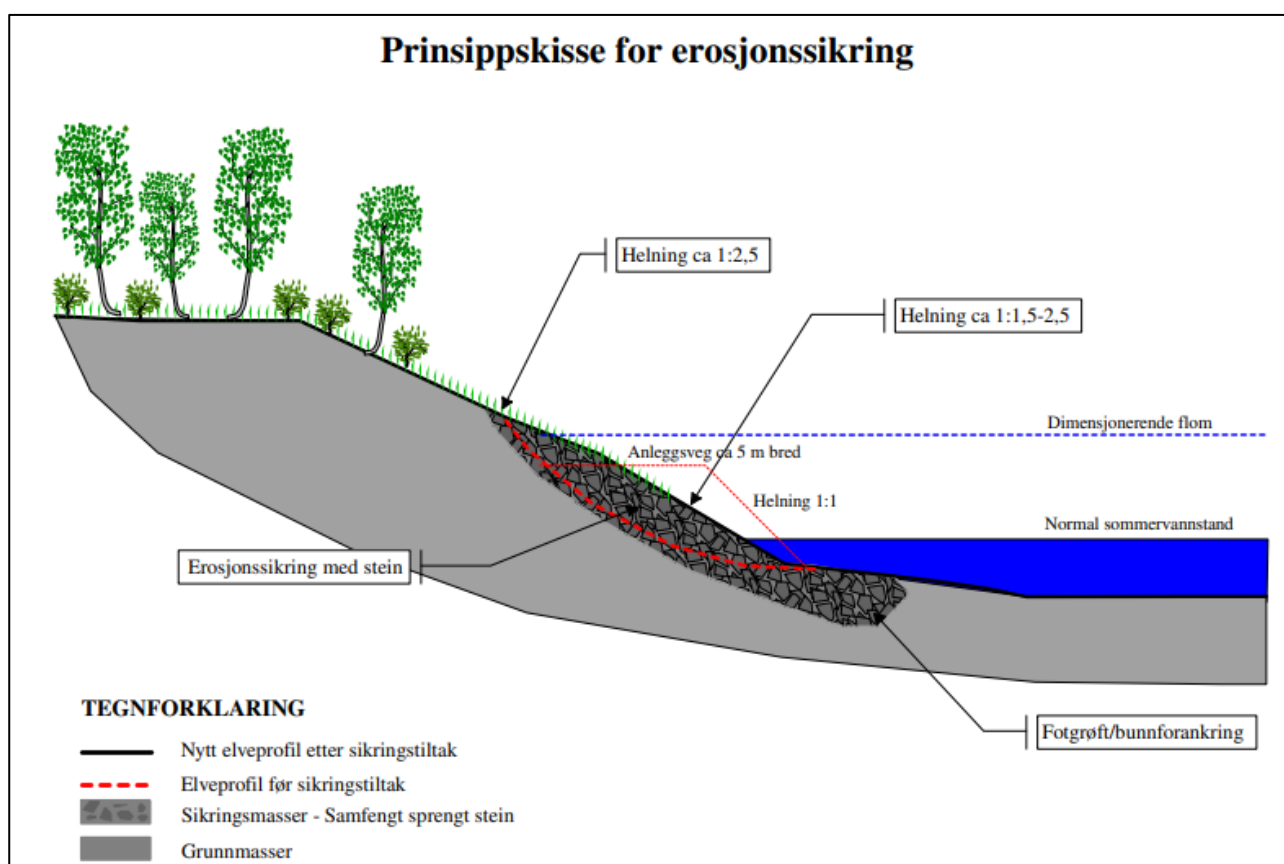
Erosjonssikringen langs Bøbekken er planlagt utført som samfengt sprengstein for de seksjonene hvor skråningshelningen langs elvebredden er rundt 1:2, se ytterligere beskrivelse i delkapittel 9.2.1.

De områdene hvor skråningssidene i dag står steilt omkring 1:1,5 – 1:1 forutsettes det etablert tørrmur som erosjonssikring, se ytterligere beskrivelse i delkapittel 9.2.2.

### 9.2.1 Sprengsteinplastring

I områdene med skråningshelning slakere enn 1:1.5 vil det bli etablert erosjonssikring bygget opp av samfengt sprengstein, se eksempel fra NVE veileder 4/2009 i Figur 9-4.

