

16.05.2025
Moss kommune

Indre Mossesund

Innledende geoteknisk vurdering
Tildekking av forurensede sjøbunnsedimenter



Indre Mossesund

Project No.	Document no.				
A289609	A289609-RIG-NOT-001				
Version	Date of issue	Description	Prepared	Checked	Approved
01	16.05.2025	For utsendelse	LIOS	ENOH	HSBO

Sammendrag

COWI er engasjert av Moss kommune som tverrfaglig rådgiver i forbindelse med planlagt tildekking av forurensede sjøbunnsedimenter i Mossesundet. Dette dokumentet omfatter innledende stabilitetsberegninger med utgangspunkt i planene som beskrevet i tiltaksplan. Tildekkingen omfatter kort oppsummert tildekkingstykkelser i størrelsesorden 10-40 cm over stedlig forurenset sjøbunn. Enkelte områder skal erosjonssikres, det planlegges ikke for mudring. Vurderingen er begrenset i omfang til maksimalt 5 beregningssnitt. Den innledende vurderingen har som formål å redegjøre for lokalstabilitet, områdestabilitet, naboforhold, mulige løsningsforslag, innspill til utleggingsplan og identifisering av videre arbeider frem mot en eventuell framtidig geoteknisk detaljprosjektering.

Det er utført supplerende grunnundersøkelser i regi av COWI, hovedsakelig i sjø. Det finnes i tillegg et omfattende datagrunnlag fra før i området utarbeidet av ulike aktører over flere tiår. Sammenstilling av dette datagrunnlaget er utarbeidet i form av en grunnforholdsmodell som følger denne leveransen.

Grunnforhold i sjø er karakterisert som et øvre lag med sjøbunnsedimenter/gytje med varierende mektighet, typisk avhengig av sjøbunnstopografiens lokale bratthet. Videre påfølgjer leire med lav skjærfasthet, stedvis med sprøbruddegenskaper. Under leiren opptrer morene, vestligste borpunkter viser noe berg, men i liten grad i øst hvor det er generelt store dybder til berg (> 50 m). Ved Sagmuggkanten opptrer tykke avsetninger av sagflis (opp til 37 m) med opprinnelse fra historisk tømmerindustri i området. Spor av sagflis er til stede i stort sett hele sundet i varierende mengder og dybder.

Tiltaket vurderes å tilfalle tiltakskategori K2 etter NVE Veileder 1/2019 med krav til ikke forverring eller sikkerhetsfaktor 1,25/1,40*fs. Et utvalg beregningssnitt er representert med stabilitetsberegninger. Dagens situasjon har generelt anstrengt stabilitet. Tildekking vil for enkelte snitt, øke eller alternativt ikke endre stabiliteten jf. dagens situasjon. Dette gjelder vel og merke ikke for alle områder.

For den bratte sjøbunnstopografien ved Sagmuggkanten, tilfaller kritiske bruddsirkler svakt leirlag underliggende sagflisen. Det er også lav sikkerhet mot brudd i form av overflateutglidninger i sjø, noe som før øvrig er dokumentert i nyere tid. Topografien vurderes lokalt å være for bratt for at tildekkingsmasser vil kunne legge seg stabilt og forbli i skråningen, uten å potensielt ansamle seg i skråningsfot. Det vurderes at det er behov for stabiliserende tiltak i dette partiet, dette vil omfatte utfyllings- og anleggsarbeid godt utenfor planlagt tiltaksgrense ved kote -20. Ulike alternativer til sikring drøftes med fordeler og ulemper. Kostnader kan uansett forventes å bli relativt høye for tildekking ved Sagmuggkanten, kost/nytte bør vurderes av Byggherre særskilt for dette området.

Det planlegges mulig grunnforsterkning og terrengavlastning i tiltaksområdets nordøstlige del. Her viser beregninger lav sikkerhet i dagens situasjon. Tildekking av sjøbunnsedimenter i dette området bør utføres etter stabiliserende tiltak er utført, ikke før.

Det er identifisert UXO (Unexploded Ordnance) med opphav fra andre verdenskrig, hyppig konsentrert ved dagens skråningsfot i sjø. Utilsiktet detonasjon av eksplosiver i skråningsfoten vil være særs uheldig for stabiliteten og må unngås. Tildekking av potensielt udetonerte eksplosiver må avklares med korrekt fagpersonell før man setter i gang med noen form for tiltak i sundet.

Sjøbunnstopografi, naboforhold og til dels grunnforhold varierer i sundet. Videre arbeider vil omfatte ytterligere stabilitetsberegninger ettersom denne leveransen med 5 snitt ikke representerer alle potensielle bruddsituasjoner. Slik vurdering vil være hensiktsmessig å utføre når prosjektet er mer modent med tanke på endelige løsningsvalg. Denne innledende vurderingen vil kunne gi innspill for Byggherres beslutningsgrunnlag. Videre vil det kreves tett oppfølging i anleggsfase og kontroll av poretrykksforhold ved eventuelle utfyllingsarbeider. Stabilitetsberegninger må utføres for alle faser av utfylling, ikke bare endelig situasjon. Det bemerkes at ved dokumentert poretrykksutligning mellom hver utfyllingsfase, kan man forvente noe gunstigere oppnådd sikkerhet enn beregninger slik som presentert her, som ikke hensyntar dette.

Det er ikke identifisert åpenbar risiko for tilstøtende konstruksjoner i strandsonen ved tildekking, men en eksisterende ledning ved Sagmuggkanten vil bli berørt. Konstruksjoner bør besiktiges før tiltak igangsettes, slik besiktigelse bør utføres tverrfaglig minimum i samråd konstruksjonsteknikk, spesielt for eldre betong- og stålkonstruksjoner.

Planlagt erosjonssikring må detaljprosjekteres, kun antatte tykkelser er anvendt i denne innledende vurderingen. Stabilitetsberegninger må oppdateres med faktiske prosjekterte tykkelser og materialegenskaper for erosjonssikringen når dette foreligger.

Fremtidig detaljprosjektering vil være underlagt utvidet uavhengig kontroll, uavhengig foretak må engasjeres i regi av Byggherre.

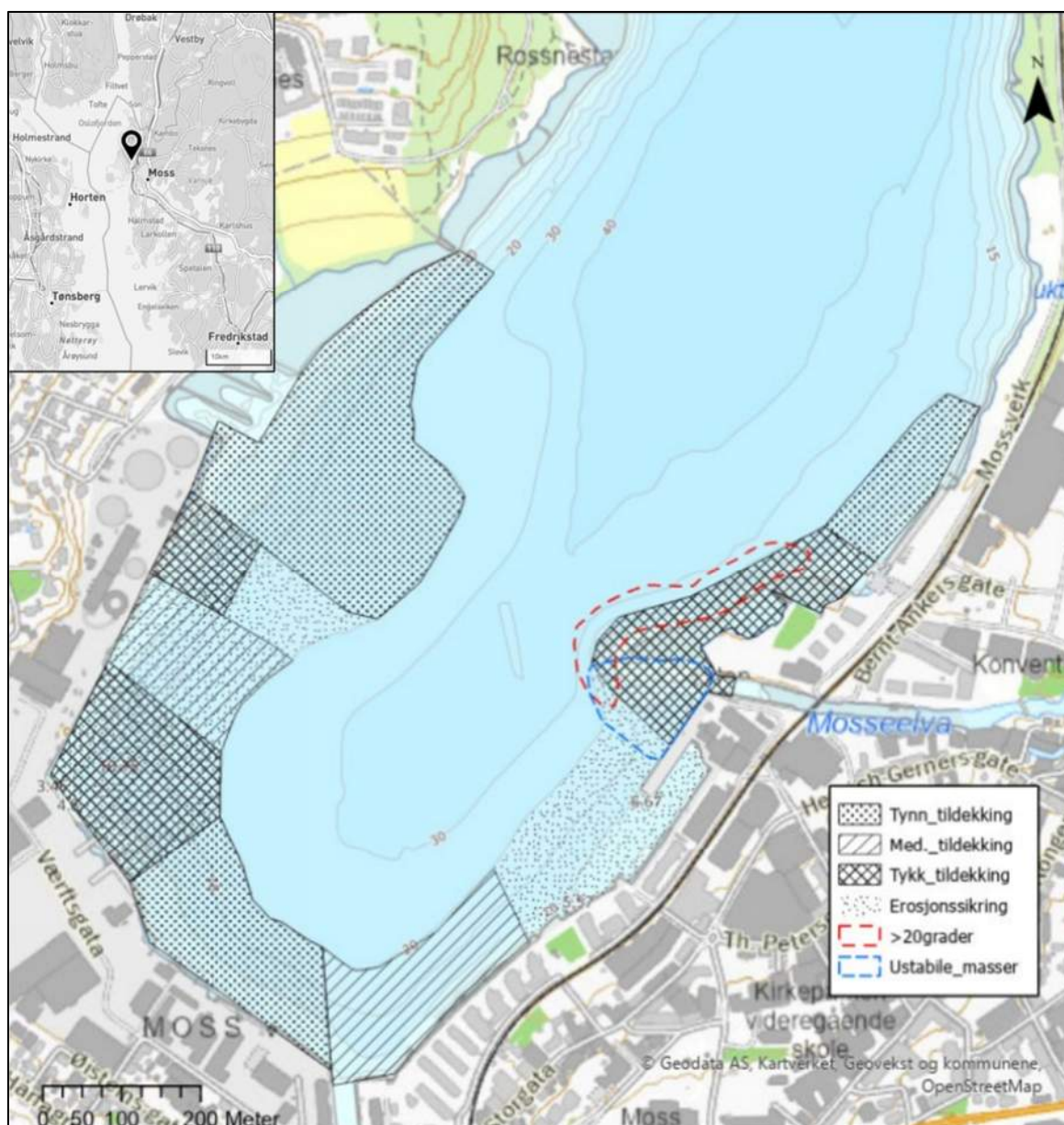
Innhold

1	Orientering	5
1.1	Formål.....	6
1.2	Grunnlag.....	6
2	Grunnforholdsmodell.....	8
3	Tiltak og naboforhold.....	9
3.1	Planlagt omfang og begrensinger.....	9
3.2	Eksisterende konstruksjoner.....	9
4	Terreng og grunnforhold	12
4.1	Topografi.....	12
4.2	Kvartærgeologiske kart og marin grense	14
4.3	Registrerte faresoner kvikkleireskred.....	14
4.4	Krav til sikkerhet	15
4.5	Grunnforhold.....	16
5	Geotekniske vurderinger	22
5.1	Stratigrafi	22
5.2	Tilførte masser: Tildekkingsmasser og erosjonssikring.....	23
5.3	Kvalitet supplerende grunnundersøkelse.....	24
5.4	Udrenert skjærstyrke.....	25
5.5	Effektivspenninger	26
5.6	Sjøvannstand.....	27
5.7	Poretrykk.....	27
5.8	3D-effekter	28
5.9	Kontroll av brudd i tildekkingslag	28
5.10	Bratt parti ved Sagmuggkanten	29
6	Stabilitetsberegninger.....	32
6.1	Metode.....	32
6.2	Geometri.....	32
6.3	Kritiske snitt	32
6.4	Resultater	33
7	Setninger.....	36
8	Utleggingsplan	37
8.1	Utlegging av tildekkingsmasser	37
8.2	Utlegging av eventuell motfylling	37
9	Objekter på sjøbunnen.....	39
10	Konklusjon og videre arbeid	40
11	Referanser.....	41
	Vedlegg	42

1 Orientering

COWI er engasjert av Moss kommune som tverrfaglig rådgiver i forbindelse med mulig tildekning av forurensede sjøbunnsedimenter i indre deler av Mossesundet. COWI har tidligere utarbeidet tiltaksplan for prosjektet [1]. COWI har nylig utført geotekniske grunnundersøkelser i området [2], dette dokumentet tar for seg innledende vurderinger av stabilitet ved eventuell tildekning. Det presenteres også flere løsningsforslag knyttet til det bratte partiet rundt Sagmuggkanten.

Områdets lokalitet er illustrert i Figur 1-1. Delområder er inndelt etter foreslåtte tykkelser på tildekkingslag, slik planene foreligger nå i henhold til tiltaksplanen [1].



Figur 1-1: Utlipp oversiktskart og foreslått inndeling i delområder, hentet fra tiltaksplanen utarbeidet av COWI [1]. Det planlegges for ulike tykkelser av tildekning i sundet.

1.1 Formål

Formålet med dette dokumentet er å redegjøre for aktuelle geotekniske problemstillinger ved en eventuell tildekking av sjøbunnsedimentene, samt å bidra med innledende beregninger av stabilitet, begrenset til 5 beregningssnitt. Aktuelle problemstillinger vurderes å være følgende:

- Innledende vurdering av stabilitet i sjø: lokalstabilitet ved tildekking
- Innledende vurdering stabilitet i sjø: risiko for eventuelle undersjøiske skred og om slike utglidninger kan ha potensiale til å nå land
- Innledende vurdering naboforhold: herunder tilstøtende konstruksjoner i strandsonen og infrastruktur i grunnen
- Drøfting og anbefalinger av mulige løsningsforslag for tildekking i område med særskilt bratt sjøbunnstopografi (Sagmuggkanten)
- Innspill til utleggingsplan, utleggingsmateriale og anbefalinger til anleggsgjennomføring
- Innspill til eventuell fremtidig detaljprosjektering

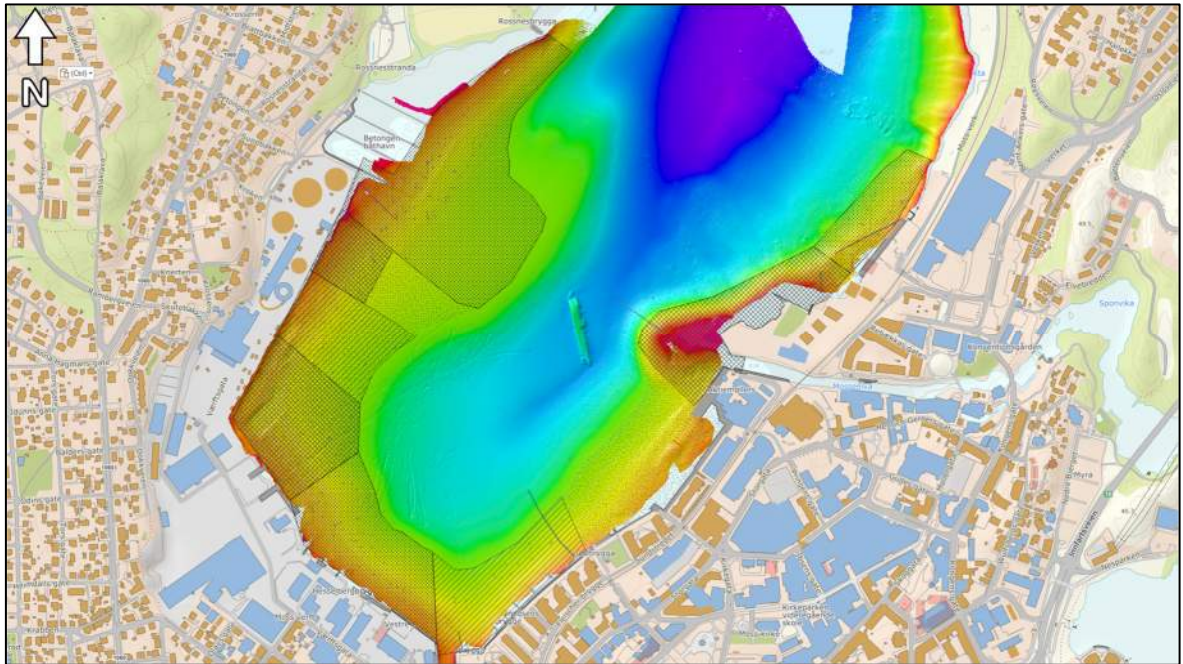
Dette dokumentet omfatter ikke geoteknisk detaljprosjektering.

1.2 Grunnlag

Multiconsult har innhentet og sammenstilt et stort antall grunnundersøkelser av ulike aktører i ulike tidsperioder, 43 datarapporter er oppsummert og listet i sammenstillingsrapport 10253618-RIG-RAP-001 [3]. Datagrunnlaget er videre digitalisert (GeoSuite Presentation) og overlevert COWI AS. COWI har ytterligere innhentet data fra blant annet en grunnundersøkelse av Sweco ved Verket [4]. For fullstendig oversikt henvises det til sammenstillingsrapport [3] og følgeskriv for grunnforholdsmodell [5]. Majoriteten av de eksisterende borpunktene er utførte på land, enkelte i sjø. Figur 1-2 illustrerer omfang og lokasjon for tilgjengelig data.

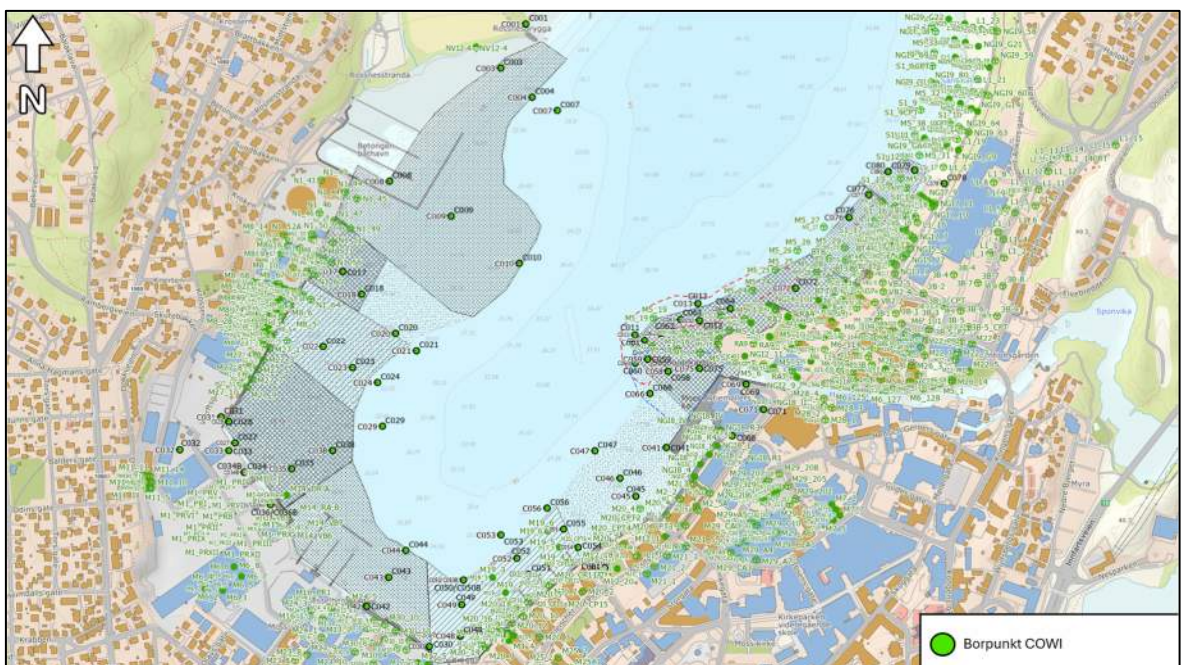
Utforming av planlagt tiltak i form av tildekking, er hentet fra tiltaksplanen utarbeidet av COWI [1], videre er det lagt til grunn seismisk undersøkelse [6] og oppdatert SOSI-grunnlag. SBP seismikk er anvendt som supplement til tolkning av lagdeling der hvor seismikk har godt samsvarer med borpunkt, men tradisjonelle geotekniske grunnundersøkelser er anvendt som styrende for angivelse av lagdeling. Ellers inngår den supplerende grunnundersøkelsen utført av COWI i forbindelse med denne leveransen [7]. Suppleringer omfatter ytterligere 66 totalsonderinger hvorav de fleste er utført i sjø, 22 CPTU og 21 prøveserier. Sjøvannstand for stabilitetsberegninger er hentet fra Kartverket [8] for Mossesundet. Eldre treningsgrunnlag for konstruksjoner i strandsonen er innhentet fra blant annet rapport utarbeidet av WSP [9].

Som en del av vurderingsgrunnlaget legges erfaringer fra lignende prosjekter til grunn, eksempelvis ved Store Lungegårdsvann i Bergen hvor ulike utleggingsmetoder, materialer og tildekking på ulik grad av helning ble testet og dokumentert i feltforsøk [10] og [11].



Figur 1-2: Utklipp fra ArcGIS, sjøbunnstopografi fra sjøbunnskartlegging, planlagt tiltaksområde er markert.

Figur 1-3 viser borplan for grunnundersøkelsene som ble utført i 2024 /2025 i forbindelse med denne leveransen i tillegg til eksisterende grunnlag og planlagt tiltaksområde.



Figur 1-3: Utklipp fra ArcGIS, grunnundersøkelser utført i 2024/2025 av COWI AS er markert med grønn sirkel. Eksisterende grunnlag samt planlagt tiltak er også markert.

2 Grunnforholdsmodell

Det er utarbeidet tilhørende grunnforholdsmodell for prosjektet med hovedfokus på stratigrafi i sjøen. Det henvises til digital leveranse samt tilhørende følgeskriv A289609-RAP-RIG-002 [5].

3 Tiltak og naboforhold

3.1 Planlagt omfang og begrensinger

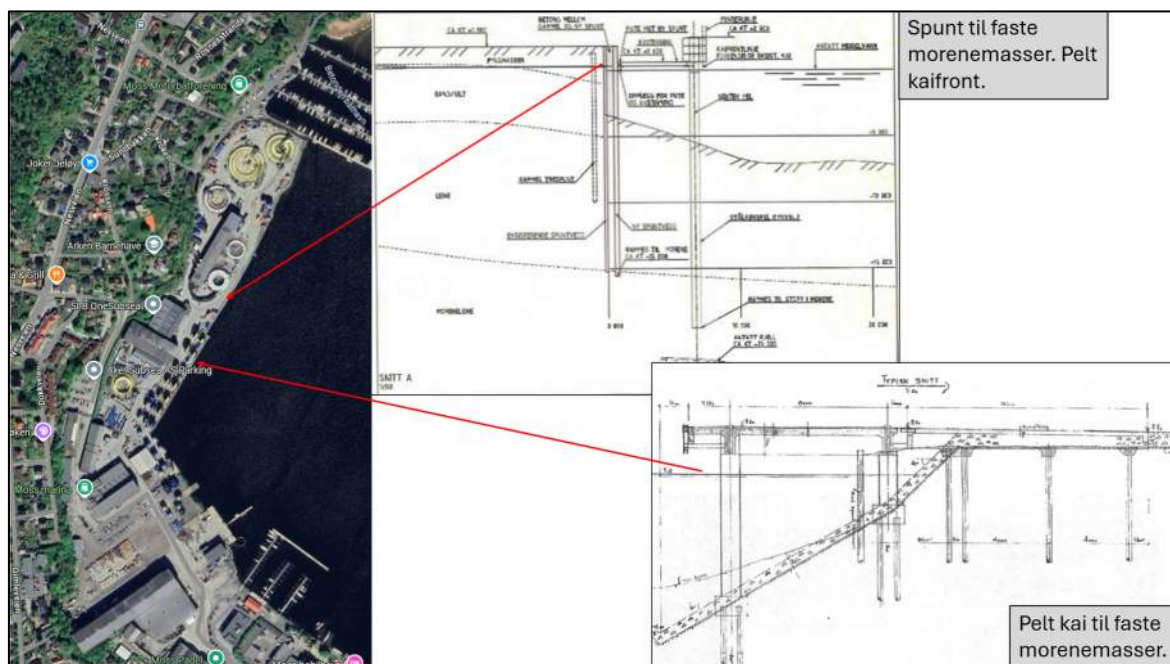
Planlagt tiltak består av tildekking av forurensede sjøbunnsedimenter med tilførte masser av sand, begrenset til maksimal sjøvanndybde 20 m. Aktuelle lagtykkelser har sammenheng med grad av forurensning og er direkte uthentet fra tiltaksplanen utarbeidet for Mossesundet [1]. Tiltaket planlegges med tre ulike lagtykkelser samt stedvis erosjonssikring, som oppsummert i Tabell 3-1. Lokasjon for de ulike lagtykkelsene er vist i Figur 1-1.