Stabil steinstørrelse i en flom- og normalsituasjon fremkommer av beregninger utført ved bruk av maynords formel, mer informasjon fremkommer av kap. 9.2.1.1 og 9.2.1.2.



Figur 9-4 Utklipp av figur 34 i NVE veileder 4/2009. Figuren viser prinsipp for erosjonssikring med samfengt sprengstein.

### 9.2.1.1 Maynords formel

For å beregne nødvendig tykkelse og sprengsteinsgradering av erosjonssikringen er *Maynords formel* benyttet jfr. NVE sine anbefalinger. Følgende formel er gjengitt etter formel 4.16 i NVE Veileder nr. 4/2009, ref. [14]:

$$D_{30} = S_f \cdot C_s \cdot C_V \cdot C_t \cdot y_0 \cdot \left[ \left( \frac{1}{s-1} \right)^{0,5} \cdot \frac{U}{\sqrt{K_1 \cdot g \cdot y_0}} \right]^{2,5}$$

Der

- $D_{30}$  = stabil steinstørrelse (m)
- $S_f$  = partialfaktor for sikkerhet (-)
- $C_s$  = stabilitetskoeffisient (-)
- $C_V$  = koeffisient for vertikal hastighetsfordeling (-)
- $C_t$  = koeffisient for sikringstykking (-)
- $y_0$  = vann dybde samme sted som U (m)
- $s$  = steinens spesifikke densitet (-)
- $U$  = lokal vannhastighet midlet over dybden (m/s)
- $K_1$  = koeffisient for skråningshelning (-)
- $g$  = tyngdens akselerasjon (m/s<sup>2</sup>)

### 9.2.1.2 Nødvendig $D_{30}$ i henhold til Maynords formel

$D_{30}$  beregnes i henhold til Maynords formel som beskrevet i kap.9.2.1.1. Resultater ved ulike strømningshastigheter fremgår av Vedlegg F, ett utvalg som viser spredning i resultatene er indikert i Tabell 9.1.

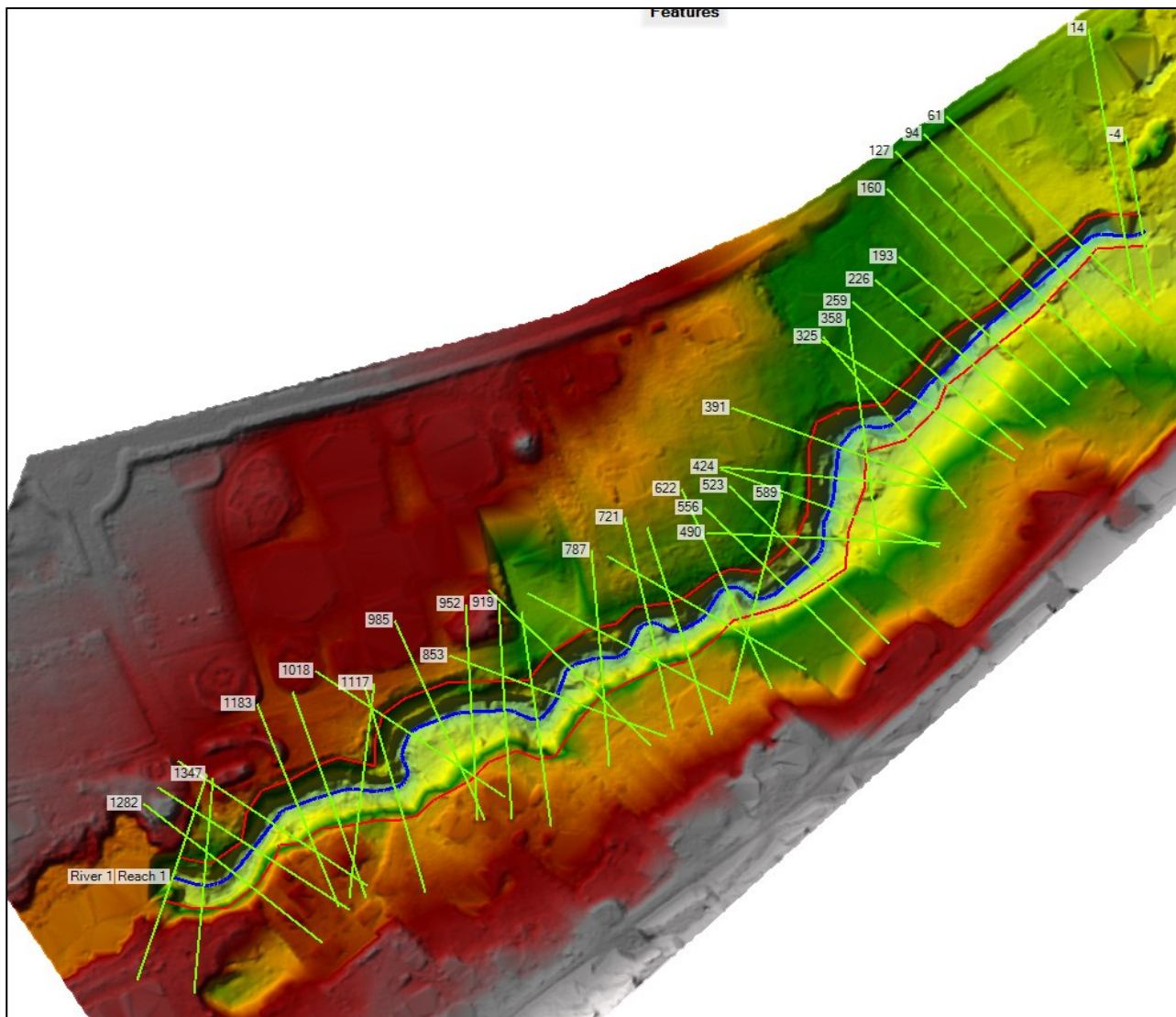
Benyttet strømningshastighet (V) og vann dybde ( $y_0$ ) er hentet fra flomanalyse utført i HEC-RAS, se egen fagrapport fra flom og VA for ytterligere informasjon [13].