Tabell 3-1: Oversikt over tiltaket og aktuelle lagtykkelser, slik planene foreligger pr. d.d. *Dersom man senere i prosjektet ønsker å se på muligheter for bruk av skjellsand, vil dette påvirke materialegenskaper som tyngdetetthet og dermed endre forutsetninger for stabilitetsberegninger. **Tykkelse erosjonssikringslag må detaljprosjekteres, tykkelser er foreløpig antatte.

Begrep	Lagtykkelse [cm]	Materiale	Annet
«Tynn tildekking»	10-20	Maskinsand*	-
«Medium tildekking»	20-30	Maskinsand*	-
«Tykk tildekking»	30-40	Maskinsand*	-
«Erosjonssikring»	50**	Antas grus/stein	**Erosjonssikringens lagtykkelse må prosjekteres og være i tråd med blant annet strømningsforhold fra elveutløp, bølger og propell. Det kan forventes at ulike områder hvor det planlegges erosjonssikring, vil kunne kreve ulike tykkelser. Det er valgt å anta tykkelse på 0,5 m som utgangspunkt for beregning av stabilitet i denne omgangen. Dette må revurderes etter hvert som faktiske tykkelser foreligger.

3.2 Eksisterende konstruksjoner

Det opptrer ulike konstruksjoner i strandsonen, inkludert pelte kaier, spunt og fylling i sjø i tilknytning til ulike havneanlegg (Figur 3-1). Området er kun befart i begrenset omfang på nåværende tidspunkt. Nyere fotografi av kaikonstruksjoner tatt fra sjøsiden er innhentet i forbindelse med grunnundersøkelsen. Gamle trespunter er typisk forsterket i framkant med nye stålspunter i senere tid. Enkelte deler av strandsonen er etablert uten kjent oppstøtningstiltak (sørøst) og type oppstøtning er noe varierende i sundet. Det er kjent problematisk med forringet kvalitet på eldre peler i deler av sundet samt pågående setninger.



Figur 3-1: Utdrag eksempelvis ulike konstruksjoner og oppstøttningsløsninger i strandsonen. Tegninger hentet fra rapport av WSP [9].

For pelte kaier som utsettes for tilført last fra en eventuell tildekking, vil man mulig kunne forvente noe påhengslast på pelene ettersom massene langs pelen vil kunne sette seg relativt til pelen.

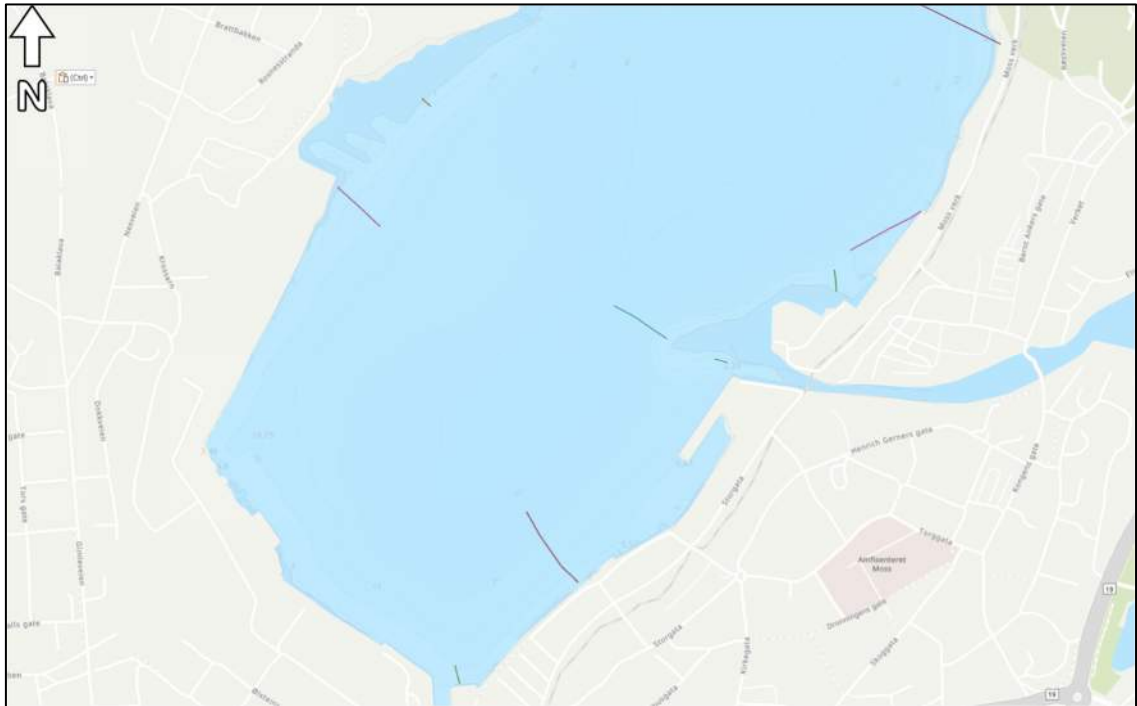
Et grovt estimat forutsatt peledimensjon med radius 30 cm, neddykket tyngdetetthet for sjøbunnsedimenter på 5 kN/m^3 og en tykkelse på sjøbunnsedimenter på 2 m gir begrenset påhengslast.

Peledimensjoner forventes å være større enn angitt i estimatet her basert på eldre tegninger og nyere fotografi, selv medregnet reduksjon i diameter knyttet til relativt omfattende korrosjon i enkeltpeler nært Sundbryggene. Bopunkt tett på kai tilsier at sjøbunnsedimenter er $< 2 \text{ m}$ langs kaianlegg. Lokale variasjoner kan likevel opptre. Pelte kaier forventes å bestå av spissbærende peler til fast morene, det opptrer både betongpeler og stålrørspeler i området. Aktuelle påhengslaster vurderes som beskjedne sett opp mot forventet kapasitet og vurderes som ikke kritiske.

Dette må dokumenteres og hensyntas i detaljprosjektering og kaianlegg bør besiktiges ettersom tilstand på enkeltkaier og tilhørende enkeltpeler ikke er fullstendig kjent. Besiktigelse og tilstandsvurdering bør med fordel vurderes utført med tverrfaglig kompetanse fra eksempelvis konstruksjonsingeniør. Rapport utarbeidet av NGI dokumenterer store skader på bærende konstruksjon ved Sundskaia, COWI er ikke kjent med om dette er utbedret i etterkant av NGIs rapport fra 2018 [12]. Dette må avklares senest innen eventuell detaljprosjektering av dette tiltaket.

Tildekking i front av murkaier eller andre støttekonstruksjoner i strandsonen og fyllinger, forventes å øke stabiliteten ettersom man i prinsippet tilfører last som er gunstig mot brudd.

Det opptrer noen VA-ledninger med utløp i sjøen (Figur 3-2). Det må forventes at disse ledningene vil bli utsatt for setninger ved tildekking av de omkringliggende massene på sjøbunnen. Per dags dato er ikke toleranser kjent eller om rørene tåler eventuell belastning fra tildekking, dette må ivaretas i detaljprosjektfasen i samråd med RIVA. Dersom man må etableres større motfyllinger for å ivareta stabilitet ved Sagmuggkanten, forventes det at ledningen i dette området må reetableres/omlegges.

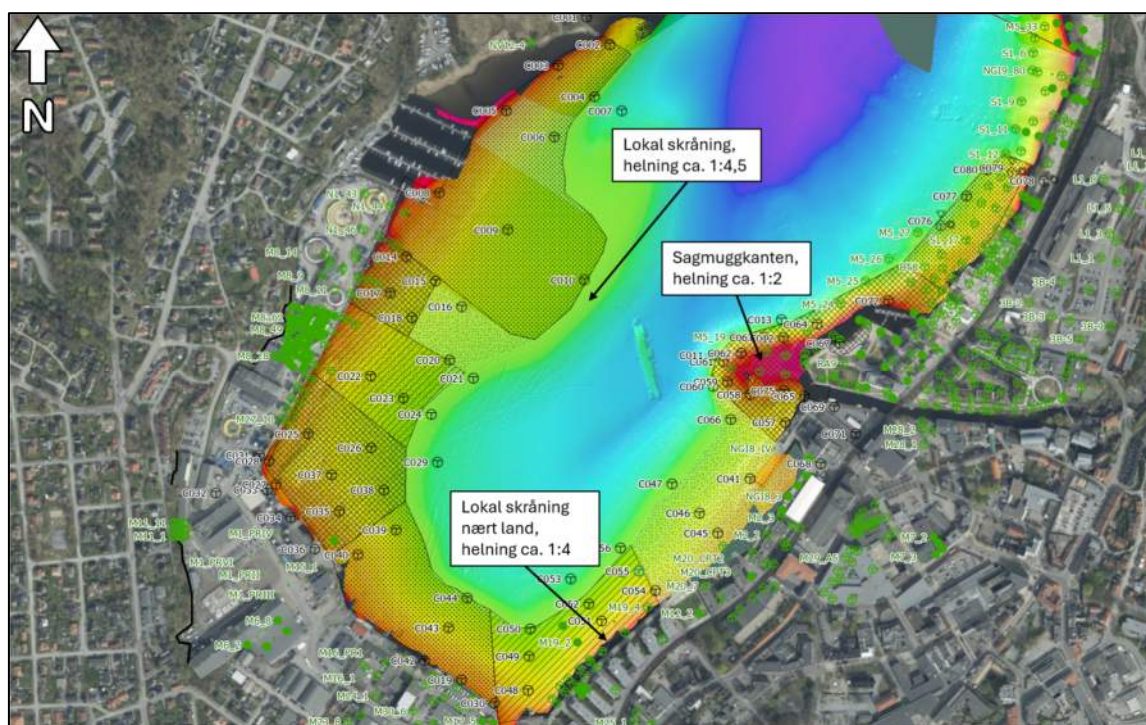


Det planlegges ikke for mudring. Dersom det likevel skulle bli aktuelt med lokal mudring for å tilse tilstrekkelig innseilingsdybde, må dette vurderes særskilt med tanke på stabilitet. Spesielt mudring foran og på langs av eventuelle støttekonstruksjoner er ikke å tilråde. Det samme gjelder mudring i skråningsfot, nært land. Erfaring fra tidligere utført mudring nord for dette tiltaksområdet, har resultert i undersjøiske utglidninger av antatt stedlige leirmasser (Figur 3-3).

4 Terreng og grunnforhold

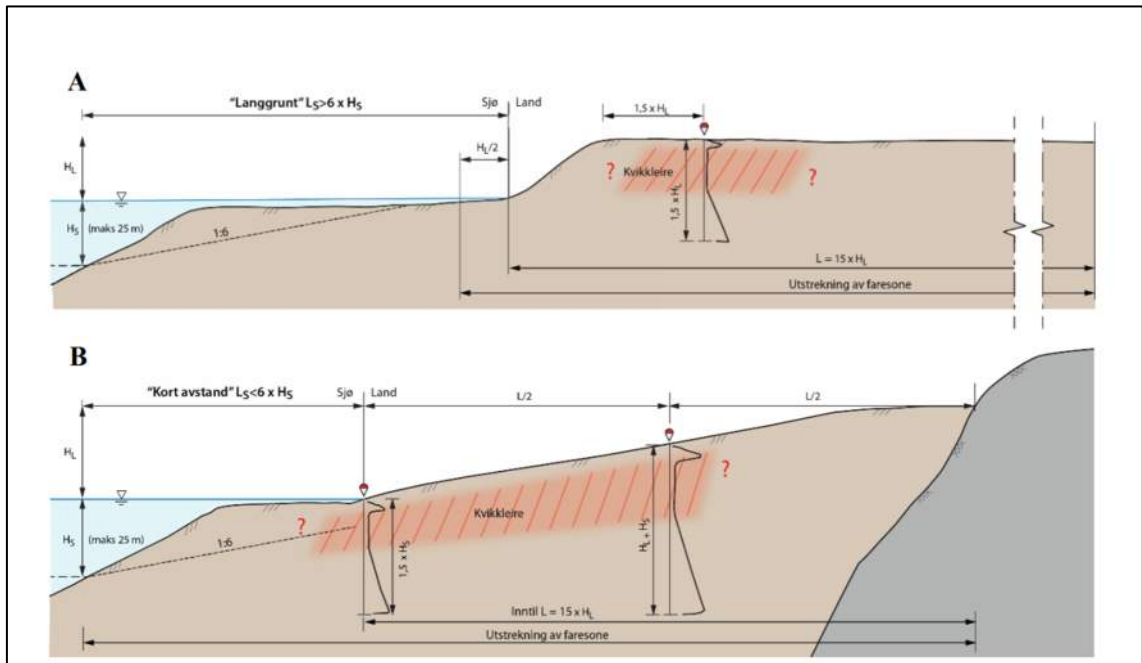
4.1 Topografi

Sjøbunnstopografien varierer i sundet (Figur 4-1). Undersjøisk skråning ned fra Sagmuggkanten har helning på ca. 1:2 og total skråningshøyde på opptil 35 m. Ellers er sjøbunnen generelt slakere, med unntak av noen lokale parti tett på strandsonen samt en lokal skråning nært midtre del av sundet.



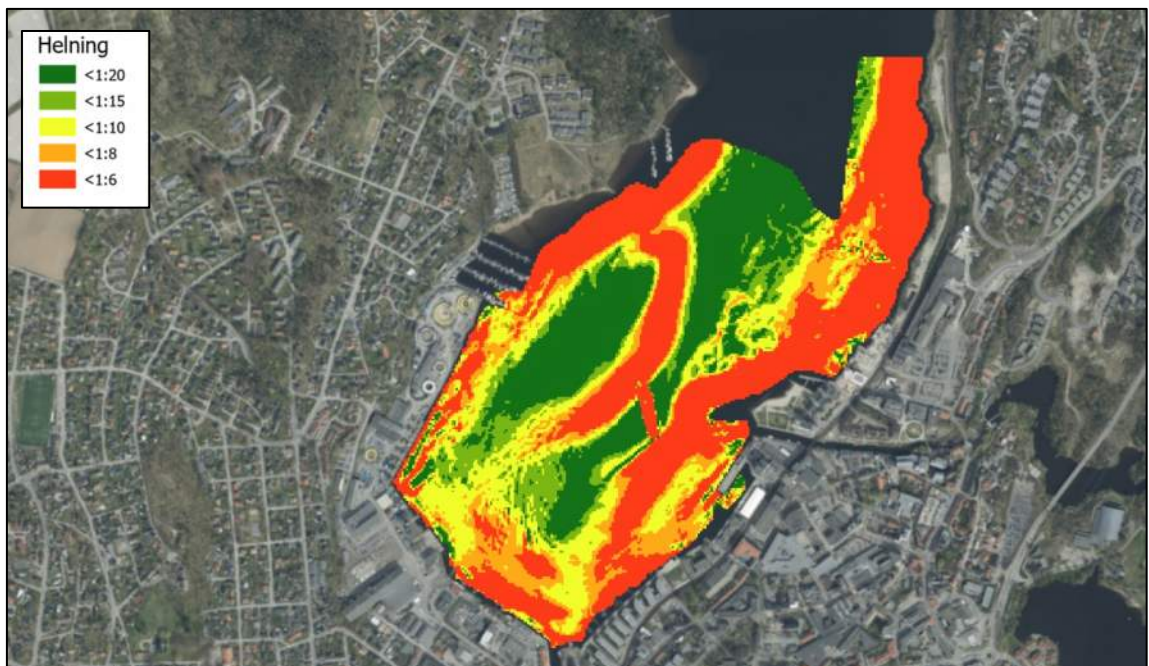
Figur 4-1: Topografisk kart over sjøbunnstopografien i Mossesundet, fall i terrenget er indikert med fargeskala fra rød til blå hvor blå er dypest. Et lite utvalg av lokale skråninger er merket.

NVE Ekstern rapport 9/2020 [13] angir terrengkriterier for faresoner i sjø, sett i sammenheng med potensielle skredhendelser i strandsonen (Figur 4-2). Situasjonen i Mossesundet tilfaller både prinsipp «A» og «B», altså «*langgrunt*» og «*platåterreng*».



Figur 4-2: Utklipp hentet fra NVE Ekstern rapport 9/2020 [13].

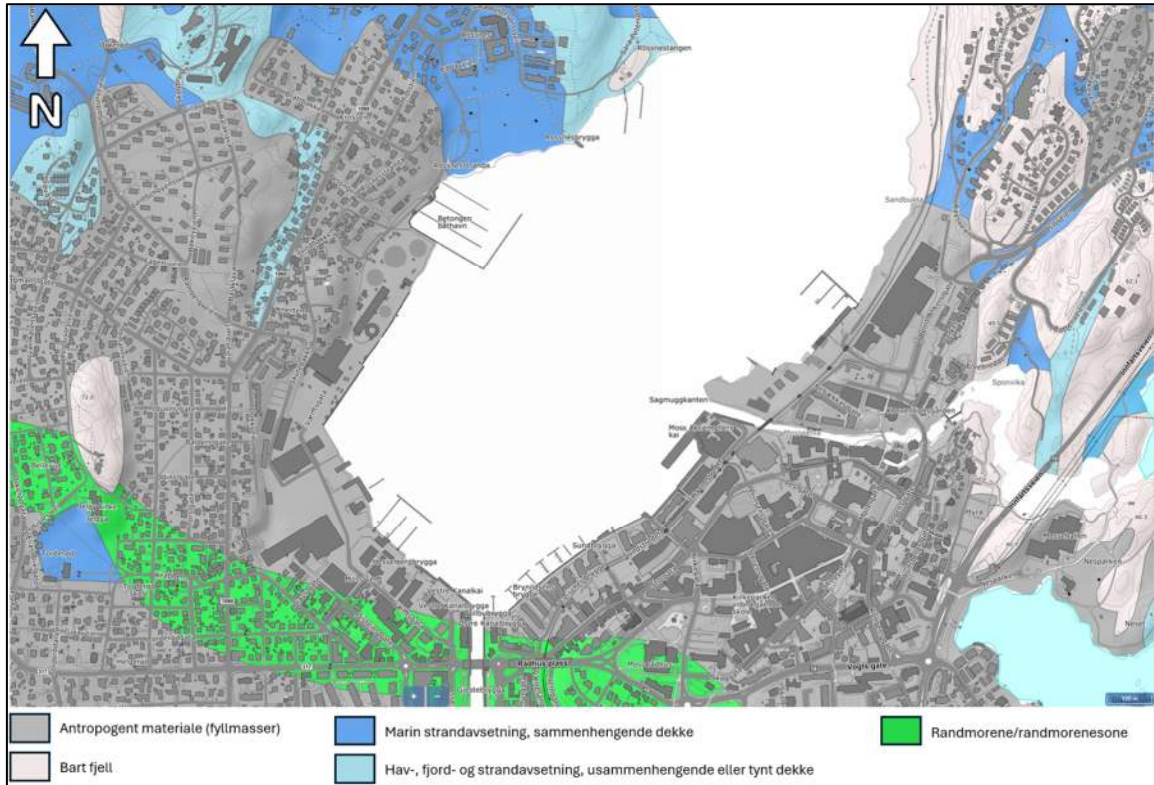
Det er utført en terrengeanalyse basert på kriteriene over, det vises til Figur 4-3, altså bratthet som overstiger helning 1:6. Skred initiert i sjø kan teoretisk strekke seg inn mot land for store deler av sjøbunnstopografien, der hvor sprøbruddmateriale opptre både i sjø og på land som et sammenhengende lag. Dette gjelder særskilt i sundets østre del. Potensielle bruddsirkler avgrenses i stor grad av eksisterende spuntkonstruksjoner ned til faste morenemasser for andre deler av sundet. Bratt topografi i midtre del av sundet vurderes å ligge for langt fra strandsonen for at et potensielt undersjøisk skred kan nå helt til land, gitt terrengkriteriene oppsummert i Figur 4-2. Se Kap. 4.4 for aktuell tiltakskategori og krav til sikkerhet.



Figur 4-3: Terrengeanalyse utført i ArcGIS, illustrasjon av helninger i sjø som overstiger bratthet 1:6.

4.2 Kvartærgeologiske kart og marin grense

Hele tiltaksområdet ligger under marin grense. Videre er området kartlagt som hovedsakelig antropogent materiale (fyllmasser) samt marine avsetninger (Figur 4-4) i Kvartærgeologisk kart utgitt av NGU [14]. Kartet gir kun en indikasjon på øvre stratigrafi, egnet skala er 1:50 000.

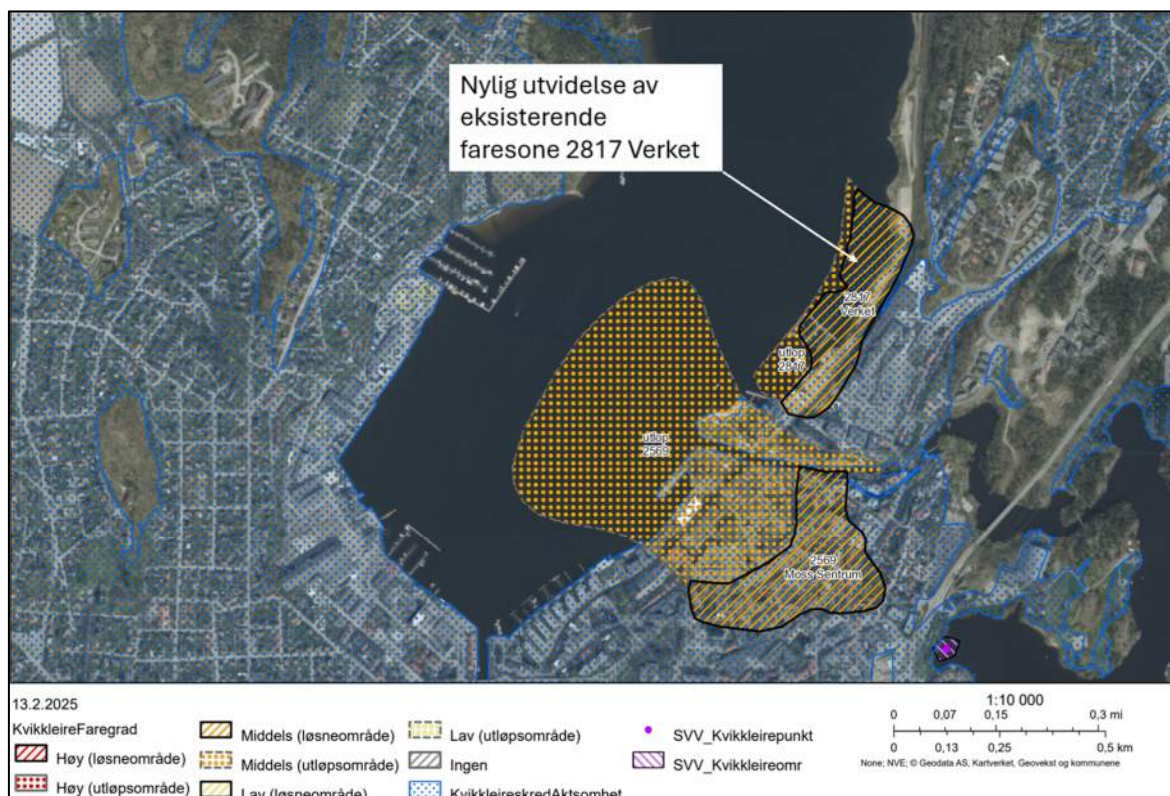


Figur 4-4: Løsmassekart hentet fra NGU [14]. Egnet skala 1:50 000.

4.3 Registrerte faresoner kvikkleireskred

Det opptrer to faresoner for kvikkleireskred i området i kartgrunnlag utgitt av NVE [15], Sone 2569 Moss sentrum [16] og Sone 2817 Verket [17] som har både løsne- og utløps område innenfor tiltaksområdet. Sistnevnte faresone ble oppdatert i NVEs database nylig [15] med utvidelse mot nord. Figur 4-5 viser oversikt over aktuelle registrerte faresoner. Resterende av tiltaksområdet er omkranset av aktsomhetsområde for kvikkleireskred.

Begge sonene har faregradsklasse er satt til middels, konsekvensklasse meget alvorlig, risikoklasse 4.



Figur 4-5: Utklipp hentet fra aktsomhetskart utgitt av NVE [15]. Sone 2569 har utløp innenfor tiltaksområdet, sone 2817 Verket har både løsne- og utløpsområde innenfor tiltaksområdet. Sone 2817 ble utvidet nylig i nordlig retning.

4.4 Krav til sikkerhet

Tiltaket omfatter terrengendring i form av utfylling i sjø og vurderes å tilfalle tiltakskategori **K2**. Krav til sikkerhet jf. NVE Veileder 1/2019 [18] er tilfredsstilt gitt følgende:

- krav til sikkerhet oppfylles hvis tiltaket ikke forverrer stabiliteten

eller

- hvis tiltaket forverrer stabiliteten, skal det kreves absolutt sikkerhetsfaktor $F_{cu} \geq 1,40 \cdot f_s$ og $F_{c\phi} \geq 1,25$, hvor f_s er sprøhetsforholdet som korrigerer for sprøhetsforholdet som korrigerer for sprøbruddseffekt i de udrenerte beregningene.

Flere av skråningene i sjø står i dag med lav sikkerhet. Det er ikke skilt mellom krav til sikkerhet i og utenfor registrerte faresoner ettersom sprøbruddmateriale opptrer også utenfor dagens registrerte faresoner.

Å tilse ikke forverring og fortrinnsvis forbedring av dagens situasjon er utgangspunktet for beregninger og vurderinger i med denne leveransen.

4.5 Grunnforhold

Ettersom tiltaksområdet er stort og at det opptrer varierende grunnforhold i ulike deler av området, fremstilles grunnforhold som 4 ulike «soner» (Figur 4-6) for lesbarhetens skyld. Det henvises til påfølgende Kapittel 4.5.1 til 4.5.4 for spesifikasjoner per sone med kort oppsummering av relevante forhold.

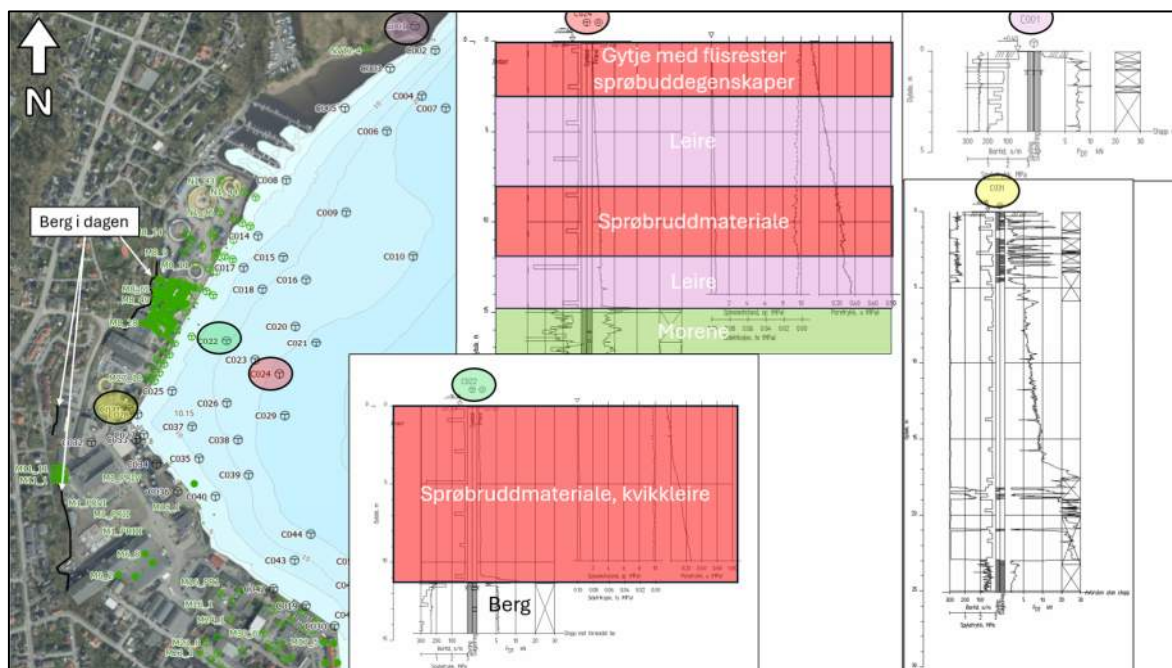
For fullstendig datarapport for nye undersøkelser i sjø henvises det til A289609-RAP-RIG-001 [7]. Ellers fremkommer betydelige mengder informasjon om grunnen i eksisterende datagrunnlag, hovedsakelig på land. Relevant informasjon er for øvrig illustrativt oppsummert i grunnforholdsmodell som følger denne leveransen.



Figur 4-6: Inndeling i 4 ulike «soner» for å fremstille grunnforhold relativt til tiltaksområdet.

4.5.1 Grunnforhold i sone 1

Det opptrer bergskjæringer på land (Figur 4-7). Grunnundersøkelser i sjø påviser berg i store deler av sone 1, bergnivået faller mot midtre del av sundet. Løsmasser i sjø består av sjøbunnsedimenter over leire, stedvis med sprøbruddegenskaper. Leirens skjærfasthet er høyere på land enn i sjø. Det er ikke påtruffet sprøbruddmateriale på land, men det kan ikke utelukkes at lokale variasjoner kan opptre. Videre følger morene over berg. På land opptrer faste lag av fyllmasser i flere borpunkt, over stedlig leire. Øvre humusholdig sjøbunnsedimenter/gytje inneholder spor av sagflis.



Figur 4-7: Sone 1 med et lite utvalg av borpunkt. Sprøbruddmateriale er påvist i flere borpunkt i sjø. Leiren har høyere fasthet på land.

4.5.2 Grunnforhold i sone 2

Berg er ikke påvist i sone 2. Det er stedvis påvist sprøbruddmateriale i området, hovedsakelig i sjø. Overgang til område dominert av tykke lag med sagflis opptrer i økende grad ved industriområde tilknyttet til Fiskå Mølle (Figur 4-8). Ellers består grunnen av øvre lag av gytje i sjø, etterfulgt av leire, stedvis med sprøbruddegenskaper, deretter morene. På land opptrer fyllmasser i øvre del, sammensetningen av disse er i varierende grad sagflisholdig, stedvis sand- og grusholdig. Spor av sagflis finnes i flere borpunkt også utenfor Fiskå Mølle.

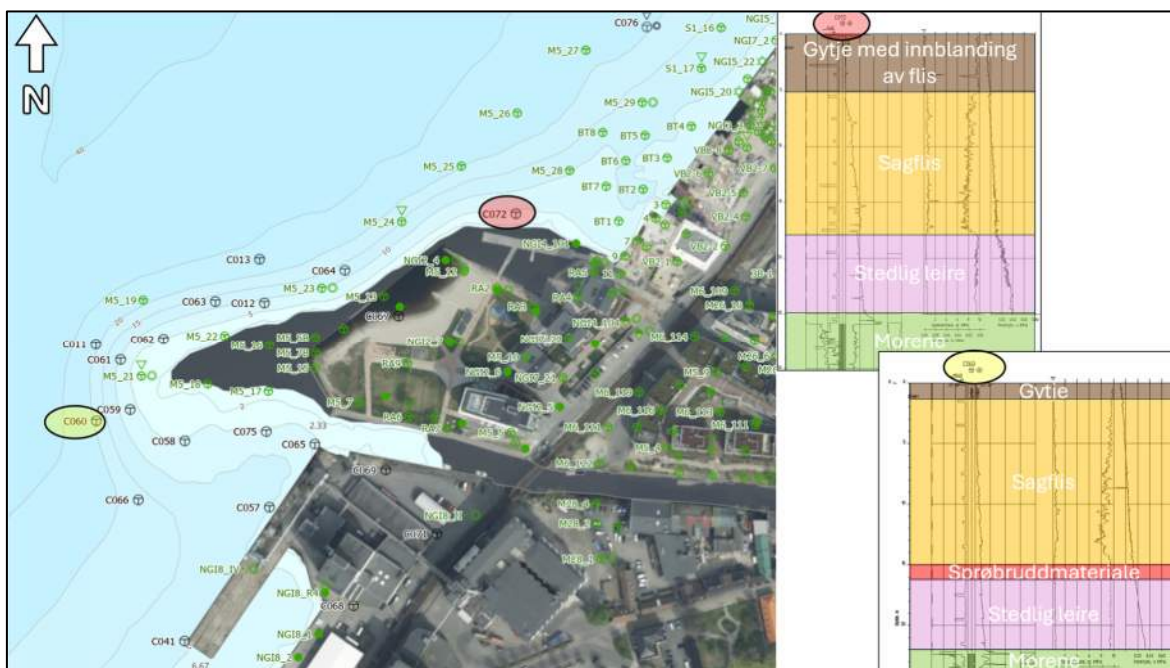


Figur 4-8: Sone 2 med et lite utvalg av borpunkt. Sprøbruddmateriale er påvist i dette området. Det opptrer fyllmasser hovedsakelig bestående av sagflis i område nært tilknyttet Fiskå Mølle (for eksempel ved punkt C071 med flere).

4.5.3 Grunnforhold i sone 3

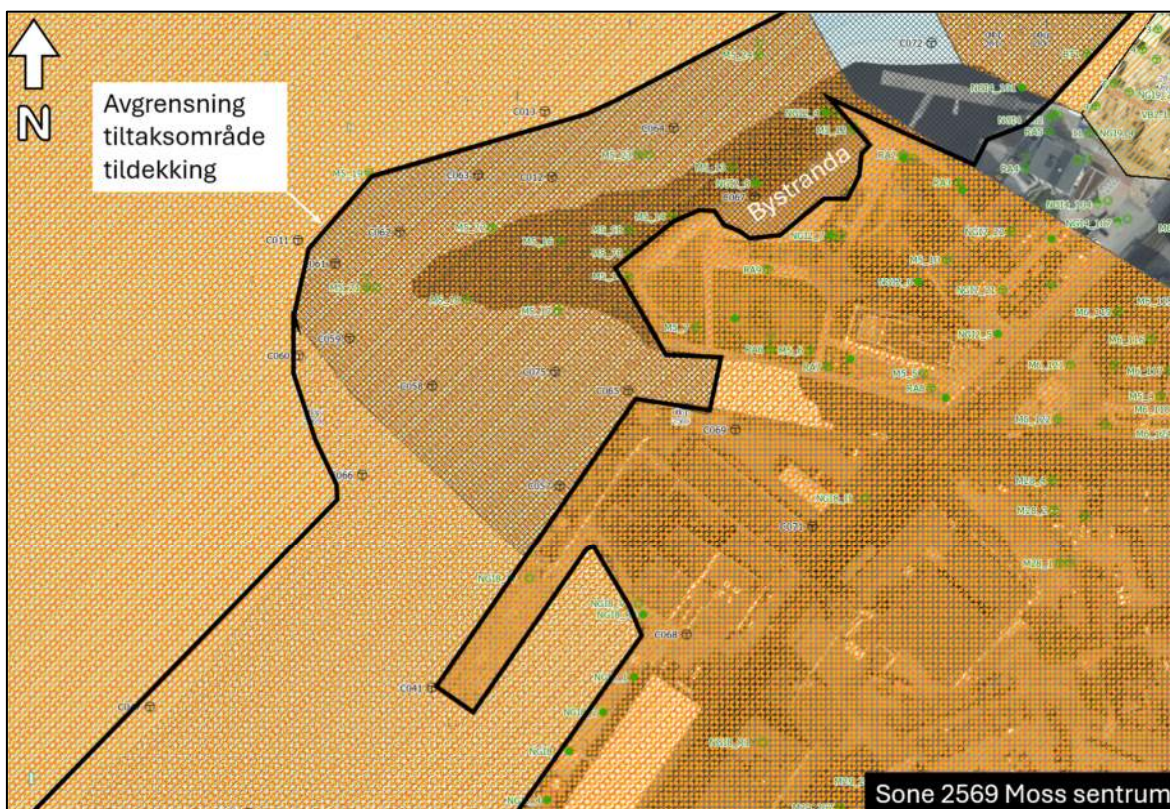
Området karakteriseres med tykke lag med sagflis (Figur 4-9). Overliggende sjøbunnsedimenters tykkelse er typisk avhengig av helning, det opptrer ingen til lite gytje i de bratteste partiene, opp til 5 m i punkt C072. Under sagflis opptrer stedlig leire, etterfulgt av morene. Leiren er funnet å ha sprøbruddegenskaper lokalt, noe humusinnhold og relativt lav skjærstyrke.

Det er knyttet noe usikkerhet til sagflisens tykkelse i skråningens fot hvor det ikke er utført undersøkelser med bakgrunn i stort vanddyp.



Figur 4-9: Sone 3 med borpunkt C072 og C060 som tilsvarer resultater i store deler av dette området. Betydelige lagtykkelser med sagflis. Det opptrer stedlig leire under sagflis, denne har lokalt sprøbruddegenskaper.

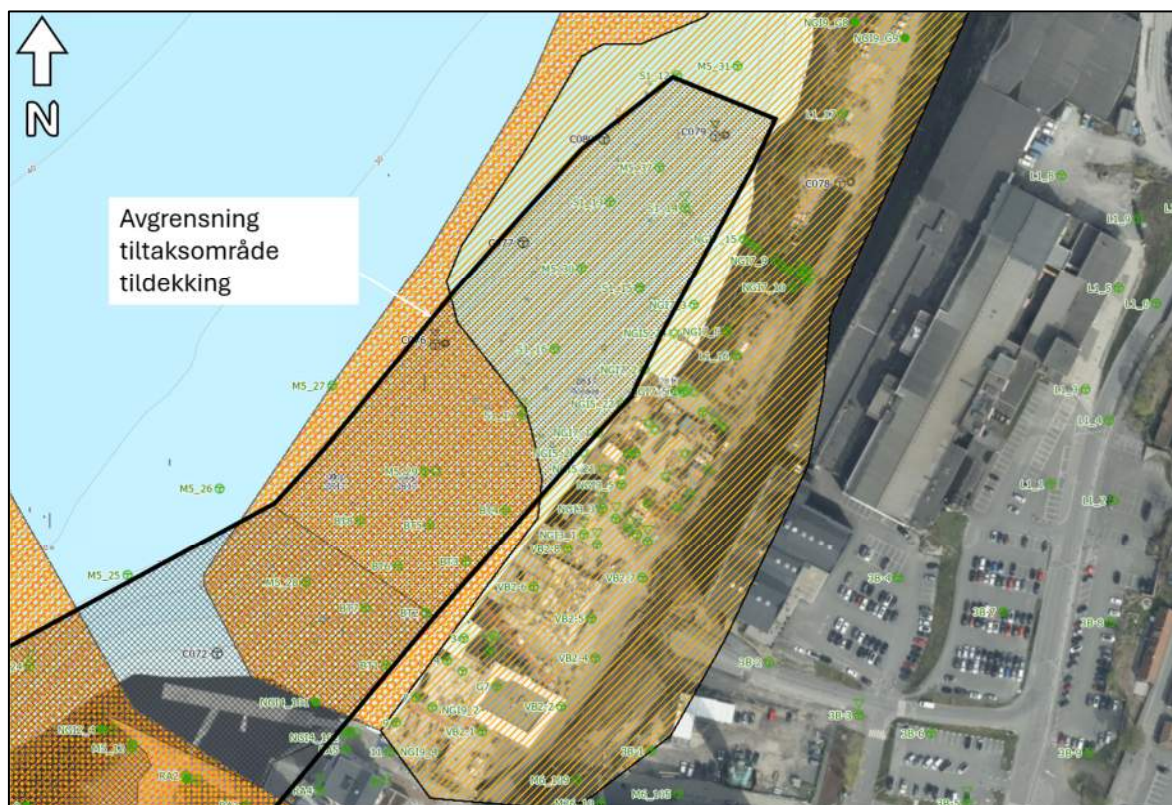
Tiltaksområdet tilfaller både løsne- og utløpsområde for faresone 2569 Moss sentrum (Figur 4-10).



Figur 4-10: Faresone 2569 Moss sentrum. Tiltaksgrense ved kote -20.

COWI er kjent med at området rundt Bystranda er tildekket allerede, omfang, dybde og utbredelse er ikke fullstendig kjent. Men det kan forentes at tiltaksområde utenfor og nært Bystranda vil utgå

Området ligger innenfor faresone 2817 Verket som nylig har blitt utvidet i nordlig retning. Det vil si at tiltaket nå faller innenfor løseområde som tidligere ikke er omtalt i tiltaksplan med utarbeidelse før utvidelsen av faresonen (Figur 4-12).



Figur 4-12: Tiltaksområde tilfaller registrert faresone for kvikkleireskred, både innenfor løсне- og utløpsområde.

I forbindelse med vurdering av områdestabilitet i området av Sweco [17], er det for øvrig anbefalt å utføre stabiliserende tiltak i sjøen for etablering av K4-tiltak på land da i form av grunnforsterkning (KS-peler i kombinasjon med avlastning av terreng).

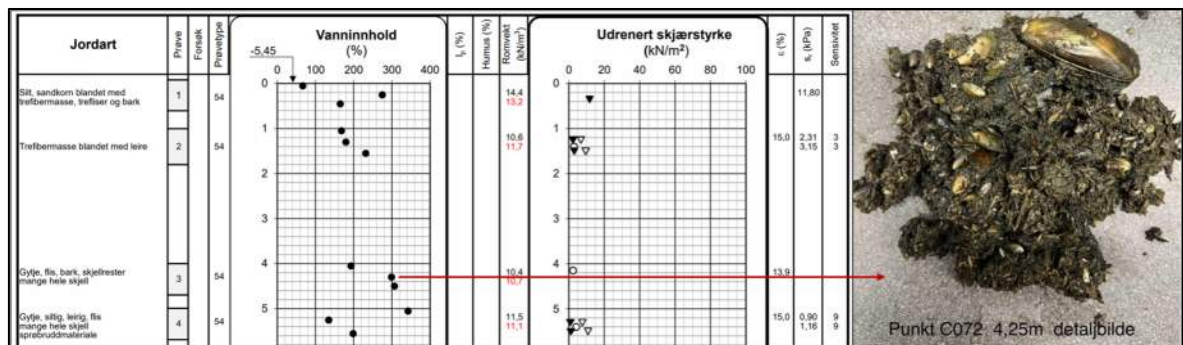
5 Geotekniske vurderinger

5.1 Stratigrafi

Lagdeling er tolket i sjø med utgangspunkt i borpunkt og laboratorieresultater, til dels med seismikk. Følgende jordarter inngår i stabilitetsberegningene:

Sjøbunnsedimenter/gytje

Opptre med varierende tykkelser i sjø og med svært varierende sammensetning. CPTU viser generelt lite motstand i dette øvre laget, skjærstyrker er generelt lave (< 5 kPa). Sedimentene er hyppig iblandet ulike mengder treflis, bark, skall og finkornede mineralske komponenter. Massene er svært organiskholdige og forventes å ha høy kompressibilitet. Laget er ikke tilstedeværende eller beskjedent i bratt sjøbunnstopografi. Laget har relativt store variasjoner i sammensetning, skjærstyrke, tyngdetetthet på ulike lokasjoner i sundet og ved ulike dybder. Komponenter av flis er tilstede også i borpunkt utenfor Sagmuggkanten, på sundets vestside.



Figur 5-1: Utklipp fra laboratorierapport, sjøbunnsedimenter/gytje med relativt stor variasjon i sammensetning.

Sagflis

Overskuddsmasser fra tømmerindustri har blitt deponert i området over flere hundre år. Sagflis er på det dypeste registrert opp til 37 m under terreng [3]. Sammensetning varierer fra fint opphugget materiale til store intakte treflisser på titalls cm. Innhentede sylinderprøver fra felt er i liten grad fulle (Figur 5-2). Materialelegenskaper er noe utfordrende å måle i laboratoriet, tyngdetettheten er generelt lav. Flisen ligger lagret i anaerobe forhold, ved opphenting av prøvemateriale opptrer flisen som tilnærmet fullstendig intakt, uten åpenbare spor av nedbrytning. CPTU viser tett på null poretryksrespons og høy friksjon. Ved totalsondering opptrer sagflisen med svært høy stangfriksjon. Parameterfastsettelse er basert på laboratoriedata, erfaringer fra tilsvarende grunnforhold samt funn av Bjertness og Sponås [19].



Figur 5-2: Utvalg fotografi fra felt og laboratorie. Sagflis opptrer på store dybder i området.

Stedlig leire, morene og eksisterende fyllmasser:

Underliggende sjøbunnsedimentene, og lokalt under sagflis, opptrer stedlig leire. Denne kan inneholde noe silt og har stedvis sprøbruddegenskaper. Udrenert skjærstyrkeprofiler er tolket ut fra en kombinasjon av CPTU og laboratoriedata. Skjærstyrke har en tendens til å øke noe mot land. Leiren er normalkonsolidert, noe overkonsolidering der hvor den er betydelig belastet med fyllmasser av sagflis i sjø eller fra fyllmasser på land. Leire under sagflis har noe humusinnhold og skjellrester.

Morene eller moreneleire opptrer under leiren, på østlig side av sundet har denne betydelig mektighet og berg er i liten grad påtruffet.

Eldre fyllinger på land opptrer lokalt. Sammensetning av disse fyllmassene opptrer ikke som et homogent materiale. Det er typisk ikke anvendt høy kvalitet på fyllmasser, det er stedvis betydelige spor av flis i massene, stedvis er fyllmassene sand- og grusholdige.

5.2 Tilførte masser: Tildekkingsmasser og erosjonssikring

Tildeckingsmateriale av sand:

Kvaliteten på tildeckingsmasser er avgjørende for overflatestabilitet, grad av oppvirvling og omfang av eventuell spredning av forurensede masser. Tilførte masser skal også oppfylle krav til isolering av forurensede sedimenter i sjøbunnen.

Det ble i forbindelse med tildekking i Store Lungegårdsvann i Bergen gjort en teststudie av ulike materials egnethet i felt [10]. Funnene i studien er kort oppsummert at bruk av 0-2 mm sand for flat og bløt sjøbunn er å anbefale ettersom grovere kornstørrelser viste seg som ikke hensiktsmessige på grunn av uønsket iblanding av underliggende forurensede masser. I bratte parti ble det anbefalt en noe grovere fraksjon, i sjiktet 0-32 mm og som erosjonssikring 64-100 mm. Videre ble 0-2 mm sand anbefalt under eventuelt grovere materiale (under 0-32 mm) for å unngå forringet resultat av tildekking med uønsket innblanding.

Det er utført stabilitetsberegninger med forutsetting om at tilført sand består av maskinsand med relativt fin fraksjon, innenfor intervallet 0-2 mm. Grovere fraksjoner bør påregnes for brattere sjøbunnsbeløp. Det gjøres oppmerksom på at anvendelse av natursand vil gi en lavere tyngdetetthet og kan påvirke resultater i stabilitetsberegninger. Beregninger må oppdateres dersom det senere skulle bli aktuelt med natursand i prosjektet.

Erosjonssikring:

Tykkelse på erosjonssikringslag avhenger av flere faktorer som strømning, blant annet propellgenerert strømning fra båt/skip og bunnstrøm hvor største partikkelstørrelse i suspensjon er avgjørende. Disse forhold må vurderes og erosjonssikring må detaljprosjekteres.

Ettersom prosjektet er i tidlig fase, er ikke krav til erosjonssikring fastsatt. Dermed er det utført vurderinger med antagelser på sammensetning og tykkelser. Forventet lagtykkelse er 0,5 m og det forventes at det anvendes steinfraksjon, fortrinnsvis i intervallet 64-100 mm. Dersom faktisk tykkelse, sammensetning eller lokasjoner skulle endres seg, vil dette påvirke stabilitetsberegninger som i så fall må oppdateres.

5.3 Kvalitet supplerende grunnundersøkelse

Kvalitet og avvik er omfattet i detalj i datarapport [2], relevant informasjon oppsummeres kun her.

Totalsonderinger er utførte med minimalt med uheldig bevegelse i flåten fra bølger. Kun enkelte borpunkt utført i en periode med noe mer vind, viser tegn til oppdrift/bevegelse i flåten som gir utslag i redusert bormotstand, til dels negativ motstand i enkelte punkt.

CPTU er utført innenfor kriterier for anvendelsesklasse 1, med unntak av borpunkt C079 med anvendelsesklasse 2 på grunn av negativ friksjon. Borleder opplyser om at leirmateriale kleber seg på sonden ved opptrekk. Massene i det aktuelle området har videre svært lite motstand og noe siltinnhold. Det er utført treaksialforsøk på prøveserie i borpunktet som supplement til tolkning av udrenert skjærstyrke.