Konklusjonen fra beregningene er at en sprengsteingradering med en  $D_{30}$  lik 200 mm,  $D_{50} < 340$  mm og  $D_{\max} = 500$  mm skal være tilstrekkelig for å ivareta erosjonssikringsbehovet langs Bøbekken. Konklusjonen gjelder så lenge tykkelsen av erosjonsslaget blir  $\geq D_{\max}$ .

Nedenunder er antagelser for benyttede parametre i analysen gjengitt.

Tabell 9.1 Nødvendig  $D_{30}$  ved ulike strømningshastigheter for en 200 års flomsituasjon.

Profil nr (HEC RAS analyse)	1216	853	61
V [m/s]	3.32	1.45	2.16
Vann dybde (m)	5.36	4.93	3.11
$D_{30}$ [mm]	370 (Ct 0.5: 212*)	48	288
*Det vil kreves 1.5 m bekkebunnsheving i området. En tykkere erosjonssikring vil senke Koeffisient for sikringstykking (Ct) som igjen reduserer kravet til $D_{30}$ steinstørrelsen.			



Figur 9-5 Profiler benyttet i HEC-RAS analyse, hentet fra flomanalyse.

For beregningene er følgende parametre lagt til grunn:

### **Kurvatur av elveløpet**

Det er antatt ett tilnærmet rett elveløp under den dimensjonerende flomanalysen, dette vil påvirke resultatet på henholdsvis  $C_v$ ,  $U$  og  $K_1$ .

### **Partialfaktor for sikkerhet, $S_f$**

Idet erosjonssikringer er kritisk for å oppnå tilstrekkelig sikkerhet mot områdeskred videreføres partialfaktoren på 1,4 til også å gjelde for erosjonssikringen.

### **Stabilitetskoeffisient, $C_s$**

$C_s$  er lik 0,3 for kantet (sprengt) stein jfr. kap. 4.6.1 i NVE Veileder nr. 4/2009, ref. [14].

### **Koeffisient for vertikal hastighetsfordeling, $C_v$**

$C_v$  varierer basert på radien til elvens svingninger og elvebredden jfr. kap. 4.6.1 i NVE Veileder nr. 4/2009, ref. [14].  $C_v = 1$  da det er antatt tilnærmet rett bekkeløp i dimensjonerende flomsituasjon

### **Koeffisient for sikringstykkelser, $C_t$**

Det velges en konservativ tilgang med  $C_t$  lik 1,0. Dette tilsvarer at sikringstykkelser som minimum er lik den største av  $D_{maks}$  eller  $1,5 \cdot D_{50}$ . Dersom sikringstykkelser økes ut over dette kravet kan  $C_t$  (og dermed steinstørrelsen) reduseres.