Deler av prøvetakningen er utført med Ø72 mm stålsylinder, resterende Ø54 mm.

Designparameter i stabilitetsberegninger hensyntar prøve kvalitet. Bestemmelse av prøve kvalitet fra treaksialforsøk er basert på endring i poretrykk under konsolidering $\Delta e/e_0$ etter tabell i NGF Melding nr. 11 [20]. Prøver med dårlig kvalitet er ikke vektlagt eller konservativt anvendt ved angivelse av C-profiler.

Det ble utført tiltak for å sikre god kvalitet på prøvetakning, men tilstrekkelig kvalitet ble likevel utfordrende å oppnå i ved feltarbeidet. Prøver med sagflis, sagflisrester eller høyt humusinnhold har en aksial deformasjon for enaksialtester i størrelsesorden ca. 6-15%. Dypere prøver, typisk prøver fra dypereleiggende leire av mer homogen sammensetning, har høyere kvalitet og er innenfor intervallet ca. 3-6%. Prøver tatt i eller rett under sagflislag, ble enkelte ganger utsatt for deformasjon/bulker i stålsylinderen som påvirker prøve kvaliteten i negativ forstand.

Treaksialforsøk har prøve kvalitet som generelt er ikke tilfredsstillende (Tabell 5-1). For sagflis er det utført drenerte treaksialforsøk (CAD), leire som udrenerte treaksialforsøk (CAU).

Tabell 5-1: Prøve kvalitet treaksialforsøk etter NGF Melding nr. 11 [20]. Prøvetakning utført med stålsylindere med ulike dimensjoner (72 og 54 mm). *Drenerte forsøk i sagflis er ikke kjørt til brudd, materialet er svært tøyelig.

Borpunkt	Utstyr	Dybde [m]	Jordart	Kvalitet
C051	Ø72 mm	5,4	LEIRE, siltig, sandig enk. skjellrester, noe humusholdig	God til brukbar
C051	Ø72 mm	8,4	LEIRE, enk. skjellrester, humusblandet	Dårlig
C012	Ø54 mm	22,2	Sagflis	Drenert forsøk, ikke brudd

C012	Ø54 mm	22,5	Sagflis	Drenert forsøk, ikke brudd
C012	Ø54 mm	28,3	Leire	Veldig dårlig
C012	Ø54 mm	29,4	LEIRE, antydning til skjellrester	Veldig dårlig
C049	Ø54 mm	6,1	LEIRE, siltig, sandig, gruskorn, skjellrester, sprøbruddmateriale, mengde sand varierer gjennom prøven. Forstyrret prøve.	Veldig dårlig
C079	Ø54 mm	6,4	LEIRE, siltig, sandkorn, skjellrester	Veldig dårlig
C079	Ø54 mm	7,5	LEIRE, skjellrester	Dårlig

5.4 Udrenert skjærstyrke

Valg av udrenert skjærstyrke er tolket med følgende prioriteringsrekkefølge, gitt tilstrekkelig prøve kvalitet:

1. Laboratoriedata aktive treaksialforsøk Ø72mm (avhengig av kvalitet)
2. CPTU tolkning, anvendelsesklasse 1
3. Laboratoriedata inkl. konus, enaksialforsøk og Ø54 mm aktive treaksialforsøk (kvalitetsavhengig)
4. Vingebor fra eksisterende rapportgrunnlag

Videre er CPTU tolket med bakgrunn i poretrykksfaktoren $N_{\Delta u}$ i tilfeller av B_q -verdi høyere enn 0,5-0,6 [21], ellers er tolkninger basert på N_{kt} . Tilpasninger er gjort der hvor ulike beregningsmodeller ligger utenfor eller innenfor arbeidsområde. Tyngdetettheter er oppgitt som gjennomsnittsverdier ved angivelse i CPTU regneark (SVV). Sjøbunnsedimenter er gitt en generelt skjærstyrke på konstant verdi 2 kPa.

Alle tolkede skjærstyrkeprofiler som inngår i beregninger, er vedlagt i Vedlegg 2.

For områder uten CPTU- eller laboratoriedata er det i beregninger benyttet SHANSEP-betraktninger.

Det kan forventes noe konsolidering av stedlig leire under tilførte fyllmasser med høy alder, dette er ikke hensyntatt i beregninger i denne omgang.

5.4.1 Anisotropiforhold

ADP-faktorer er satt i henhold til formelverk i NVE Ekstern Rapport 14/2014 [22] og avhenger av plastisitetsindeksen I_p . Målt I_p i prøvetakninger i sjø overstiger 10%. Det er anvendt et gjennomsnitt av I_p på 17,4% for angivelse av anisotropiforhold (Tabell 5-2).

Tabell 5-2: Anisotropiforhold etter NVE Ekstern rapport 14/2014 [22].

Anisotropi	Formel	Anisotropifaktor
Aktiv	1	1,00
Direkte	$0,63 + 0,00425 * (I_p - 10)$	0,66
Passiv	$0,35 + 0,00375 * (I_p - 10)$	0,38

5.5 Effektivspenninger

Effektivspenningsberegninger forutsetter materialparameter som framstilt i Tabell 5-3. Materialparameter er satt med bakgrunn i føringer gitt av SVV N-V220 [23]. Det er valgt å legge mindre vekt på treaksialforsøk for angivelse av friksjonsvinkel og attraksjon med bakgrunn i prøve kvalitet.

Tabell 5-3: Materialparameter for effektivspenningsanalyser.

Jordart	Friksjons- vinkel [°]	Tyngdetetthet γ/γ' [kN/m ³]	Attraksjon [kN/m ²]
Sjøbunnsedimenter/gytje	20	15/5	0
Leire	20	18/8	2
Morene	36	19/9	10
Fyllmasser (motfylling)	40	19/9	5
Eks. fyllmasser (eldre fylling nordøst)	35	18/8	0
Flis	32	13/3	0
Tilført: Sand (tildekking)	33	14/4	0
Tilført: Stein (erosjonssikring)	38	19/9	0
Eks. fyllmasser (eldre fylling, Snitt B-BB)	33	19/9	0

Friksjonsvinkel i sagflis oppgis å være tett på 40° i henhold til Bjertness og Sponås [19] i tørr tilstand, men friksjonsvinkelen avtar typisk ved høyt vanninnhold. Vanninnholdet i prøvene i Mossesundet er høyt, anvendt friksjonsvinkel i beregninger er satt til 32°.

Det er knyttet noe usikkerhet til tyngdetetthet for sagflis ettersom dette ikke lar seg direkte måle i laboratoriet på tradisjonelt vis, tilsvarende som for mineralske jordarter. Sagflisens tyngdetetthet kan defineres på ulike måter ettersom treflisene vil utvides og krympes avhengig av om vanninnholdet ligger over eller under metningspunktet til materialet [24]. Det vil si at man vil få ulik tyngdetetthet over og under fibrenes metningspunkt. Videre er densitet avhengig av ytterligere faktorer som kompresjon, treart flisen kommer fra og kapillarforhold i treflisens cellevegger. For oppsagd treverk har man altså ha et porøst materiale med vanninnhold inni selve flisa i tillegg til vanninnhold i porene mellom flisene. Det vil si at bulkdensiteten er en funksjon av fiberdensitet, porevann og kompaktering av materialet. Bjertness og Sponås [19] oppsummerer relevante publikasjoner, se Figur 5-3 for tørrdensiteter i kompaktert materiale, det bemerkes at det knyttes usikkerheter til grad av kompaktering i eksemplene presentert her. Det foreslås tørrdensitet for belastet materiale (med til dels ukjent grad av belastning), innenfor intervallet 2,75-9,81 kN/m³.

I stabilitetsberegninger er resultater noe sensitivt for fastsettelse av tyngdetettheten til sagflis som belaster underliggende svakere leir lag. Målt tyngdetetthet i laboratoriet varierer mye for de

supplerende grunnundersøkelsene (ca. 6-17 kN/m³). Det må forventes at materialegenskaper som tyngdetetthet i sagflis vil variere i Sagmuggkanten blant annet på grunn av svært ulik sammensetning av flis-størrelser, ulik grad av innblandede mineralske komponenter, vanninnhold og ulik belastning ved ulike dybder. Tyngdetetthet må være større enn 10 kN/m³ ettersom materialet er avsatt i sjø og ligger der i dag, uten å flyte opp. En gjennomsnittsverdi på $\gamma/\gamma' = 13/3$ kN/m³ er valgt som et utgangspunkt for beregninger.

Type	Species	w [%]	Density, ρ [g/cm ³]		Reference
			Uncompacted	Compacted	
Saw dust	Birch	-	0.25	0.28	(McAffee and Valsangkar, 2004)
		10	0.31	0.71	(Stasiak et al., 2015)
		50	0.32	0.75	
	-	-	0.19–0.22	-	(Clemons and Caulfield, 2005)
	-	moist	-	0.6	(Gautschi, 1967)
Wood chips	Poplar	-	0.15	0.21	(McAffee and Valsangkar, 2004)
		10	0.28	0.50	(Stasiak et al., 2015)
		50	0.32	0.66	
	-	49	0.21–0.25	-	(Wu et al., 2011) 0-20 mm
	-	42	0.23–0.27	-	0–40 mm
Hog fuel	-	-	0.38	0.58	(Kohlhofer, 1995)
	-	Dry	0.33	-	(Aabøe et al., 2014)
	-	In situ	-	1.0	

Figur 5-3: Utklipp av tabell hentet fra Bjertness og Sponås [19]. Rød markering angir mulig tilnærmede forhold som ved Sagmuggkanten, men grad av kompaktering fremkommer ikke for de fleste kildene oppgitt her. Det vil si at det knyttes relativt stor usikkerhet til verdiene. Oppgitt tørrdensitet varierer relativt mye.

5.6 Sjøvannstand

Dimensjonerende sjøvannstand er satt med utgangspunkt i data fra Kartverket [8] for Mossesundet. 20-års gjentaksintervall er anvendt i stabilitetsberegninger på nivå -99 cm (NN2000), Se Vedlegg 3. Grunnvannstand forventes å tilfalle omtrent samme nivå som sjøvannstand nær strandsonen, antatt noe høyere ettersom det kan forventes mindre god permeabilitet i fyllmassene på land, spesielt i øst.

5.7 Poretrykk

Stabilitetsberegninger er utført med forutsetning om tilnærmet hydrostatisk poretrykk.

Det foreligger indikasjoner på mulig noe poreovertrykk i leirmasser i sjø i området rundt Verket, men det er usikkerhet knyttet til måledata [17]. Det er ikke utført ytterligere poretrykksmålinger i denne omgang.

Ved etablering av tiltak, kan tilførte fyllmasser i sjø, altså økt last, øke poretrykk midlertidig slik at skråningsstabilitet reduseres under anleggsfasen. Det kan ikke utelukkes at det kan bli behov for kontroll av poretrykk i sanntid ved utfylling, behov for dette, metode, omfang av målinger samt tilhørende kontrollprogram må vurderes i detaljprosjektfase.

Stabilitetsberegninger er utførte for endelig situasjon, altså er ikke effekt fra utligning av poretrykk mellom ulike utleggsfaser hensyntatt.

5.8 3D-effekter

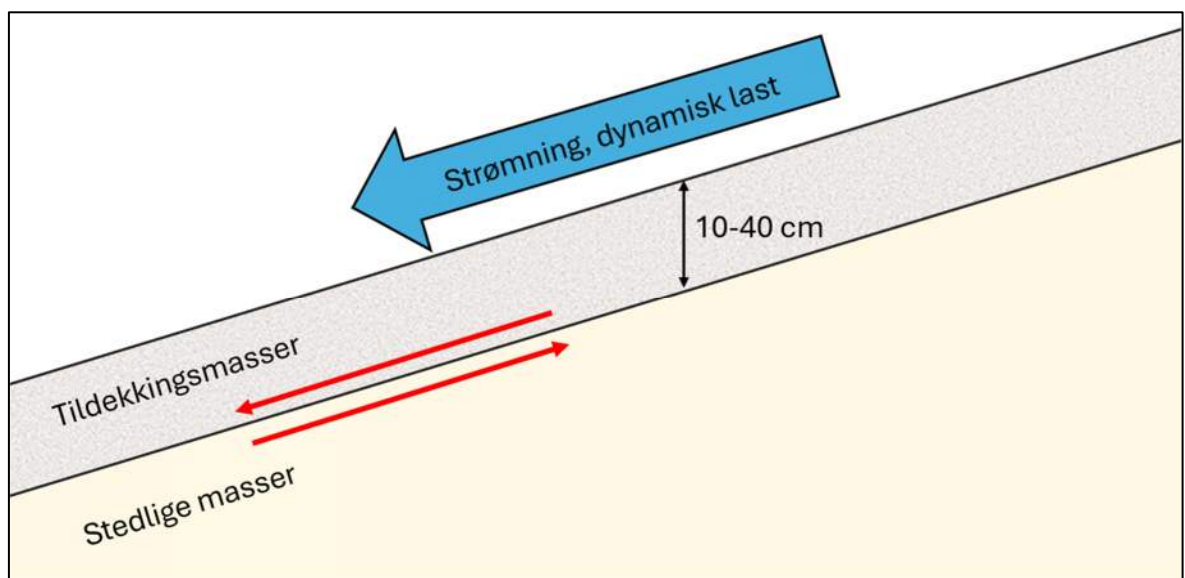
3D-effekter anses som mindre relevante for overflateutglidinger, ellers har sjøbunnstopografien svært varierende karakter i ulike snitt i sundet. Det kan forventes noe 3D-effekter som vil opptre som gunstige i en bruddsituasjon for noen av snittene, spesielt for området rundt Sagmuggkanten hvor det opptrer relativt høy friksjonsvinkel i sagflisen i kombinasjon med topografi hvor det kan forventes noe 3D-effekt i en eventuell bruddsituasjon. Kritiske bruddsirkler i dette området er i hovedsak lokaliserte under laget av sagflis, gjennom underliggende svakt lag av leire. Å implementere 3D-effekter disse i beregningene, vil gi en noe gunstigere sikkerhetsfaktor, selv med lav 3D-effekt. Dette gjelder også for lange, sammensatte bruddsirkler.

Det er valgt å ikke hensynta teoretiske 3D-effekter i stabilitetsberegningene i forbindelse med denne innledende vurderingen. Eventuell bruk av 3D-effekt bør revurderes ved detaljprosjektering.

5.9 Kontroll av brudd i tildekkingslag

Ved tildekking i bratt skråningstopografi med underliggende bløte masser, vil man umiddelbart etter utlegging ikke ha noe kohesjon (heftfasthet mellom kornene) i de tilførte massene. Det vil si at all styrke kommer fra friksjon mellom kornene, slik at styrken blir en funksjon av materialets egenvekt og friksjonsvinkel. Dersom tildekkingsmaterialet ikke påvirkes av andre krefter enn sin egenvekt, ville maksimal helningsvinkel være tilnærmet lik materialets friksjonsvinkel. Tildekkingslaget har imidlertid en beskjeden tykkelse (10-40 cm), det vil si at last og styrke i underkant av laget vil bli lav. De helt øvre stedlige massene består av sjøbunnsedimenter og/eller leire og sagflis som har fått tid på seg til å bygge opp noe kohesjon. Det vil si at stedlige masser har i øvre sjikt en styrke som forventes å langt på vei overgår styrken i tilført lag, spesielt i tidlig fase direkte etter utlegging. Brudd i tildekkingslaget er viktig å tilse er ivarett slik at tildekkingen i størst mulig grad legger seg permanent slik som planlagt og ikke forflytter seg nedover i topografien. Det henvises til NGI Rapport 20120405-04-R [16] for sammenligning i Trondheim havnebasseng og studie av Holme et. al. [25] for estimerer for skjærstyrke 30 dager etter utlegging av tildekkingsmasser i Bjørvika.

Det vurderes at brudd i tildekkingslag er kritisk for tilfredsstillende resultat og bør hensyntas i prosjekteringen (Figur 5-4).

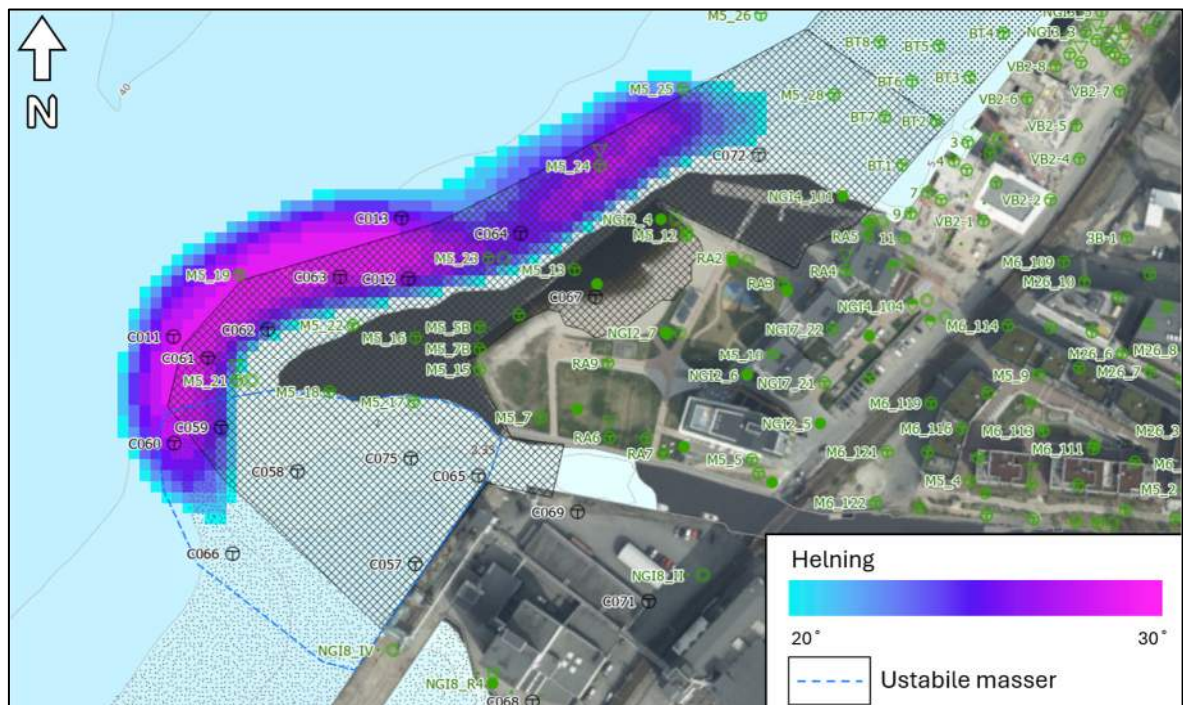


Figur 5-4: Prinsipp brudd i tilførte tildekkingsmasser, modifisert fra NGI Rapport 20120405-04-R [16]. Ikke i skala.

5.10 Bratt parti ved Sagmuggkanten

Figur 5-5 illustrerer område som er vurdert som for bratt for at tilførte tildekkingsmasser kan garanteres å kunne legge seg stabilt. Skråningshelning i partiet er mellom 20-33° (ca. helning 1:2). I følge NGI rapport [26] kan man forvente at ved topografisk helning som overstiger 18,4° (1:3), vil man kunne få et resultat i form av en ansamling av tildekkingsmateriale i skråningens bunn, heller enn at massene forblir ved tiltenkt plassering i skråningen. Det bratte partiet i skråningen har beskjedne mengder eller ingen sjøbunnsedimenter i topp (lokale variasjoner), det vil si at direkte under tildekkingen opptrer i hovedsak sagflis med ulik grad av fine mineralske komponenter og humusinnhold.

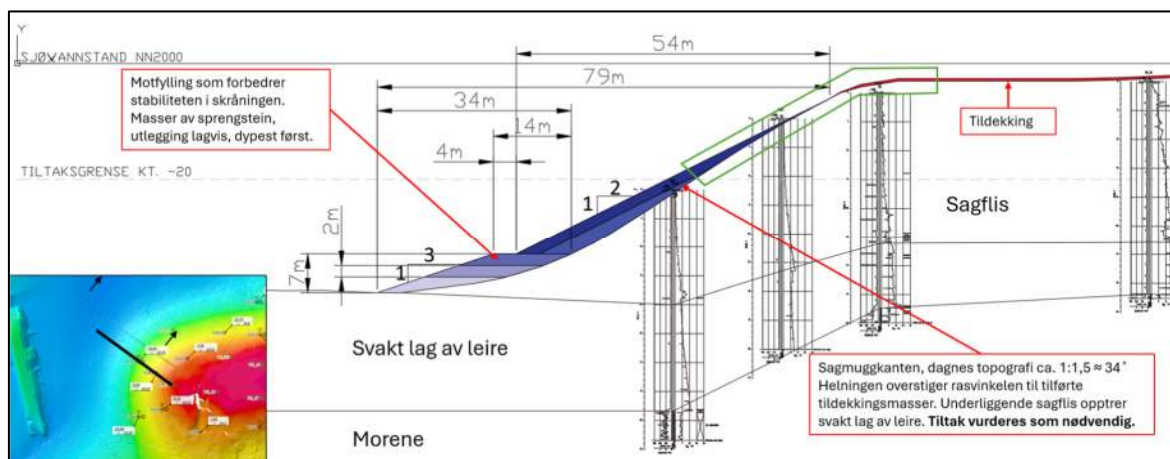
Det aktuelle partiet ved Sagmuggkanten er ellers karakterisert med lav overflatestabilitet og overflateutglidninger av nyere alder, samt generelt lav sikkerhet mot brudd i bløt leire underliggende sagflisen. Videre er området i høy grad forurensset og det er dermed svært ønskelig å tilstrebe en gjennomførbar løsning for tildekking også i dette partiet.



Figur 5-5: Bratt parti ved Sagmuggkanten, sjøbunnstopografi er brattere enn tilførte massers naturlige rasvinkel. Blå stiplet linje viser avgrensning for ustabile masser, som definert i tiltaksplanen [1]. Nyere utglidning her antas å ha sammenheng med erosjon fra elveutløp.

Dagens sikkerhet i skråningen er lav, ikke langt fra 1,0 (Kap. 6.4). For å tildekke i området tilknyttet Sagmuggkanten, vurderes det at det er det nødvendige med stabiliserende tiltak samt å tilse at tildekkingslag forblir intakt i bratt sjøbunnsterreng.

Et mulig tiltak kan være å etablere en motfylling (Figur 5-6). Dette vil i så fall innebære arbeid godt utenfor planlagt tiltaksgrense ved kote -20 og det må forventes oppvirvling av forurensede sjøbunnsedimenter i anleggsfasen. Etter endt utleggingsarbeid, vil en motfylling kunne fungere som innkapsling av underliggende forurensede masser og som erosjonssikring. Et annet alternativ kan være å benytte betong- eller gabionmadrass i øvre del av skråningstopp, ned til og med tiltaksgrensen ved kote -20. Det vil likevel kreves motfylling i skråningsbunn, men da med noe reduserte mengder. Det bemerkes at en madrassløsning vil kreve mer komplisert anleggsvirksomhet. Påfølgende drøftes de ulike løsningsalternativene i Kap. 5.10.1 og 5.10.2.



Figur 5-6: Prinsipsnitt gradvis oppbygd motfylling fra i bunnen ved Sagmuggkanten og opp til skråningstopp. Noe simplifisert lagdeling i undergrunnen. Foreslått geometri motfylling er etterprøvd med beregninger kun i endelig fase, se eget delkapittel. Optimaliseringspotensiale kan foreligge med tanke på motfyllingens geometri sett i sammenheng med poretrykkutligning mellom ulike faser. Grønn markering: alternativ løsning kan være å dekke skråningstopp med betong- eller gabbionmadrass, dette vil kunne kreve noe mindre fyllmasser i selve skråningsbunnen, men metode er lite utprøvd.

5.10.1 Motfylling langs hele skråningen

Etablering av motfylling for å sikre skråningen er en vel utprøvd metode, sammenlignet med en madrassløsning. Bakdel er at dette vil kreve relativt store mengder tilførte masser. Man må også påregne arbeid på dypt vann samt oppvirvling av forurensede sedimenter tilknyttet anleggsperioden. Tilført sprengstein vil kunne fungere som både innkapsling av underliggende forurensede masser og erosjonssikring i permanent situasjon. Det er usikkerheter knyttet til grunnforhold i skråningsbunn foran Sagmuggkanten, hvor det var for dypt for eventuelle grunnboringer fra flåte. Det kan forventes at massene her vil la seg deformere ved belastning fra en eventuell motfylling. Det må påregnes at en del av tilførte sprengsteinsmasser vil kunne trenge et stykke ned i sjøbunnen. Nøyaktige mengder tilført sprengstein kan derfor bli utfordrende å angi nøyaktig. Det finnes en eksisterende ledning i området som ikke kan forventes å bevares.