### **Vanddybde samme sted som $U$ , $y_0$**

Dimensjonerende vanddybde er funnet via flomanalysen utført langs Bøbekken. Det regnes med variabel  $y_0$  langs bekkeløpet. Benyttede vanddybder er gjengitt i Vedlegg F.

### **Steinens spesifikke densitet, $s$**

$s$  er satt til 2,6 for stein med tyngdetetthet  $2600 \text{ kg/m}^3$ . Dette tilsvarer vanlig praksis jevnfør kap. 4.6.1 i NVE Veileder nr. 4/2009, ref. [14]. Benyttes en bergart med høyere tetthet enn her antatt kan steinstørrelsen reduseres.

### **Lokal vannhastighet midlet over dybden, $U$**

Vannhastigheten langs Bøbekken er fastslått via flomanalysen. Det er under beregningene antatt at dybdemiddelhastigheten ( $U_{ss}$ ) er lik  $U_{ss} = V$  for rette strekninger av bekkeløpet. Hastigheten langs bekkebunnen er satt til  $U = 1.25V$ . Benyttede hastigheter er gjengitt i Vedlegg F.

### **Koeffisient for skråningshelning, $K_1$**

$K_1$  er 0,875 for skråningshelning 1:2 (tilsvarende  $\cot \theta = 2$ ) jfr. figur 56 i NVE Veileder nr. 4/2009, ref. [14]. I vår analyse er en skråningshelning på  $27^\circ$  (1:2) antatt, tilsvarende  $K_1$  0.867 (mer konservativ verdi)

### **Tyngdens akselerasjon, $g$**

Det forutsettes en tyngdeakselerasjon på  $9,82 \text{ m/s}^2$ .

### 9.2.1.3 Fotgrøft

Det vil ikke bli behov for fotgrøft der hvor erosjonssikringen langs bekkebunnen er av nødvendig tykkelse (minimum  $D_{maks}$  eller  $1,5 \cdot D_{50}$ ). I et slikt tilfelle kan sikringen avsluttes i en grunn grøft. Det forutsettes god kobling mellom sikring og erosjonsmaterialet langs bunnen.

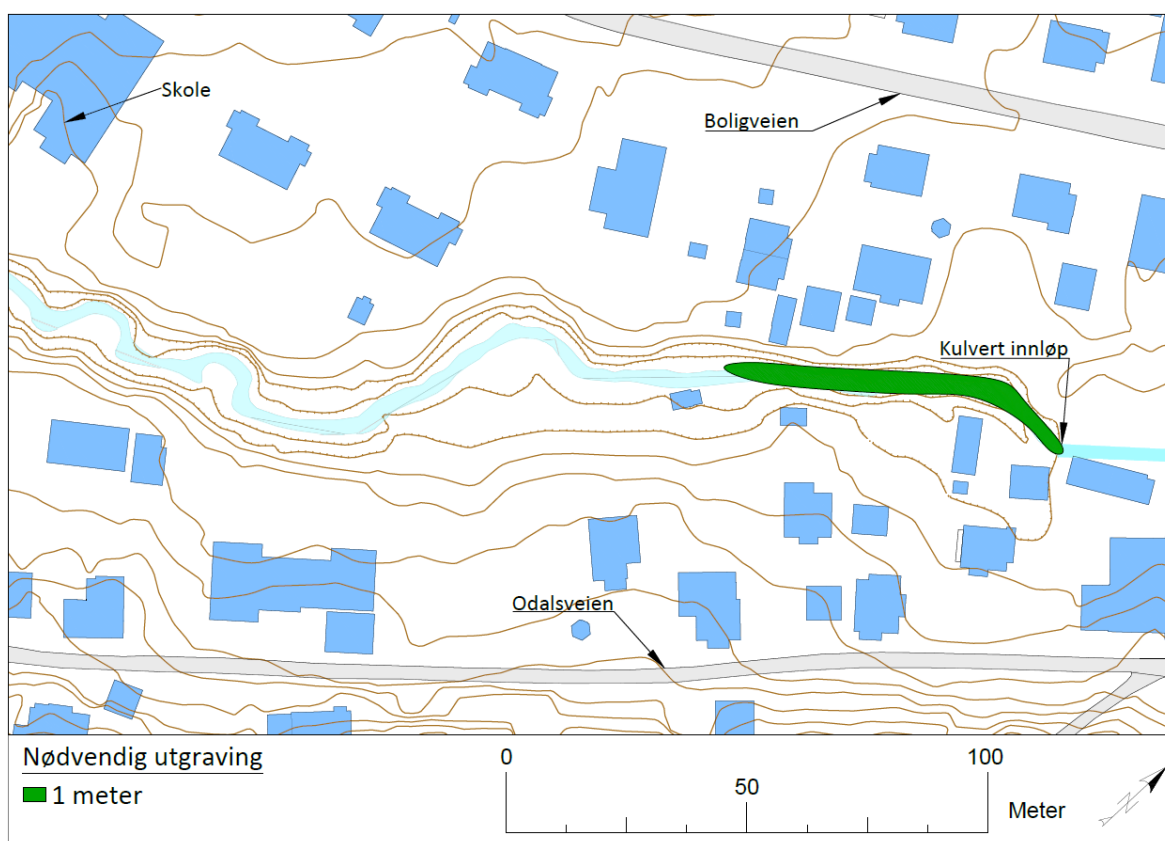
Der hvor sprengsteinslaget langs bekkebunnen ikke er tykt nok vil det bli behov for grøfting langs skråningsfoten. Slik grøfting anses som destabiliserende og det vil derfor stilles krav til en sikkerhetsfaktor tilsvarende 1,6 for arbeidet, jfr. NVE sine krav om absolutt sikkerhetsfaktor ( $F_{cu} \geq 1,40 \cdot fs$ ) ved forverring.