Kostnader vil avhenge av Byggherres tilgang på overskuddsmasser fra andre lokale prosjekter, for eksempel fra nærliggende tunneldriving eller annet sprengningsarbeid. Transportavstander vil også være styrende for kostnader samt CO₂-avtrykk. Løsningen vil innebære setninger i sjøbunnen. For innledende anslag av omfang og forløp, se Kap. 7.

Det gjøres oppmerksom på at valg av slik løsning må detaljprosjektertes og det vil måtte stilles strenge krav gradvis utlegging i anleggsarbeidet. Motfyllingens utbredelse i plan er begrenset av restriksjoner rundt skipet Nordvard. Hvert lag med fyllmasser må ligge urørt i lengre perioder, opptil flere uker, mulig lengre, før neste lag kan etableres. Framdrift vil måtte styres av poretrykksforhold i underliggende svakt leirlag. Det må regnes med at utfyllingsarbeider vil påvirke tilkomst for skipstrafikken i området under utførelse.

5.10.2 Betong- eller gabionmadrasser i kombinasjon med motfylling

Man kan vurdere å anvende betongmadrasser eller gabionmadrasser innenfor tiltaksgrensen (kote -20) for den bratteste sjøbunnstopografien ettersom dette vil kunne begrense behov for tilført sprengstein noe samt mulig begrense anleggsperioden noe. Motfylling i skråningbunn vil likevel bli nødvendig for å oppnå tilstrekkelig sikkerhet mot brudd i Sagmuggkanten (Figur 5-7).

6 Stabilitetsberegninger

6.1 Metode

Stabilitetsberegninger er utført med GeoSuite Stability versjon 5.0. Sirkulære og sammensatte bruddsirkler er undersøkt, både med total- og effektivspenningsanalyse. Beregningsmetode for sirkulære bruddflater er anvendt med beregningsmetode BEAST 2003. Søk av kritisk bruddflate for sammensatte brudd er utført ved å benytte OPTIMIZE funksjonen sammen med PLANE.

6.2 Geometri

Geometri for beregningssnitt er uthentet med utgangspunkt i grunnforholdsmodell. Tilpasninger er gjort i overgang fra sjø til land hvor det opptrer konstruksjoner i strandsonen som ikke fanges direkte opp i modellen. Lagdeling er tolket og angitt fra resultater i borpunkt og laboratorieanalyser, områder uten grunnboringer er opptegnet til dels med bakgrunn i seismikk.

Svært tynne lag eller jordarter med lokale variasjoner er generaliserte der hvor slik generalisering ikke gir kritisk utslag i beregninger.

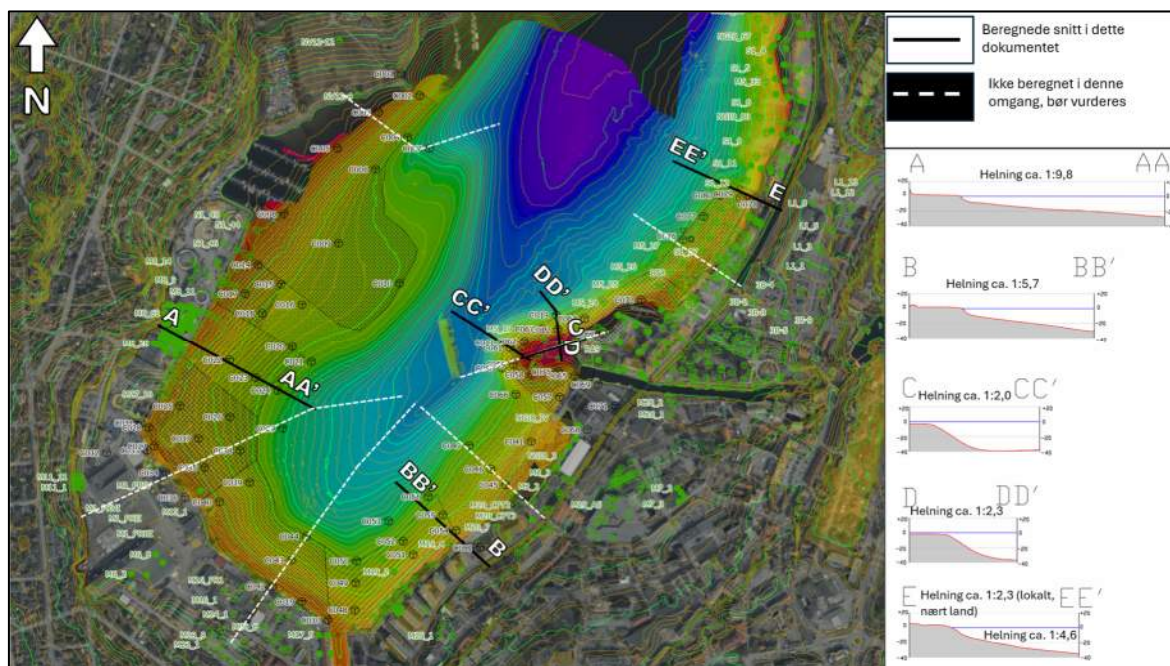
Det er usikkerhet knyttet til overgang fra sagflismasser til stedlige masser (ved skråningsfot) fordi området er dypere enn praktisk tilgjengelige dybder for boring fra flåte. Spor av sagflis i øvre topplag er i varierende grad til stede i majoriteten av borpunktene, også for borpunkt utenfor Sagmuggkanten, i vestlig og sørlig del av sundet.

Snitt er lokalisert vinkelrett på konturlinjer, enkelte snitt er opptegnet med knekkpunkt for å fremstille mest mulig relevant topografi jf. konturlinjene.

6.3 Kritiske snitt

Kritiske snitt er valgt med bakgrunn i både topografi og lokale variasjoner i grunnforhold (Figur 6-1). Sjøbunnstopografien har relativt store lokale variasjoner og det samme gjelder til dels for grunnforhold og lagdeling. Utvalget i denne leveransen er begrenset til totalt 5 snitt for beregning. Det er i tillegg identifisert ytterligere 6 snitt som bør vurderes og i det minste kontrolleres for tilstrekkelig stabilitet i senere fase.

Kritiske snitt i denne leveransen er altså en del av en innledende vurdering av stabilitetsforhold og dermed ikke utfyllende for alle tilfeller av ulik topografi og variasjon i grunnforhold.



Figur 6-1: Snitt for stabilitetsberegninger (svarte linjer). Hvite linjer indikerer snitt som også bør inngå i vurderingsgrunnlag.

6.4 Resultater

Fullstendige resultater er samlet i lesbart tegningsformat i Vedlegg 1. Relevante resultater er kun kort oppsummert i tabellform her (Tabell 6-1). Ikke forverring er lagt til grunn for krav til sikkerhet (K2-tiltak).

Tabell 6-1: Oppsummering resultater, oppgitte sikkerhetsfaktorer referer til laveste oppnådde verdi. Krav til sikkerhet er angitt med trafikklys.

Snitt	Effektiv-spenning	Total-spenning	Krav til sikkerhet	Merknad
A-AA Dagens situasjon	4.50	3.68	-	Stabilitet i dette snittet er god, og har en sammenheng med at spuntkonstruksjon i overgang sjø-land hindrer et eventuelt brudd fra å strekke seg lengre bakover inn mot land.
A-AA Endelig situasjon	4.36	3.35	OK	Krav til sikkerhet tilfredsstilt, $F_{cu} \geq 1,40 \cdot f_s$ og $F_{c\phi} \geq 1,25$.
B-BB Dagens situasjon	1.24	1.06	-	Stabiliteten i dette snittet er lav, spesielt i udrenert tilfelle.
B-BB Endelig situasjon	1.25	1.06	OK	Tiltaket påvirker ikke stabiliteten.
C-CC Dagens situasjon	1,01/1,48	1,01	-	Effektivspenning 1,01: overflateutglidning. Totalspenning 1,01: bruddsirkel i underliggende leirlag. Sikkerhetsnivå tilnærmet 1 kan være noe konservativt, men overflateutglidninger er dokumentert i nyere tid i skråningen.

C-CC Endelig situasjon motfylling	1,67	1,18	OK	Effektivspenning 1,67: brudd i motfylling, større bruddsirkler gir høyere sikkerhet enn 1,67. Totalspenning 1,18: Krav til ikke forverring innfridd. Totalspenninger for sammensatte bruddsirkler som strekker seg inn mot land, viser høyere sikkerhet (1,28 til 1,37).
C-CC Endelig situasjon motfylling og madrass kombinasjon	1,72	1,20	OK	Totalspenning: Marginal endring sammenlignet med løsningsvalg uten madrass (1,20 vs. 1,18).
D-DD Dagens situasjon	1,07/1,50	1,10	-	Effektivspenning 1,07: overflateutglidning. Effektivspenning 1,50: bruddsirkel i underliggende leirlag. Totalspenning 1,10: bruddsirkel i underliggende leirlag.
D-DD Endelig situasjon	1,47/1,68	1,15	OK	Effektivspenning 1,47: bruddsirkel i motfylling, større bruddsirkler gir høyere grad av sikkerhet enn 1,47. Totalspenning 1,15: Krav til ikke forverring innfridd.
E-EE Dagens situasjon	1,23	1,02	-	Lav sikkerhet mot brudd i dagens situasjon.
E-EE Endelig situasjon	1,23	1,02	OK	Tiltaket påvirker ikke stabiliteten.

6.4.1 Bemerkning resultater i snitt A-AA

I dette snittet foreligger det informasjon om at det er etablert en spunt i overgangen mellom land og sjø, som vist i Figur 3-1. Det er på bakgrunn av dette vurdert at det ikke vil være teoretisk mulig for et eventuelt brudd å strekke seg bakover mot land i dette snittet. Beregninger viser tilstrekkelig sikkerhet ved etablering av tiltak.

6.4.2 Bemerkning resultater i snitt B-BB

Det er lav sikkerhet i dagens situasjon. Beregningsnittet har noe usikkerhet knyttet til overgangen fra eldre fyllmasser på land til stedlige masser i sjø. Det er tidligere gjort undersøkelser av setninger som har oppstått utenfor boligblokkene som er bygget langs brygga i dette området. Det er i rapportene fra NGI ikke konkludert med årsaken til setningene, men det er mulig at det kan ha noe med grunnbrudd/dårlig stabilitet å gjøre, selv om det er usannsynlig. I området finnes det flere ulike sikringstiltak av skråningen. Enkelte områder har sandsekker som er plassert som erosjonssikring for overgangen mellom land og sjø under brygga, andre deler er plastret. Det opptrer stedvis spuntkonstruksjoner, men ikke hele partiet.

Tiltaket i form av tildekking, påvirker ikke skråningsstabiliteten i dette området.

6.4.3 Bemerkning resultater ved Sagmuggkanten (C-CC og D-DD)

For Sagmuggkanten er det lav sikkerhet mot overflateutglidning i dagens situasjon, dypere sirkler gir noe høyere sikkerhet på effektivspenningsbasis. Endelig situasjon med motfylling er beregnet kun for endelig fase, ved detaljprosjektering må alle faser inngå i beregning i tillegg til kontroll av brudd i selve motfyllingen. Videre må det stilles strenge krav til kontroll av geometri underveis ved fylling i sjø, det vil si gjentagende sjøbunnskanning og mulig dykkerarbeid. Større sammensatte bruddsirkler som strekker seg mot land, har vesentlig større sikkerhet enn de sirkulære bruddsirklene gjennom underliggende svakt lag av leire eller ved overflateutglidninger. Brudd i selve motfyllingen er ikke funnet som kritisk gitt oppbygning av motfylling med geometri som forespeilet her.

Oppnådd sikkerhet i endelig situasjon tilfredsstiller minimumskrav om ikke forverring. Det bemerkes likevel at oppnådd sikkerhet er betydelig under $1,25/1,40 \cdot f_s$. Det er i beregningene ikke hensyntatt at poretrykk skal utlignes før nytt lag med utfylling kan startes på. Ved dokumentert poretrykksutligning vil man kunne forvente at sikkerhetsfaktor for totalspenningsanalyse i midlertidig og endelig situasjon vil økes over oppnådde sikkerheter i Tabell 6-1. Det forutsettes forsiktig og lagvis utlegging på stabil grunn samt hyppig kontroll av geometri og poretrykk underveis i utfyllingsarbeid.

Tildekking i form av kun tradisjonelle tildekkingsmasser ved Sagmuggkanten kan ikke forventes å bli liggende i skråningen permanent på grunn av den bratte sjøbunnstopografien. Overflatestabilitet er i tillegg anstrengt i dagens situasjon i skråningen. Stabiliserende tiltak anses som nødvendig for å dekke til ved Sagmuggkanten. Stabilitetsberegninger viser marginale forskjeller i oppnådd sikkerhet om man sammenligner tiltak i form av kun motfylling eller en kombinasjon av motfylling og madrassløsning.

6.4.4 Bemerkning resultater nordøst (E-EE)

Dagens situasjon har lav sikkerhet. Beregningssnittet er karakterisert med usikkerheter knyttet til overgangen fra eldre fyllmasser på land til stedlige masser i sjø. Det kan forventes noe konsolidering og økt skjærstyrke av leiren under fyllmassene. Bruddsirkler i selve fyllingen er ikke representerte ettersom usikkerheten i lagdeling her er såpass stor at det vurderes at beregninger av mindre bruddsirkler ikke vil gi ytterligere kvalitet til resultatene. Området i sjø er tidligere vurdert av Sweco og anbefalt sikret ved foreslått grunnforsterkning og terrengavlastning [4] i forbindelse med etablering av et K4-tiltak på land.

Beregninger viser at tiltaket i form av tildekking, ikke direkte påvirker stabiliteten. Med bakgrunn i foreliggende usikkerheter og lav sikkerhet i dagens situasjon, anbefales det at tildekking av forurensede sjøbunnsedimenter bør fortrinnsvis utføres etter stabiliserende tiltak er utført i sjø, ikke før.

7 Setninger

Øvre sjøbunnsedimenter og sagflis består av betydelige mengder, eller fullstendig av, organisk materiale. Det forventes at disse massene innehar betydelig potensiale for deformasjon ved belastning.

Tidligere utbygging og fyllingsarbeid ved Rabben har resultert i store deformasjoner i grunnen. Videre er det kjent at det pågår større deformasjoner ved Sundbrygga. Det samme gjelder for utbyggingsprosjekter i andre områder med tilsvarende grunnforhold som i Mossesundet, for eksempel i Halden hvor sagflis er avsatt i sjø via elva Tista. Sagflisen er høyelastisk, spesielt i neddykket tilstand. Bidraget på totalsetninger fra sekundærsetninger er større enn ved mineralske jordarter, men kan forventes å være lavere enn om man sammenligner med torv [19].

Sagmuggkanten er lokalisert i sjø, og er et godt stykke fra land med noen form for direktefundamenterte bygg/andre konstruksjoner som kan bli utsatt for påvirkning. Setninger i sjøen ved Sagmuggkanten vil bli relativt store ved belastning, men anses som ikke direkte relevant for konstruksjoner på land. Utfyllingsarbeider, både for eventuell motfylling, men også for utlegging av tildekkingslag samt erosjonssikring, må utføres lagvis, fra bunnen først og massene bør få tid til å konsolidere før neste lag påføres.

Det opptrer flere ledninger i sjøen hvor det kan forventes at øvre topplag består av gytje/sjøbunnsedimenter. Gytjen har tilsvarende som sagflisen, potensiale for relativt store setninger ved belastning. Toleranser for disse ledningene bør avklares før eventuell tildekking i samråd med RIVA.

Det er ikke utført avanserte beregninger av setninger i forbindelse med denne leveransen, dette bør redegjøres for i en eventuell detaljprosjektfase når omfang, type utfyllingsarbeider og tykkelser på utfylling er mer avklart. Det kan som et grovt utgangspunkt medregnes et anslag av setninger i størrelsesorden om lag tilsvarende minimum tykkelsen på tilførte tildekkingsmasser. Setninger ved en eventuell motfylling må påregnes som betydelige, men disse vil påløpe langt fra land.

8 Utleggingsplan

8.1 Utlegging av tildekkingsmasser

Utlegging bør utføres skånsomt, stegvis og fra dypeste parti først. Det bør videre anvendes en utleggingsmetode for tildekkingsmasser som tilrettelegger for relativt stor grad av nøyaktighet og minimalt med oppvirvling. Videre må man tilse at valg av utstyr for utlegging tilrettelegger for at hele tiltaksområdet nåes. Et eksempel fra Boston AS (eller tilsvarende) vises i Figur 8-1, erfaringer fra Renere Havn Bergen er svært gode ettersom metoden er skånsom og kan utføres med høy grad av nøyaktighet.



Figur 8-1: Utklipp eksempel eget utstyr for tildekking, her hentet fra Boston AS [28].

Det foreslåes å dekke til kun 10-20 cm med tildekkingsmasser av gangen. Videre bør tildekt område få hvile lengst mulig mens man tildekker andre parti, for å tilse at massene får konsolidert i mellomtiden. Denne hvileperioden bør minimum spenne over noen uker. Tildekkingsarbeidet bør videre foregå i det dypeste partiet først, før man forsetter med å dekke til inn mot land. Dette for å unngå å forverre stabiliteten i sjøbunnen underveis i anleggsfasen.

8.2 Utlegging av eventuell motfylling

Det gis her en overordnet beskrivelse av utfyllingsarbeider for en eventuell motfylling i bunnen av Sagmuggkanten ettersom prosjektet er enda i tidlig fase, og endelige løsninger ikke enda er fullstendig satt. Dersom motfylling blir aktuelt, må detaljer for anleggsgjennomføring inngå i detaljprosjektering. Det må også påregnes oppfølgingsarbeider fra geoteknikk i anleggsperiode, blant annet med overvåkning av poretrykk i underliggende leirelag.

Utleggingsmetode bør være mest mulig skånsom, det vil si at utlegging bør foregå fra lekter, fortrinnsvis med gravemaskin med lang arm der hvor sjøvanndybder tillater det. Dypeste parti fylles først, det antas at fyllingstykkelser 2-3 m om gangen. Konsolideringstiden er kritisk og man må la forrige lag få hvile i en tidsperiode før man går videre til neste lag med utfylling. Konsolideringstid kan bli opptil flere uker per lag, enda lengre tid kan ikke utelukkes. Skråningshelninger og geometri må tilstrebes å etableres slik som forutsatt i detaljprosjektering. Geometri kontrolleres hyppig med nivåkontroll, dykkerarbeid må påregnes. Det bør installeres utstyr i flere punkt for overvåkning av poretrykk i anleggsperiode, framdrift av arbeidene vil videre være styrt av resultater fra disse målingene.

Fyllingsvolumer anbefales å oppjusteres fra modellerte mengder ettersom det kan forventes en del setninger og nedtrenging i sjøbunnen.

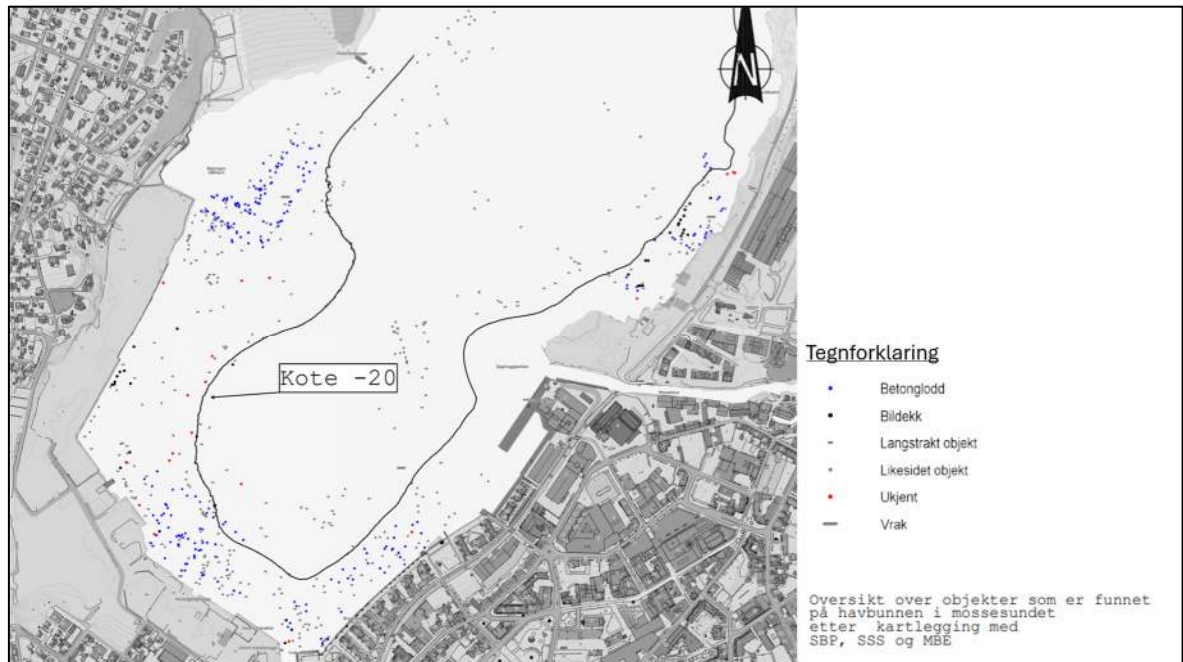
Foreslått geometri motfylling er kun angitt som innledende vurderinger, det vil si at det kan foreligge optimaliseringsmuligheter.

Det kan forventes at prosjektet vil bli pålagt strenge krav om overvåkning av forurensede sedimenter og oppvirvling. Det antas at det må etableres tiltak for å unngå spredning av sedimenter ved utfylling, eksempelvis siltgardin eller andre avbøtende tiltak, i samråd med miljørådgiver.

På grunn av den forventede oppvirvlingen som etablering av motfylling vil medføre, bør motfylling optimalt ferdigstilles før man setter i gang med tildekking av de forurensede sjøbunnsedimentene ellers i sundet. Ved behov for utleggingsmetode som er mer skånsom enn dumping fra lekter, kan man eventuelt vurdere å velge utfylling ved hjelp av transportbånd, strømpe eller rør.

9 Objekter på sjøbunnen

Det ble sluppet betydelige mengder bomber over Mossesundet i forbindelse med senkning av Nordvard i 1944 [1]. Veseth AS har utført identifikasjon av objekter på sjøbunnen. Det foreligger indikasjoner på at det opptrer eksplosiver på sjøbunnen og at disse med høy sannsynlighet kan være udetonerte [1]. Omfanget objekter på sjøbunnen er stort (Figur 9-1) og objektene er hyppig konsentrert i sjøbunnstopografiens skråningsfot og i nærheten av Nordvard.



Figur 9-1: Utklipp fra plantegning utarbeidet av Veseth i 2024 [6] med magnetiske anomalier i området. Mulige eksplosiver er markert med grå. Det henvises til Veseths rapport for fullstendig oversikt over enkeltobjekter.

Veseth oppsummerer i sin rapport om magnetiske anomalier i sundet [6]:

«Magnetiske anomalier kan gi indikasjoner på menneskeskapte objekter, som for eksempel UXO eller annet skrot.»

Videre fremkommer det at:

«UXO står for «Unexploded Ordnance» eller ueksploderte eksplosiver på norsk. Dette referer til eksplosive krigsmidler som bomber, granater, miner og ammunisjon som ikke har detonert som tiltenkt eller at de ble brukt eller kastet. UXO kan være ekstremt farlige da de fortsatt inneholder eksplosivt materiale og kan detonere ved håndtering, bevegelse eller forstyrrelser over tid.»

Dersom udetonerte eksplosiver er til stede i skråningsfot og dette detonerer, er dette høyst uheldig for skråningsstabiliteten. Det må forventes stor fare for brudd i skråning, av pr. nå ukjent utstrekning og omfang. Tildekking av sjøbunnen både i form av tynt lag med tildekkingsmasser, men i aller høyeste grad av en motfylling, representerer tilleggslast på grunnen. Hvor stor last slike objekter tåler og om de tåler last i det hele tatt, er uklart.

Dette må avklares med personell med korrekt faglig kompetanse før man setter i gang med noen form for tiltak i sundet. Beskrivelser i dette dokumentet forutsetter at UXO er ivarettatt.

10 Konklusjon og videre arbeid

Denne innledende vurderingen viser at tildekking er teoretisk gjennomførbart, men stedvis kostbart og tidkrevende. Spesielt tildekking ved Sagmuggkanten og det nordøstlige området er teknisk utfordrende å gjennomføre ettersom det er dårlig overflate- og globalstabilitet i området. Den anstrengte stabiliteten i dagens situasjon, sett i sammenheng med praktiske begrensninger for tildekking i svært bratt sjøbunnstopografi, tilsier at det må utføres stabiliserende tiltak i sundet. Et slikt tiltak vil kortsiktig øke forurensningen i anleggsfasen. Det vil også medgå store mengder tilførte sprengsteinsmasser og det må forventes konflikt med skipstrafikken under utførelse. Det er formidlet et sterkt ønske i prosjektet om å tilstrebe å dekke til også ved Sagmuggkanten ettersom dette partiet har høy grad av forurensning. Det presenteres dermed to ulike løsninger for dette partiet, en større motfylling eller eventuelt motfylling i kombinasjon med betongmadrass i skråningstopp. Sistnevnte alternativ er til dels uprøvd metodikk (på slik bratt sjøbunn) og må anses som et pilotprosjekt, i alle fall i Norge. En madrassløsning vil kunne spare noe tilført sprengstein, men det må planlegges og prosjekteres i tett samråd med Entreprenør. Løsningen må også sørge for å kunne la grunn gass transporteres fritt slik at man ikke får uønsket oppdrift i madrassen eller andre uønskede effekter. Løsningsforslagene i dette dokumentet bør veies opp mot kost/nytte. Et siste alternativ er å la sedimentene ved Sagmuggkanten stå igjen utildekket.

I tiltaksområdets nordøstlige del er det allerede foreslått grunnforsterkning i tillegg til terrengavlastning i forbindelse med etablering av K4-tiltak på land. Dersom dette blir gjennomført, bør tildekking av forurensede sjøbunnsedimenter utføres i etterkant av slik forsterkning, ikke før. Dette med bakgrunn i lav sikkerhet mot brudd, men også at tildekkingslaget ikke kan forventes å bevares under anleggsarbeid knyttet til grunnforsterkningen.

Det anses gjennomførbart å tildekke innenfor planlagt tiltaksområde med tilstrekkelig krav til sikkerhet som innebærer ikke forverring av dagens situasjon. Det bemerkes at denne vurderingen er utført på et begrenset antall beregningssnitt.

Topografien er svært varierende i Mossesundet, grunnforhold varierer noe og strandsonen har ulike former for oppstøtningskonstruksjoner/peler/fyllinger/erosjonssikring. Besiktigelse av konstruksjonene tilrådes. Det vil kreve ytterligere stabilitetsberegninger i detaljprosjektering for å dokumentere at krav til sikkerhet er tilfredsstillt med et antall utvalgte beregninger som er tilstrekkelig for å være representative for alle forhold i sundet. Beregninger må også ta høyde for alle faser i tildekkingen, ikke bare endelig situasjon. Etablering av tiltaket vil kreve geoteknisk detaljprosjektering og oppfølging i anleggsfase. Utførelsen vil være tidkrevende og det må føres tett kontroll av arbeidene.

Det er usikkerhet knyttet til «objekter» på sjøbunnen som kan representere udetonerte eksplosiver fra andre verdenskrig. Om slike objekter kan tillates å belastes favner utenfor fagområdet geoteknikk. Potensiell detonasjon av eksplosiver i skråningsfot, gitt dagens anstrengte stabilitet i skråningene, er særdeles uheldig. Det kan altså knyttes stor risiko for uønskede hendelser i et slikt scenario. Om de aktuelle objektene tåler tiltaket, må avklares av personell med korrekt faglig kompetanse før man setter i gang med noen form til tiltak i sundet.

Eventuell fremtidig geoteknisk detaljprosjektering vil bli underlagt uavhengig kontroll. Uavhengig foretak engasjeres i regi av Byggherre.

Områdestabilitetsvurdering er ikke underlagt uavhengig kontroll for K2-tiltak etter NVE Veileder 1/2019 [18], men med tanke på tiltakets art, grunnforhold og objektene på sjøbunnen i kombinasjon med tettbygd sentrumskjerne og noe anstrengt stabilitet, vurderes det som mulig hensiktsmessig å at det utføres uavhengig 3. partskontroll i fremtidig detaljprosjekt. Eventuelt behov for dette bør vurderes av prosjekterende foretak i samråd med Byggherre når endelige løsningsvalg i prosjektet er kjent.

11 Referanser

- [1] COWI AS, «A244706-RAP001. Revisjon 04. Rent Mossesund - Tiltaksplan,» 2024.
- [2] COWI AS, «A289609-RAP-RIG-001. Datarapport geotekniske grunnundersøkelser Indre Mossesund,» 2024.
- [3] Multiconsult AS, «10253618-RIG-RAP-001. Sammenstillingsrapport for tidligere grunnundersøkelser.,» 2024.
- [4] Sweco Norge AS, «10227771 RIG_R01_A02. Datarapport. Grunnundersøkelser. Verket Brygge 2 Moss,» 2022.
- [5] COWI AS, «A289609-RAP-RIG-002. Følgeskriv grunnforholdsmodell. Geoteknisk grunnundersøkelse. Indre Mossesund,» 2025.
- [6] Veseth Survey & Inspection AS, «23-183 Kartlegging av Mossesundet,» 2024.
- [7] COWI AS, «A289609-RAP-RIG-001. Geoteknisk datarapport. Indre Mossesund,» 2025.
- [8] Kartverket, «Se Havnivå,» [Internett]. Available: <https://kartverket.no/til-sjos/se-havniva/resultat?id=245959&location=Mossesundet>. [Funnet 2024].
- [9] WSP, «40460-RIGm-003-20240614. Risikovurdering og tiltaksplan av forurenset grunn. Gamle Moss verft,» 2024.
- [10] COWI AS, «A109463-2021-03. Testtildekking av forurenset sjøbunn i Store Lugegårdsvann, Bergen kommune. Test av tildekkingsmetodikk og tildekkingsmasser. Fagrapport,» 2021.
- [11] COWI AS, «RAP-A243166-2023-03. Store Lungegårdsvann. Revidert geoteknisk vurdering av skråninger med tildekking av sjøbunn,» 2023.
- [12] NGI (Norges Geotekniske Institutt), «20170986-03-TN. Setninger langs strandpromenaden ved Sundbryggene i Moss kommune. Oppsummering av befaring 08.06.2018 og oppdatert vurdering,» 2018.
- [13] Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE), «Ekstern rapport 9/2020. Oversiktskartlegging og klassifisering av faregrad, konsekvens og risiko for kvikkleireskred,» 2020.
- [14] Norges Geologiske Undersøkelse, «Løsmasser - Nasjonal løsmassedatabase,» [Internett]. Available: https://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/. [Funnet 2024].
- [15] Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE), «NVE Temakart Kvikkleireskredfare,» [Internett]. Available: <https://temakart.nve.no/>. [Funnet 2024].
- [16] Norges Geotekniske Institutt (NGI), «20190539-11-R. Rev. 5. IC Dandbukta-Moss-Såstad. Vurdering av områdestabilitet og forslag til stabiliserende tiltak,» 2021.
- [17] SWECO AS, «10237063-RIG-R01-A04. Verket Moss BT3 - Områdestabilitetsvurdering,» 2024.
- [18] Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE), «Veileder 1/2019. Sikkerhet mot kvikkleireskred - Vurdering av områdestabilitet ved arealplanlegging og utbygging i områder med kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper,» 2020.
- [19] E. Bjertness og E. B. Sponås, «On the use of sawdust and wood chips in geotechnical engineering: Laboratory charavterization,» NTNU, 2021.
- [20] Norsk geoteknisk forening (NGF), «Melding nr. 11. Veiledning for prøvetakning,» 2013.
- [21] K. Karlsrud, T. Lunne, D. Kort og S. Strandvik, «CPTU correlations for clays,» Norsk geoteknisk institutt, 2005.
- [22] Norges vassdrags- og energidirektorat i et samarbeid med Statens vegvesen og Jernbaneverket, «NIFS Rapport 14/2014. En omforent anbefaling for bruk av anistropikatorer i prosjektering i norske leirer,» 2014.
- [23] Statens vegvesen, Håndbok N-V220 Geoteknikk i vegbygging, 2025.
- [24] S. V. Glass og S. L. Zelinka, «Moisture relations and physical properties of wood,» Unitet States Department of Agriculture - Forest service - Forest products laboratory, 2010.
- [25] J. Holme, L. Dokter, E. Eek, T. Jensen, T. Loken og G. Breedveld, «Material Behavior of Dredged Contaminated Sediments from Simple Laboratory and Oedometer Tests,» 2006.
- [26] Norges Geotekniske Institutt (NGI), «2012405-04-R. Pilottest tynntildekking Fagervika/Illsvika. Sluttrapport. Rev. nr. 2,» 2015.
- [27] Tecomatic Produktblad Betongmadrass, «www.tecomatic.com,» [Internett]. Available: <https://tecomatic.com/wp-content/uploads/2023/12/Betongmadrass-1.pdf>. [Funnet 2025].
- [28] Boston AS, «Tildekking av forurenset havnunn,» [Internett]. Available: <https://boston-as.no/tildekking-av-forurenset-havnunn/>. [Funnet 2024].

Vedlegg

Vedlegg 1

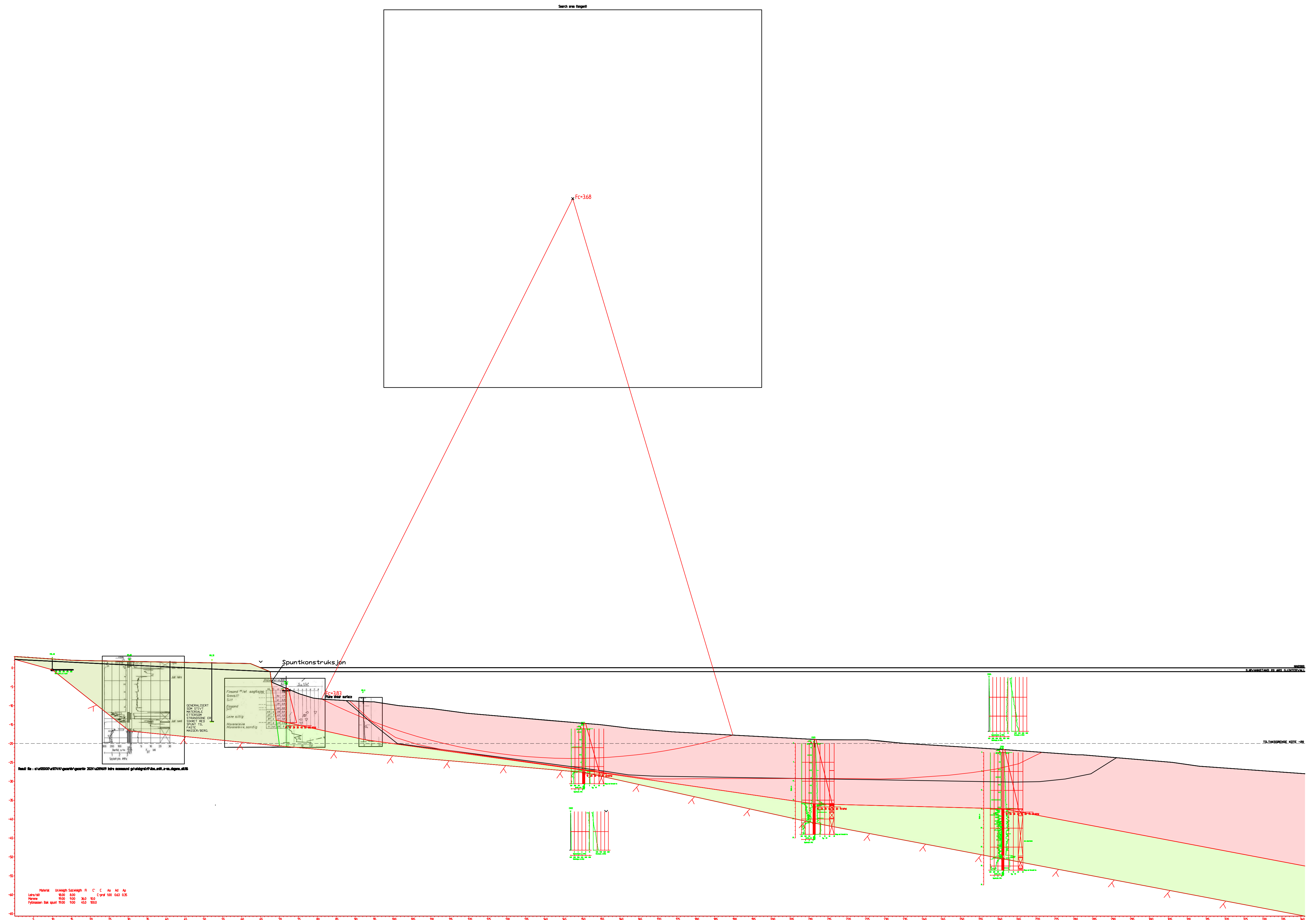
Vedlegg 2

Vedlegg 3

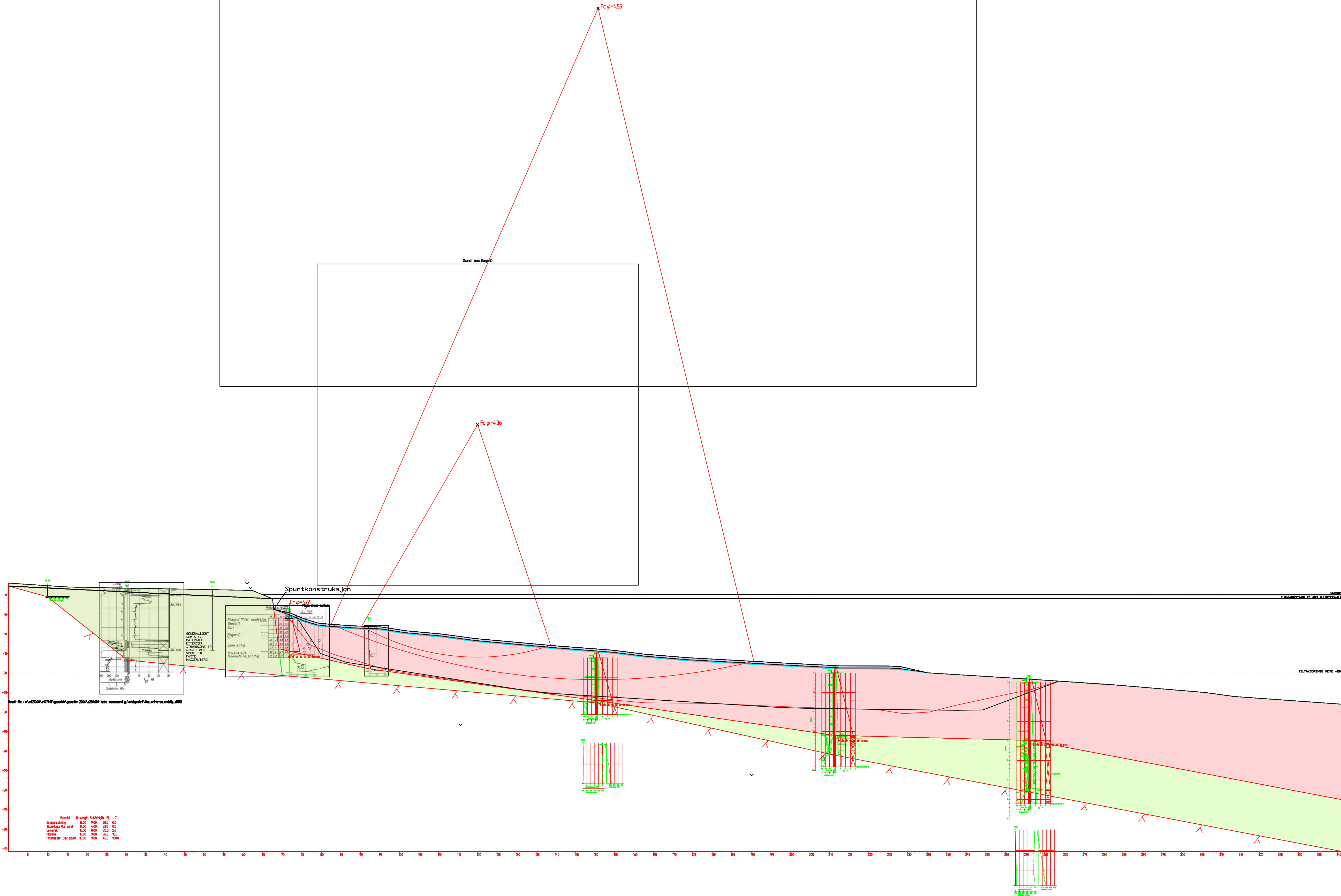
Stabilitetsberegninger

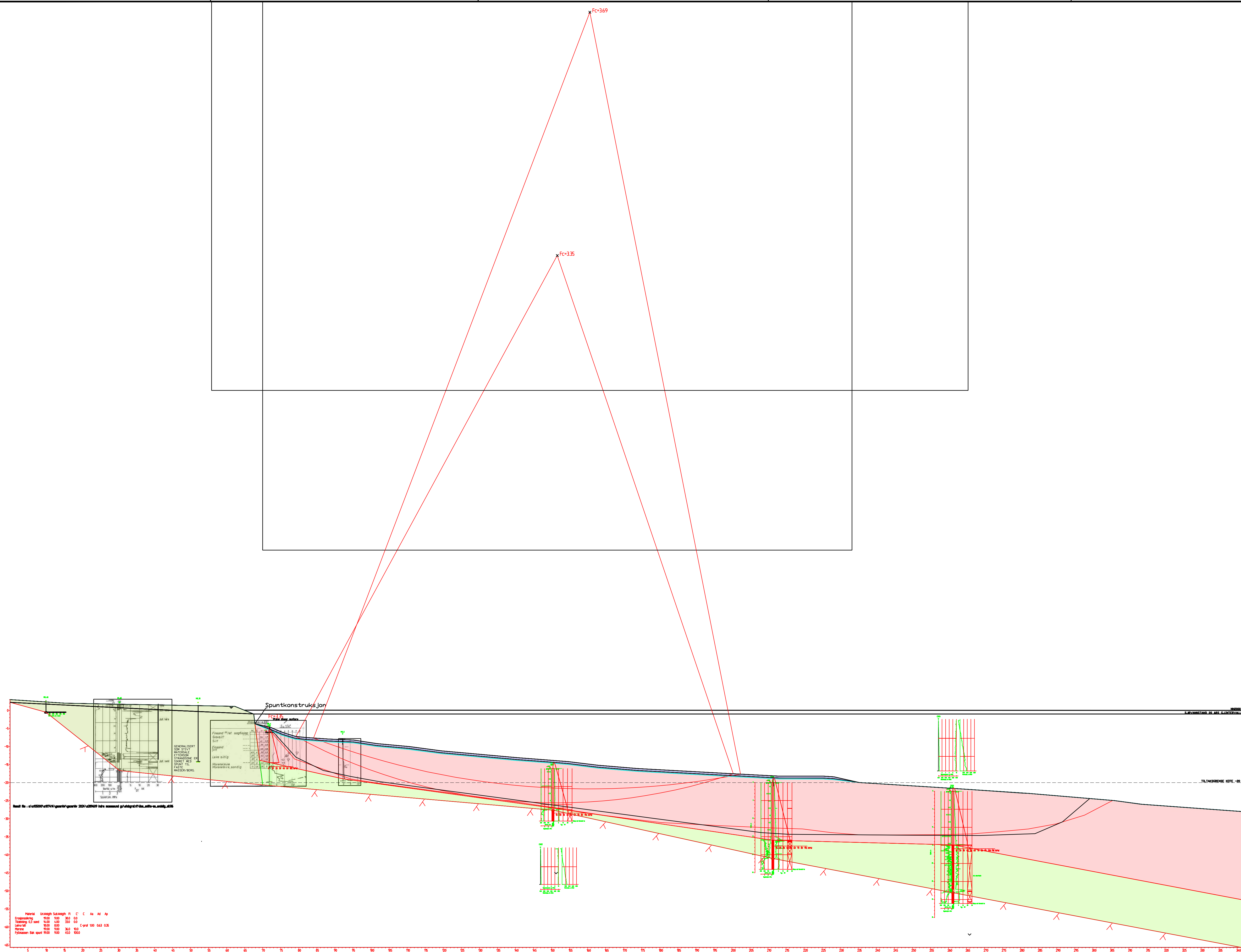
CPTU

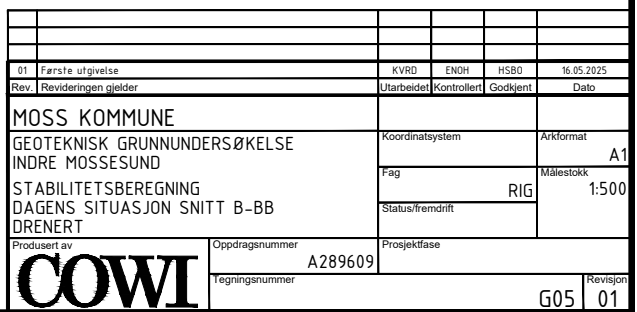
Sjøvannstand

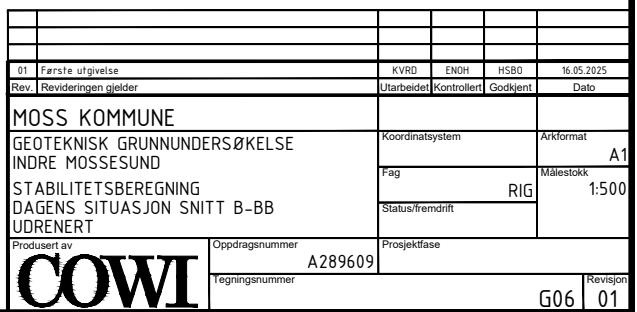


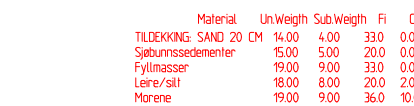
05. Færste vagnnr.		KVOG		KNOI		KNOI	
06. Færste vognnr. gælder		Kvartals		Kvartals		Kvartals	
		Start		End		Start	
MOSS KOMMUNE GEOTEKNISK GRUNNUNDERSØKELSE INDRE MOSSESUND STABILITÆTSBEREGNING DAGENS SITUSJON SNITT A-AA UDBERENT							
Prosjekt nr.		Oppdragsgiver		Prosjektleder		Hvervings	
COWI		A28960				G02 01	
Fagnummer						01	



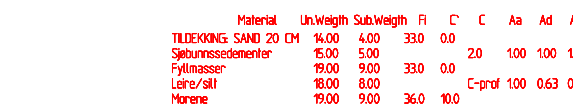
[illegible]