### 9.2.1.4 Erosjonssikring langs bunnen

For profil 160 – 14 (se Figur 9-5 og vedlegg F) er dimensjonerende steinstørrelse  $D_{30} > 200$  mm om man benytter en tykkelse av erosjonssikringslaget lik  $D_{ma}$ . For å kunne benytte samme sprengsteingradering som resterende erosjonssikring langs Bøbekken vil det bli nødvendig med utgravning til 1 meters dybde i området. Nødvendig utstrekning av utgravningen fremgår av Figur 9-6.

Ved profil 1216 (se Figur 9-5) vil behovet for  $D_{30}$  være 370 mm (Se vedlegg F) ved en tykkelse av erosjonssikringslaget lik  $D_{maks}$ . Men da det kreves 1.5 meter bekkebunnsheving i området (se Figur 9-3) vil behovet for  $D_{30}$  reduseres og sprengsteingradering  $D_{30} = 200$ mm vil være tilstrekkelig.

Overstående informasjon baserer seg på at en tykkere erosjonssikring reduserer nødvendig  $D_{30}$  gradering, jfr. koeffisient for sikringstykkelse ( $C_s$ ) i Maynords formel. Se ytterligere informasjon i kap. 4.6 i NVE Veileder nr. 4/2009 [14].



Figur 9-6 Seksjoner av Bøbekken hvor 0.5 m erosjonssikring langs bunne ikke er tilstrekkelig og det vil kreves utgravning til 1 meter under ny bekkebunn for å etablere bunnerosjonssikring.

### 9.2.2 Etablering av tørrmur

Der hvor dagens terrengskråning står med helning 1:1 – 1:1.5 er det bestemt at erosjonssikring skal etableres som tørrmurer/»trappemuring», se eksempel i Figur 9-7. Dette gjøres for å redusere utgravningsbehovet for eksisterende skråninger.

Det stilles ikke særegne krav til helning av tørrmur, derfor forutsettes tørrmuren anlagt med skråningshelning  $\sim 1:1$ . Bakkanten av tørrmuren forutsettes tilbakefylt med sprengstein (pukk). Maskinkult 22/120 og samfengt kult 20/250 er egnet som bakfyll jfr. NVE [Modul F3.202](#).

Da massene i området hovedsakelig består av finstoff må det etableres filterduk bakom etablert tørrmur og bakfyll.

Krav til fiberduk:

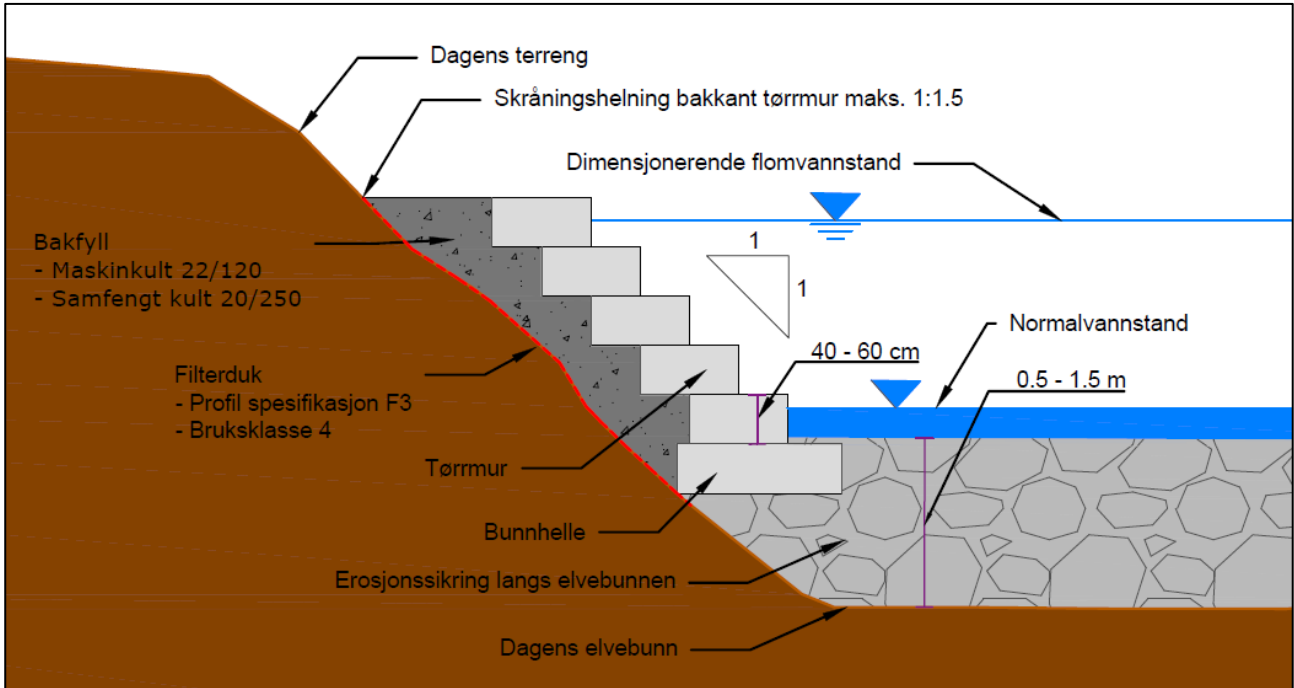
- Valgt fiberduk skal ha sertifisering med uavhengig produktkontroll, Nor-GeoSpec 2012, ref. [14] eller tilsvarende.
- Valgt fiberduk skal være i bruksklasse 4
- Valgt fiberduk skal ha spesifikasjonsprofil F3
- Valgt fiberduk skal ha minimum 50 års levetid

Spesifikasjon av fiberduk er i henhold til veiledning gitt i kap. 4.3.2 i SVV Vegnormal N200, ref. [15]. Bruksklasse (Tabell 4.13 i N200 [15]) er valgt ut ifra en  $c_u \leq 25$  kPa og  $DM_{\max} < 500$  mm. Spesifikasjonsprofil er valgt med utgangspunkt i kornfordelingsbeskrivelse «Ensgradert silt og leire» (Tabell 4.17 i N200 [15]).

Bunnhellen av tørrmuren forutsettes begravd i erosjonssikringen langs bekkebunn for å motvirke eventuell undergraving av tørrmuren. Se Figur 9-8 for en illustrasjon av tørrmurens oppbygging og bestanddeler.



Figur 9-7 Eksempel på erosjonssikring med «trapping»/tørrmuring fra tidligere prosjekt. Bakom «trappene» finnes pukk og fiberduk.



Figur 9-8 Illustrasjon av planlagt oppbygging av tørrmur.

### 9.3 Prosjektering, kontroll og oppfølging av tiltak

Det vil bli behov for å kontrollere følgende under anleggsgjennomføringen:

- Størrelse/gradering av tilkjørt sprengstein.
- Tykkelse av etablert sprengsteinslag
- At gjeldende miljøkrav ivaretas.
- Skråningshelning etter utgraving.