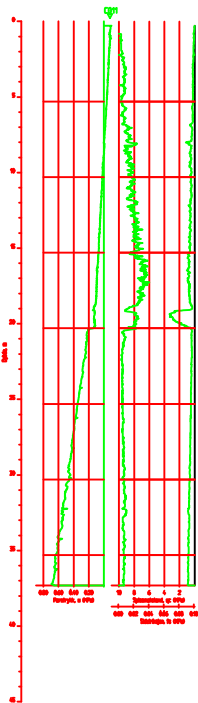




COWI	A289609		
	Tegningsturnummer	G03	Revision 01



COWI	A289609			
	Tegningsnummer		G08	Revisjon 01

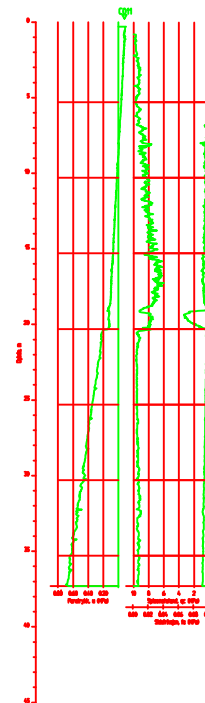


COWT

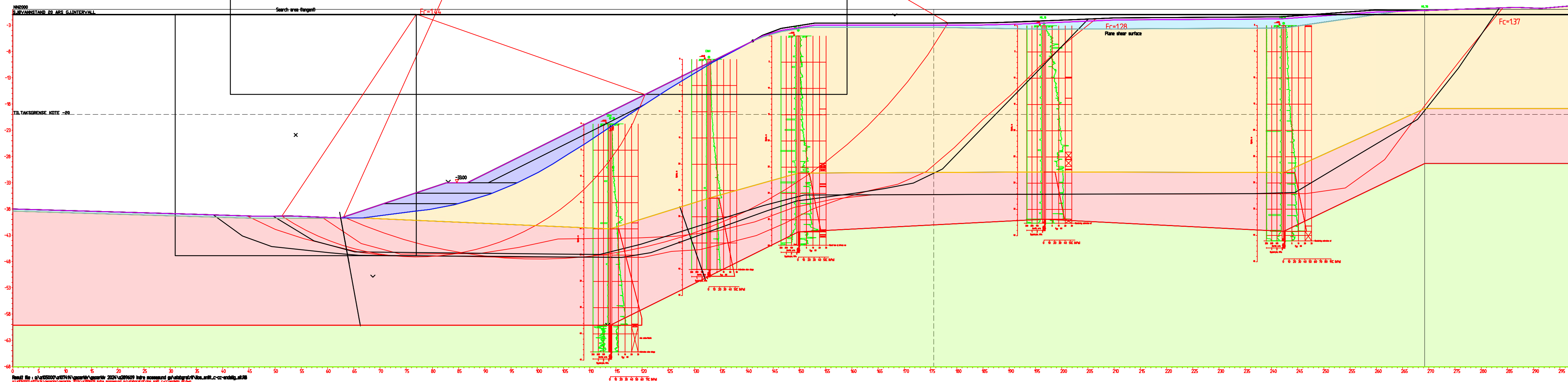


Material	UnWeigh	SubWeigh	FI	C	C	Ab	Ad	Ap
SUBUNNSEDIMENTER	15.00	5.00			2.0	100	100	100
SAGFLUS	13.00	3.00	32.0	0.0				
LEBRE	18.00	8.00			C-prof	100	0.66	0.38
MIDINF	19.00	9.00	35.0	10.0				

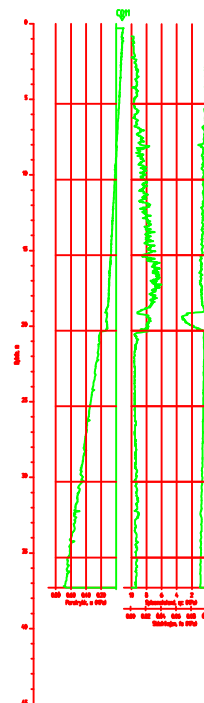
[illegible]



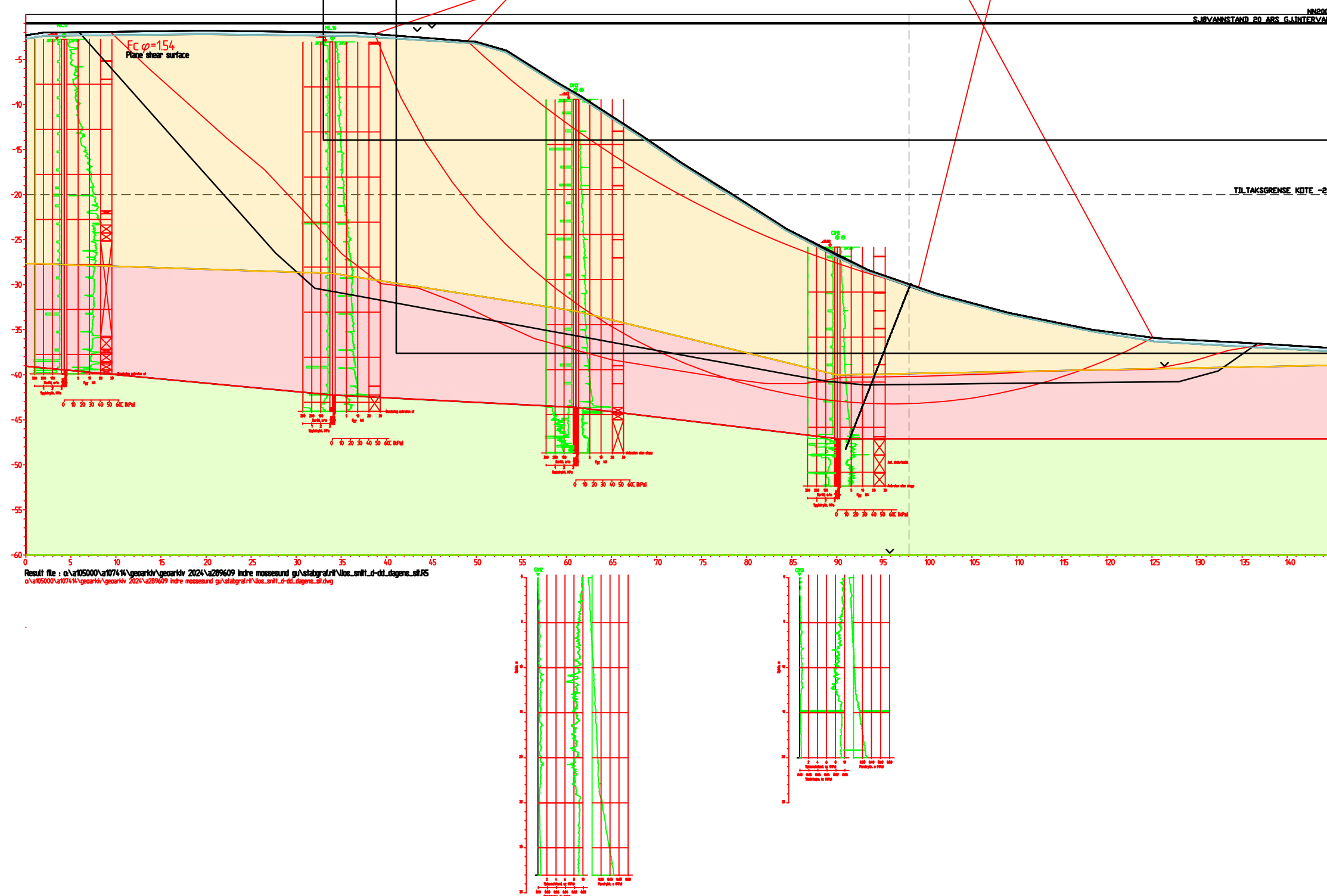
	A289609		
	Følgingsnummer	G003	01



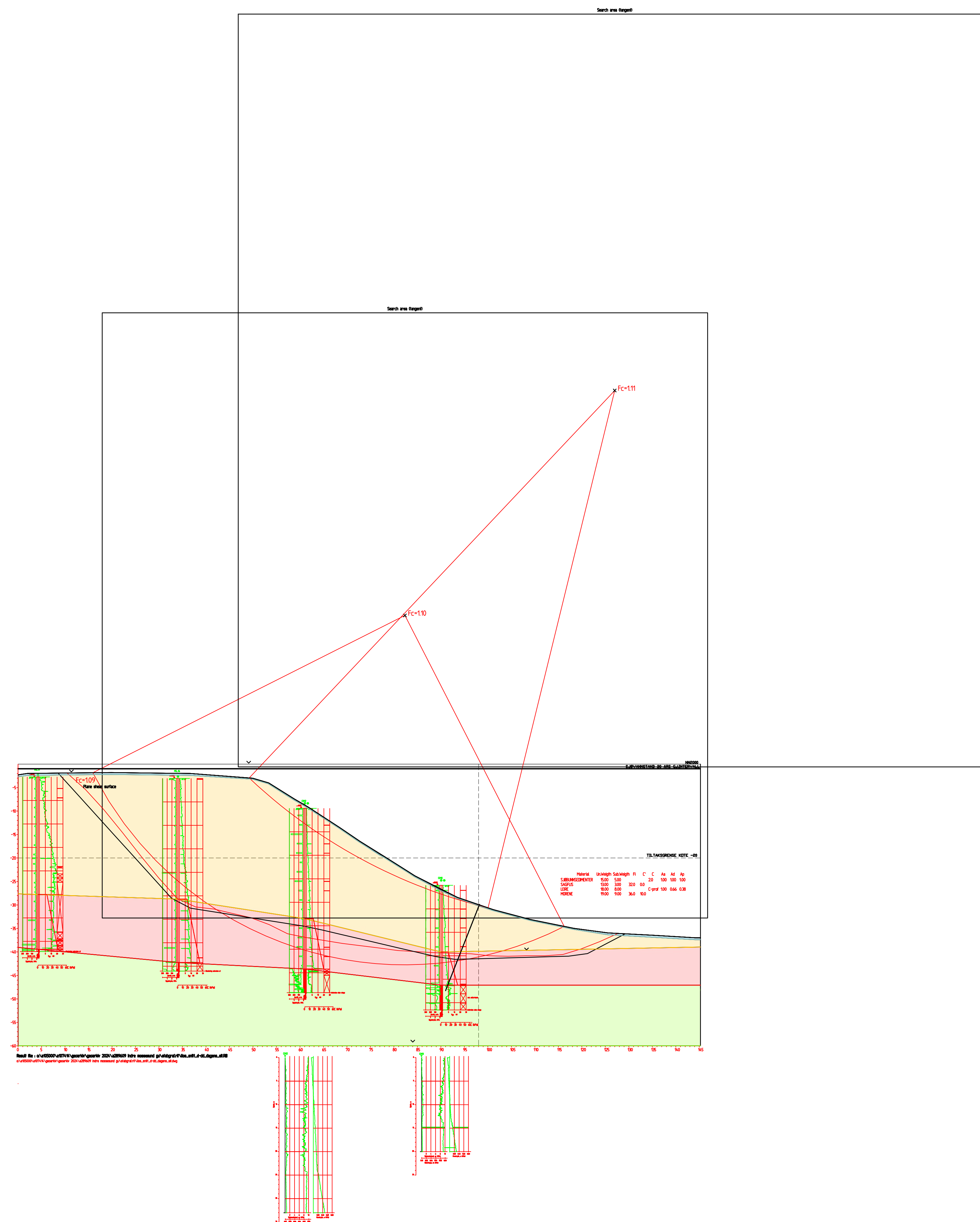
COW	A289609	
	Tegningsnummer	Revision
		G008 01

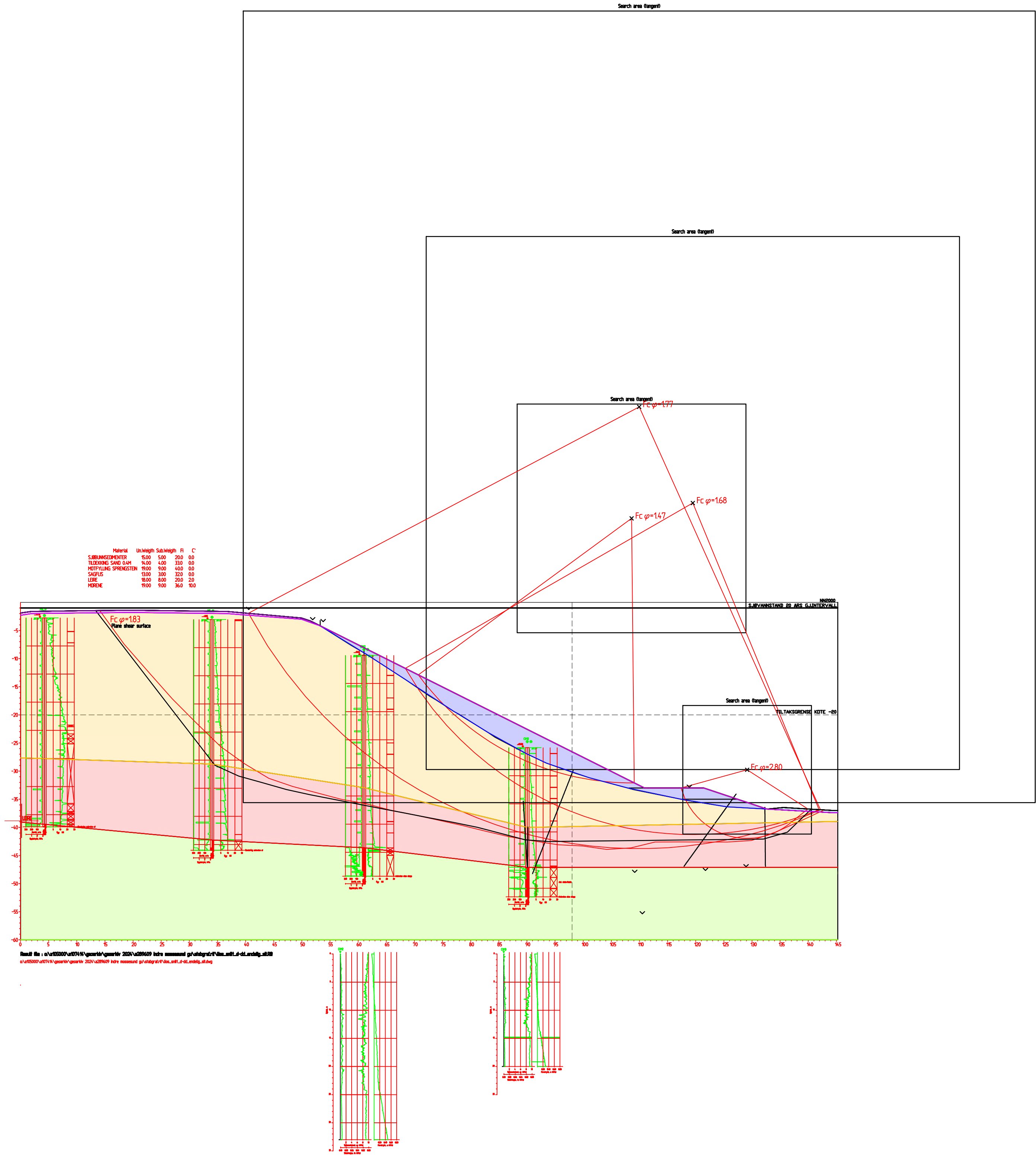


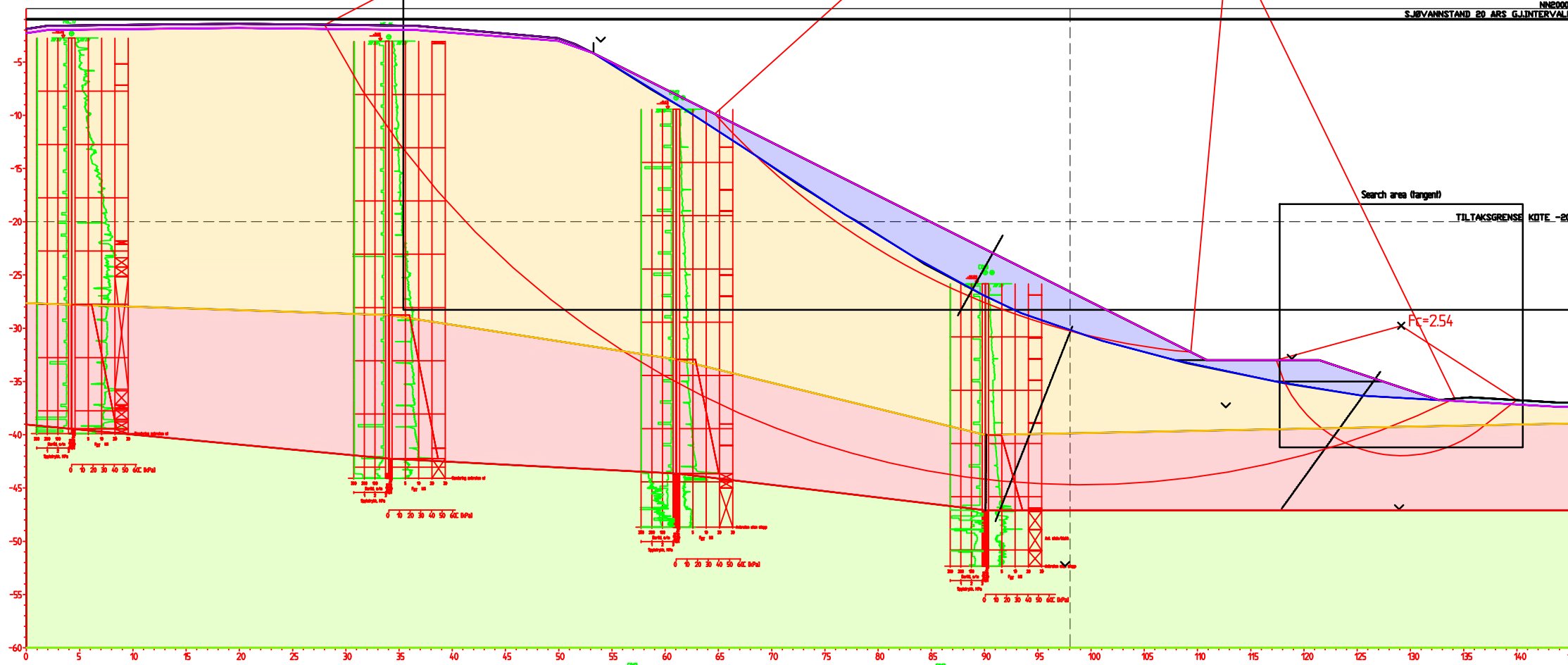
	A289609		
	Tegningsnummer	G009	Revisjon 01



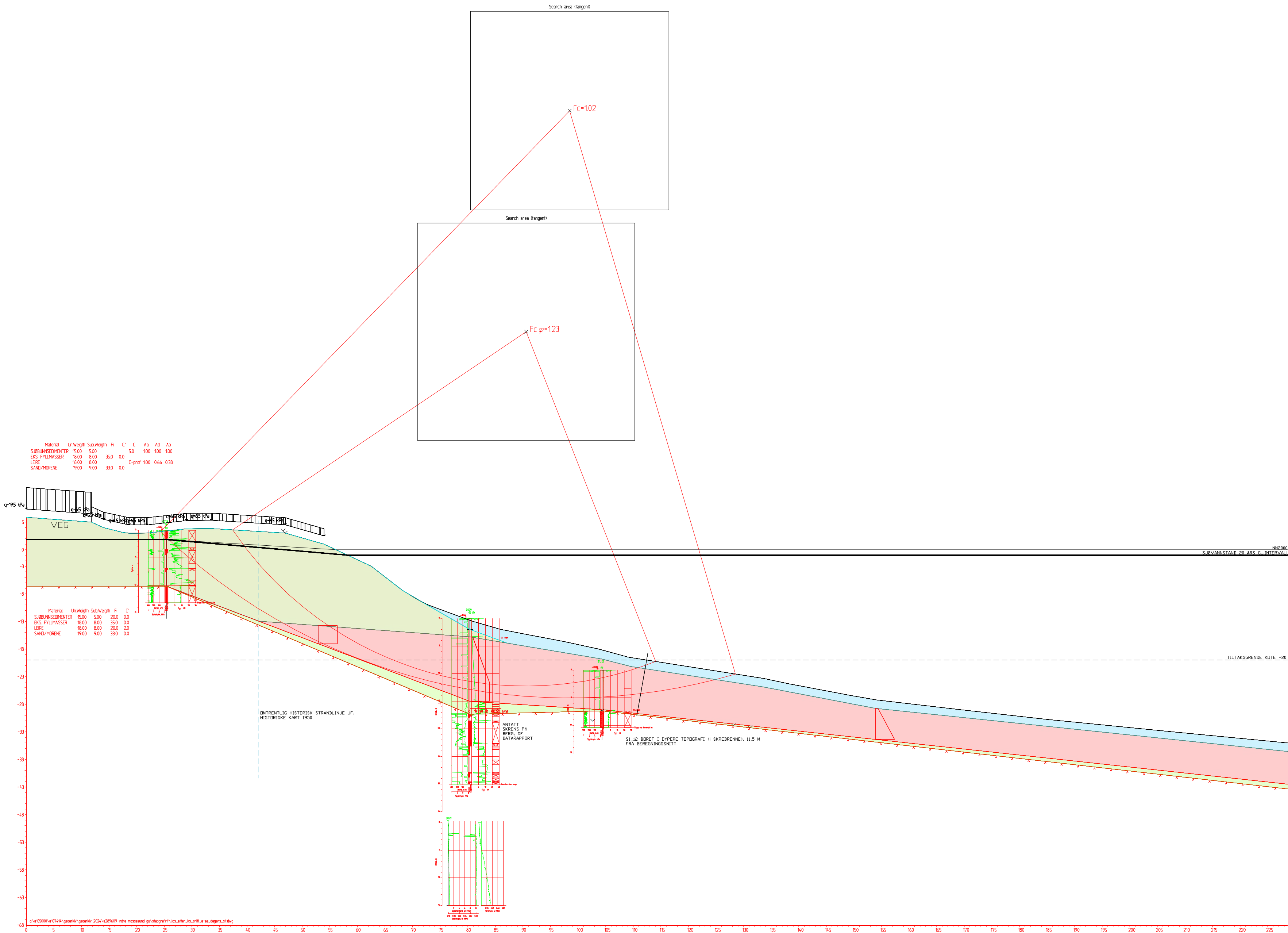
COWI	A289609	
	Tegningsnummer	Revision
	G010	01

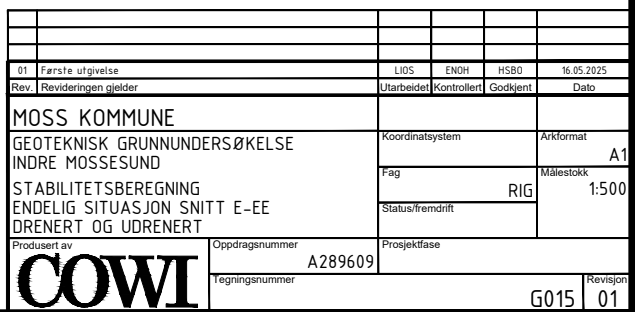
[illegible]