Nødvendig oppfølging:

- Visuell inspeksjon av erosjonssikring etter flomhendelse.

## 10 Konklusjon

Tilgjengelig geoteknisk grunnlag for området vurderes som tilstrekkelig for å understøtte de relevante vurderinger i henhold til NVE veileder 1/2019 [1] og NVE eksternrapport 9/2020 [2].

Stabiliteten langs Bøbekken er per i dag utilstrekkelig og lever ikke opp til gjeldende sikkerhetskrav tilsvarende K4 ( $F_{cu} \geq 1,40$ ).

Stabilitetsanalyser har indikert at bekkebunnsheving på mellom 0.5 – 1.5 meter og erosjonssikring av sideterreng med sprengstein/tørrmuring vil være tilstrekkelig for å ivareta områdestabiliteten.

Dagens faresone rundt Bøbekken vil **før** gjennomførelse av foreslåtte tiltak kunne klassifiseres til middels faregrad.

Erosjonssikring bestående av samfengt sprengstein forutsettes etablert med  $D_{30}$  tilsvarende 200mm, der  $D_{30}$  lik 200mm ikke er tilstrekkelig og bekkebunnshevingen vil bli mindre enn 1 meter må det graves ut til 1 meter under fremtidig bekkebunn for å tilfredstille krav av bunnerosjonssikring. Der hvor dagens skrån timer står steilere enn 1:1.5 forutsettes erosjonssikring etablert som trappemuring.

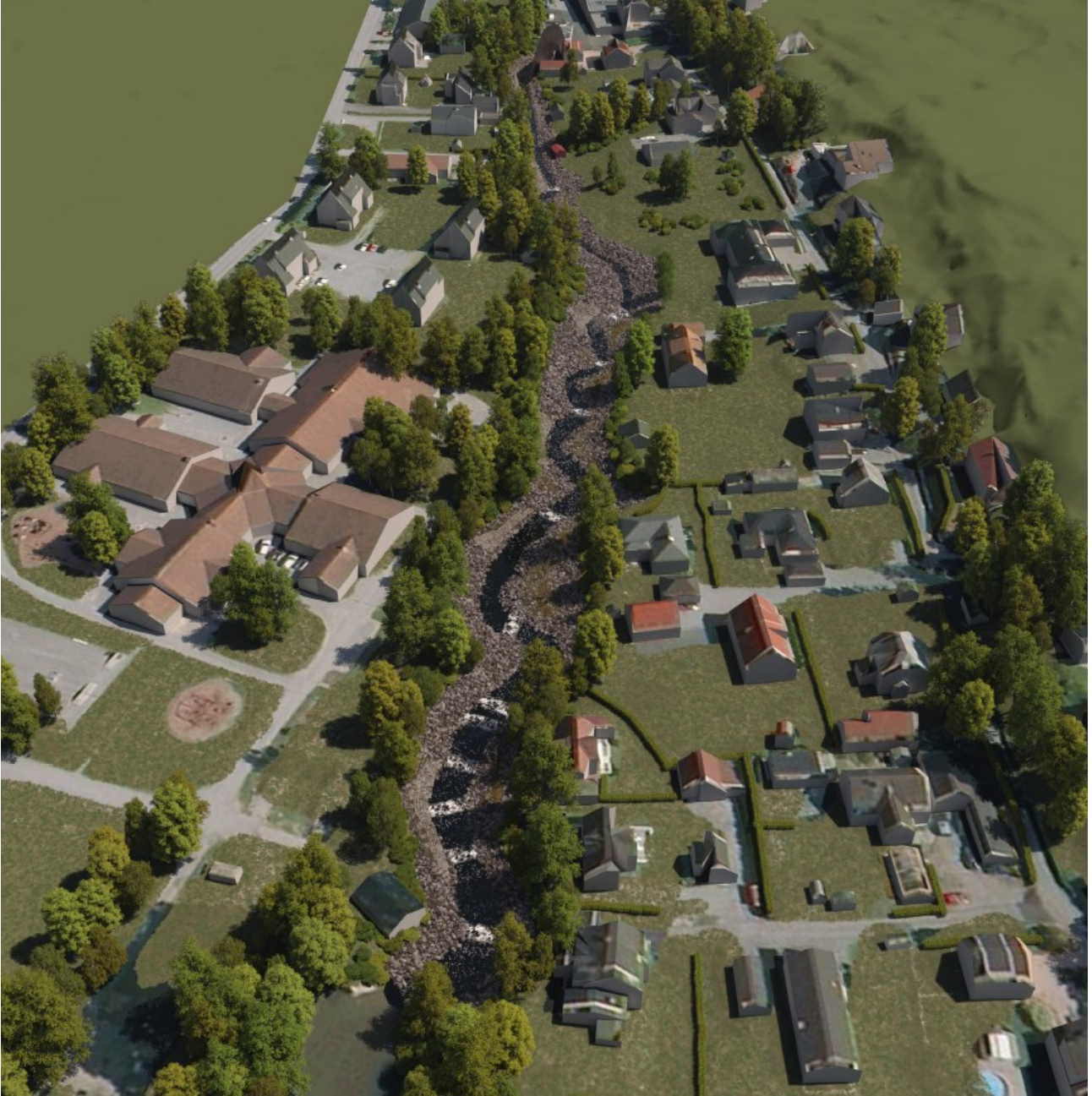
Foreslått omfang av tiltak vil:

- Sikre mot fremtidig erosjon langs foten av identifiserte løsneområder langs Bøbekken. Erosjonssikring har blitt dimensjonert for en 200 års flomhendelse inkl. klimafaktor.
- Heve stabiliteten av identifiserte løsneområder langs Bøbekken til  $F_{cu} \geq 1,40$  og  $F_{c\phi} \geq 1,25$

For tiltakskategori K4 må det utføres uavhengig kontroll. Kontrollrapport fra uavhengig foretak inkluderes etter hvert som eget vedlegg til denne rapport innen faresoner og utredning meldes inn til NVE.

Se Figur 10-1 for en rendering av hvordan området rundt Bøbekken vil bli seende ut etter stabiliserende tiltak er utført og ferdigstilt.





*Figur 10-1 Utklipp av tegning «MIP-00-O-00006». Skråfoto av visualiseringsmodell. Viser omtrentlig utstrekning av planlagte tiltak.*

## 11 Referanser

- [1] Veileder 1/2019 - Sikkerhet mot kvikkleireskred, NVE, 2020.
- [2] Miljøtekniske undersøkelser og tiltaksplan - Stabilisering av Bøbekken i Slemmestad, NIRAS Norge AS, 2021.
- [3] Ekstern rapport 9/2020 Oversiktskartlegging og klassifisering av faregrad, konsekvens og risiko for kvikkleireskred, NVE, 2020.
- [4] [2913-R1] Grunnundersøkelser - utredning av områdestabilitet i Slemmestad, GeoStrøm AS, 2021.
- [5] [A066696-RIG-R-01] Bøbekken park, geotekniske grunnundersøkelser, datarapport., COWI AS, 2015.
- [6] [19137-RIG-01] Bøbekken, Slemmestad – Geoteknisk datarapport, Civil Consulting AS, 2019.
- [7] Seismiske undersøkelser ved Bøbekken, Slemmestad., Ruden Geo Service, 2021.
- [8] [20210464-01-R] ERT Slemmestad - ERT-Undersøkelser Bøbekken, Slemmestad, NGI, 2021.
- [9] «Eurokode 7 NS-EN1997-1:2004+A1:2013+NA:2020, Geoteknisk prosjektering, Del 1: Allmenne regler,» Standard Norge.
- [10] [77/2014] Valg av karakteristisk cuA - profil basert på felt- og laboratorieundersøkelser, NIFS, 2014.
- [11] [Håndbok V220] Geoteknikk i vegbygging, Statens Vegvesen, 2018.
- [12] [14/2014] En omforent anbefaling for bruk av anisotropifaktorer i prosjektering i norske leirer., NIFS, 2014.
- [13] Å. M. Pohl, Fagrapport Flom og VA - Stabilitetstiltak i Bøbekken, Slemmestad., NIRAS Norge AS, 2021.
- [14] NVE Veileder nr. 4/2009, Veileder for dimensjonering av erosjonssikringer av stein, NVE, NTNU, 2009.
- [15] N200 Vegbygging, Statens Vegvesen, 2021.