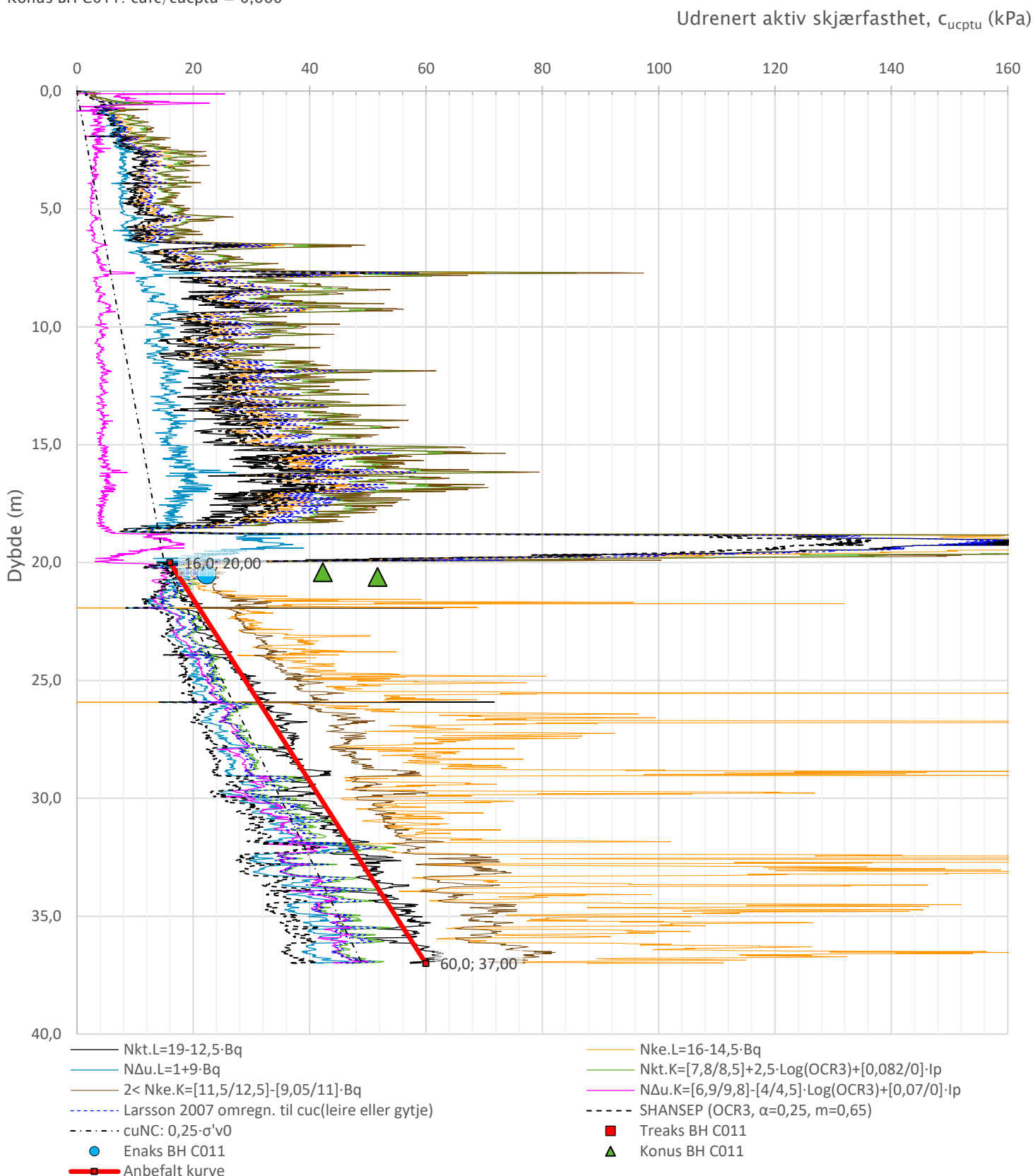


COWI	A289609	
	Tegningsnummer	Revision
		G013 01



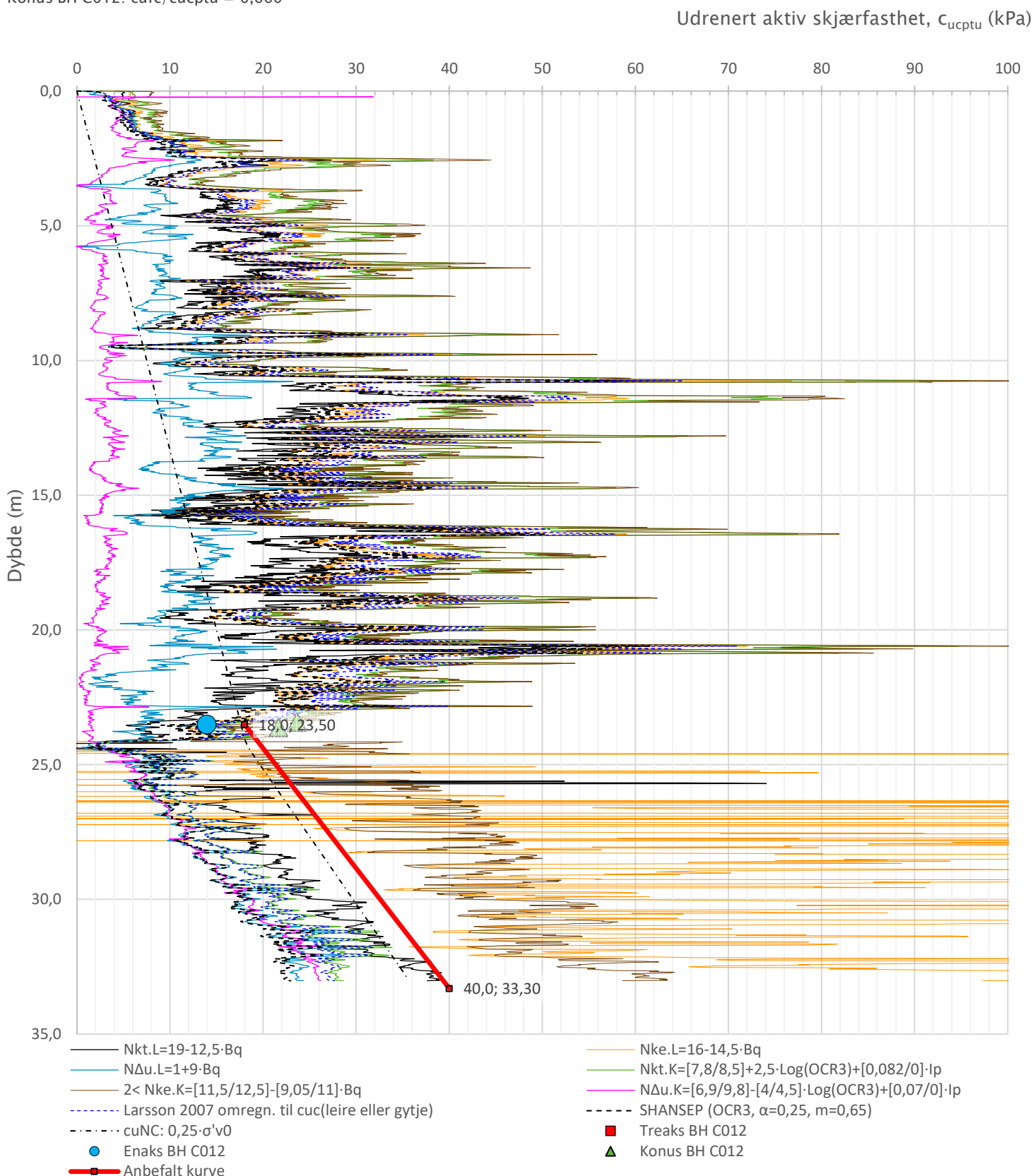


Anisotropiforhold i figur:
Enaks BH C011: $c_{uc}/c_{ucptu} = 0,660$
Konus BH C011: $c_{ufc}/c_{ucptu} = 0,660$



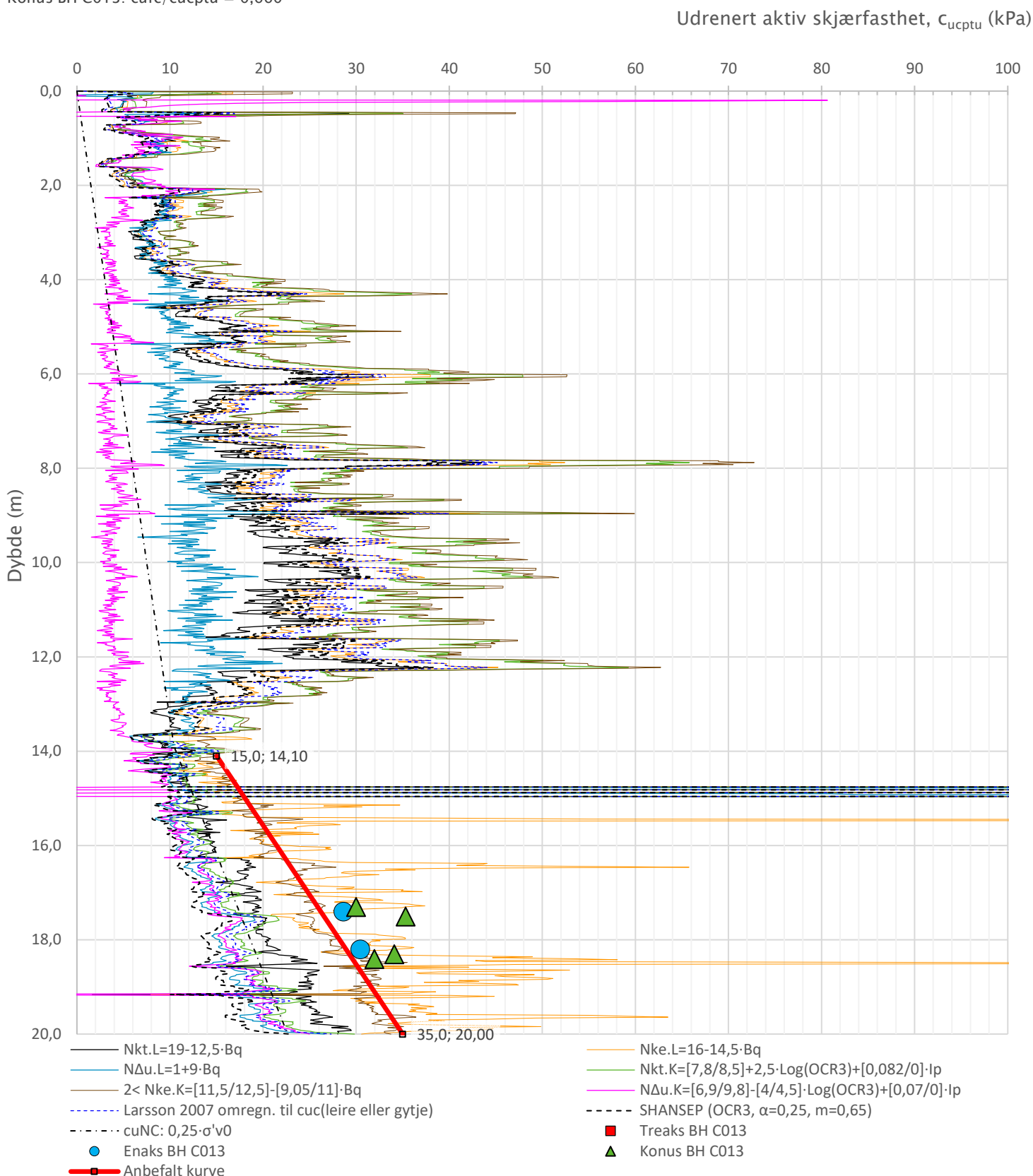
Prosjekt			Prosjektnummer: A289609		Borhull	Kote -21,6
Indre Mossesund					C011	
Innhold					Sondennummer	
Tolkning av udrenert aktiv skjærfasthet					4879	
	Utført	Kontrollert	Godkjent	Anvend.klasse		
	LIOS	ENOH	HSBO	1		
	Divisjon	Dato sondering	Revisjon	Figur		
Ekstern konsulent	21.01.2025	Rev. dato 25.04.2025	1			

Anisotropiforhold i figur:
Enaks BH C012: $c_{uc}/c_{ucptu} = 0,660$
Konus BH C012: $c_{ufc}/c_{ucptu} = 0,660$



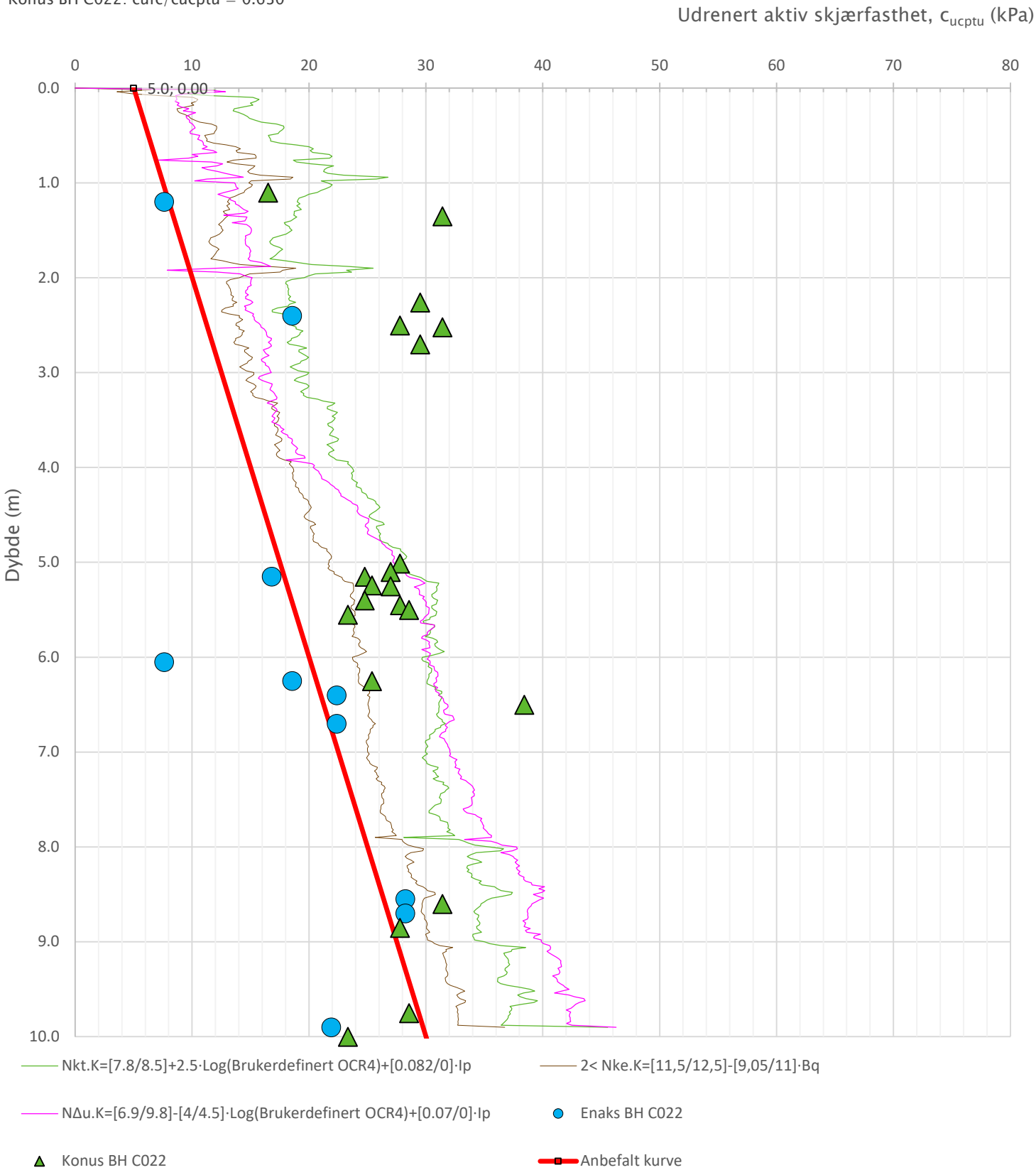
Prosjekt			Prosjektnummer: A289609	Borhull	Kote -9,43
Indre Mossesund			C012		
Innhold			Sondenummer		
Tolkning av udrenert aktiv skjærfasthet			4534		
	Utført	Kontrollert	Godkjent	Anvend.klasse	
	LIOS	ENOH	HSBO	1	
	Divisjon	Dato sondering	Revisjon	Figur	
	Ekstern konsulent	04.02.2025	1 Rev. dato 25.04.2025	5	

Anisotropiforhold i figur:
Enaks BH C013: $c_{uc}/c_{ucptu} = 0,660$
Konus BH C013: $c_{ufc}/c_{ucptu} = 0,660$



Prosjekt			Prosjektnummer: A289609		Borhull	Kote -25,8
Indre Mossesundet					C013	
Innhold					Sondenummer	
Tolkning av udrenert aktiv skjærfasthet					4816	
	Utført	Kontrollert	Godkjent	Anvend.klasse		
	LIOS	ENOH	HSBO	1		
	Divisjon	Dato sondering	Revisjon	Figur		
	Ekstern konsulent	12.02.2025	1	5		
			Rev. dato 25.04.2025			

Anisotropiforhold i figur:
Enaks BH C022: $c_{uc}/c_{ucptu} = 0.630$
Konus BH C022: $c_{ufc}/c_{ucptu} = 0.630$



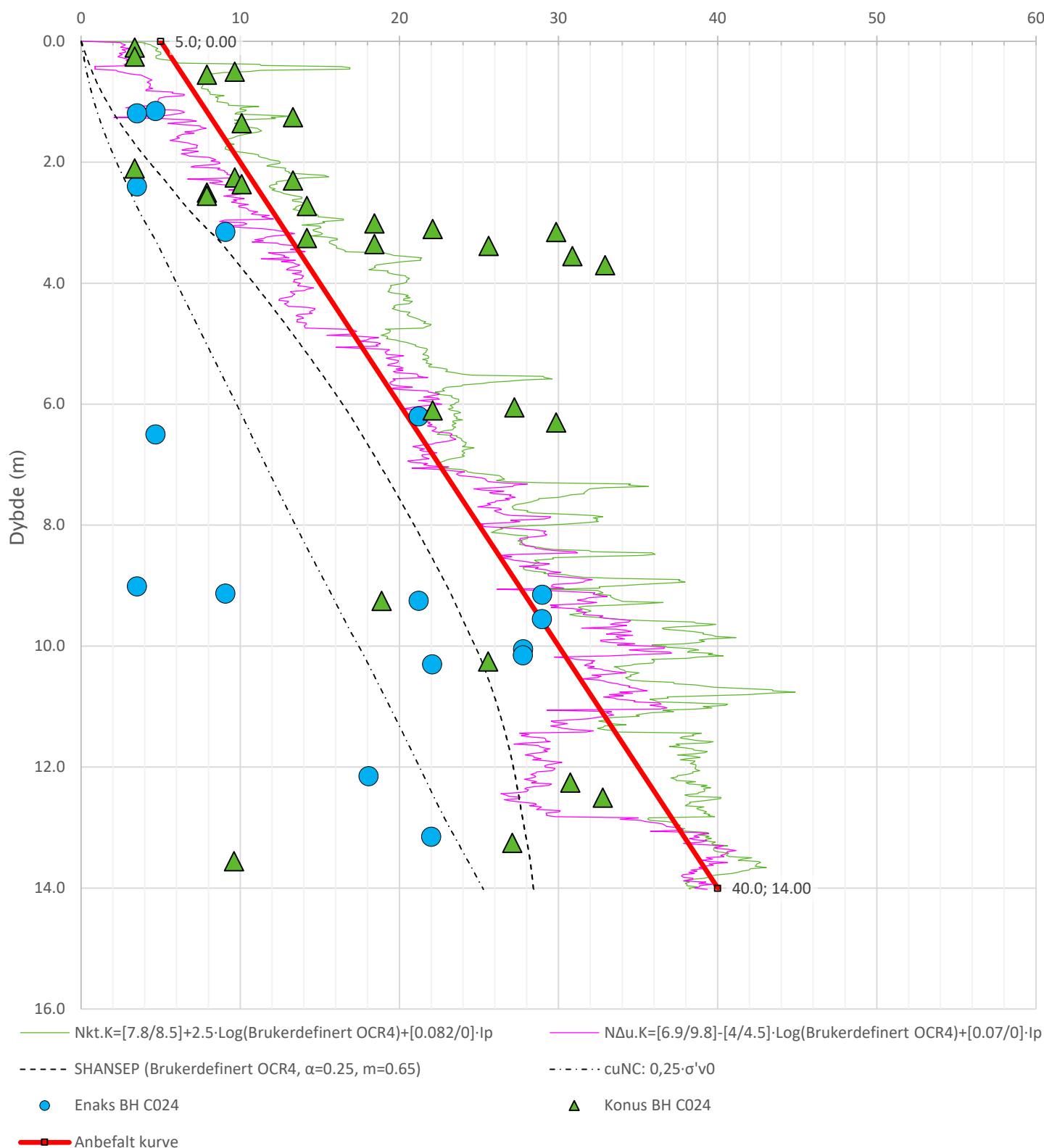
Prosjekt			Prosjektnummer: A289609	Borhull	Kote -16,097
Indre Mosserud				C022	
Innhold				Sondenummer	
Tolkning av udrenert aktiv skjærfasthet				8027	
	Utført	Kontrollert	Godkjent	Anvend.klasse	
	KVRD	ENOH	HSBO	1	
	Divisjon	Dato sondering	Revisjon	Figur	
	Ekstern konsulent	11.12.2024	Rev. dato	5	

Anisotropiforhold i figur:

Enaks BH C024: c_{uc}/c_{ucptu} = var. (min:0.683 max:0.686)

Konus BH C024: c_{fc}/c_{ucptu} = var. (min:0.683 max:0.686)

Udrenert aktiv skjærfasthet, c_{ucptu} (kPa)



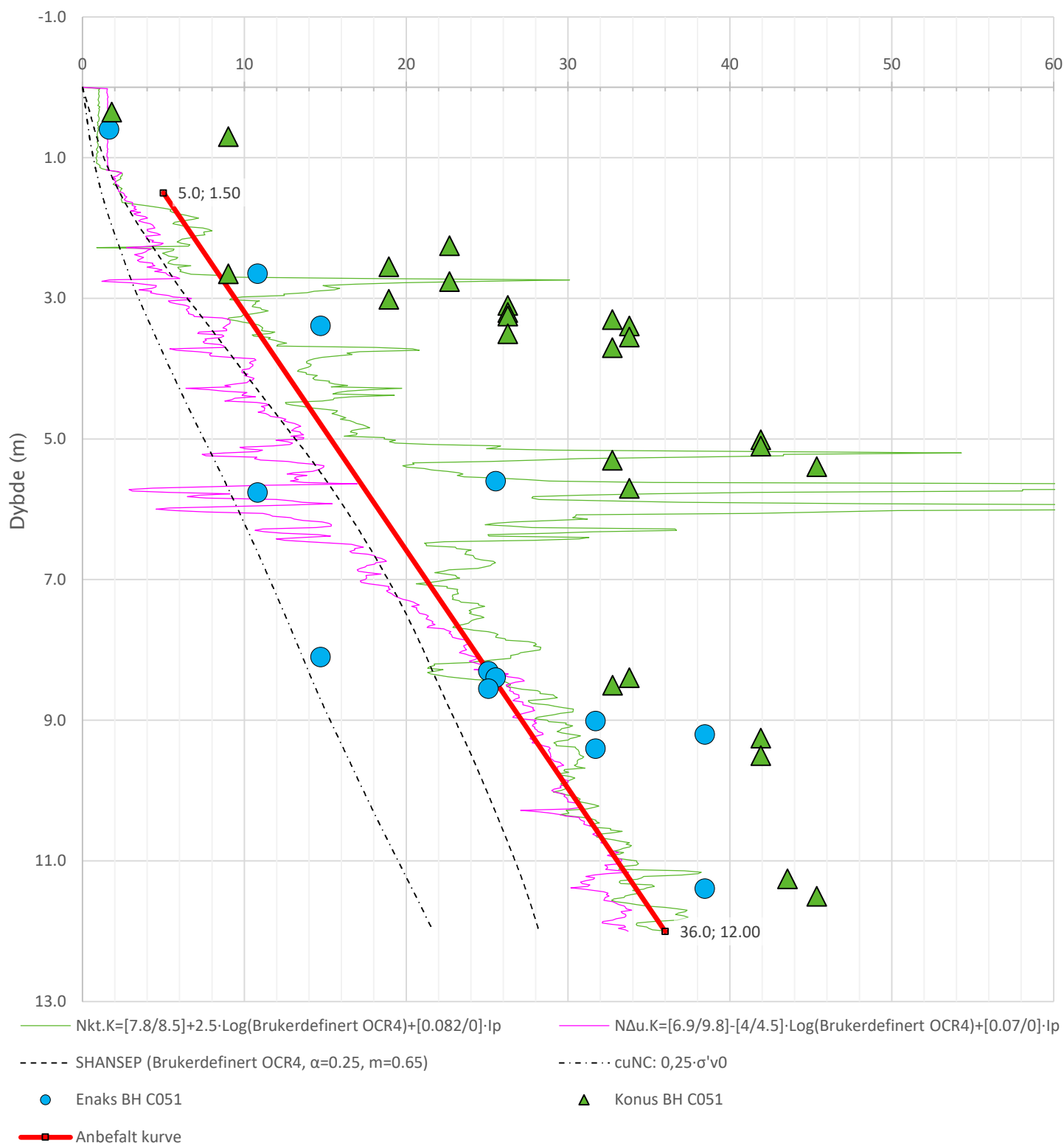
Prosjekt			Prosjektnummer: A289609	Borhull	Kote +22,4
Indre Mosserud				C024	
Innhold				Sondennummer	
Tolkning av udrenert aktiv skjærfasthet				8027	
COWI	Utført	Kontrollert	Godkjent	Anvend.klasse	
	KVRD	ENOH	HSBO	1	
	Divisjon	Dato sondering	Revisjon	Figur	
	Ekstern konsulent	19.11.2024	1	5	
			Rev. dato		

Anisotropiforhold i figur:

Enaks BH C051: c_{uc}/c_{ucptu} = var. (min:0.666 max:0.666)

Konus BH C051: c_{ufc}/c_{ucptu} = var. (min:0.666 max:0.666)

Udrenert aktiv skjærfasthet, c_{ucptu} (kPa)



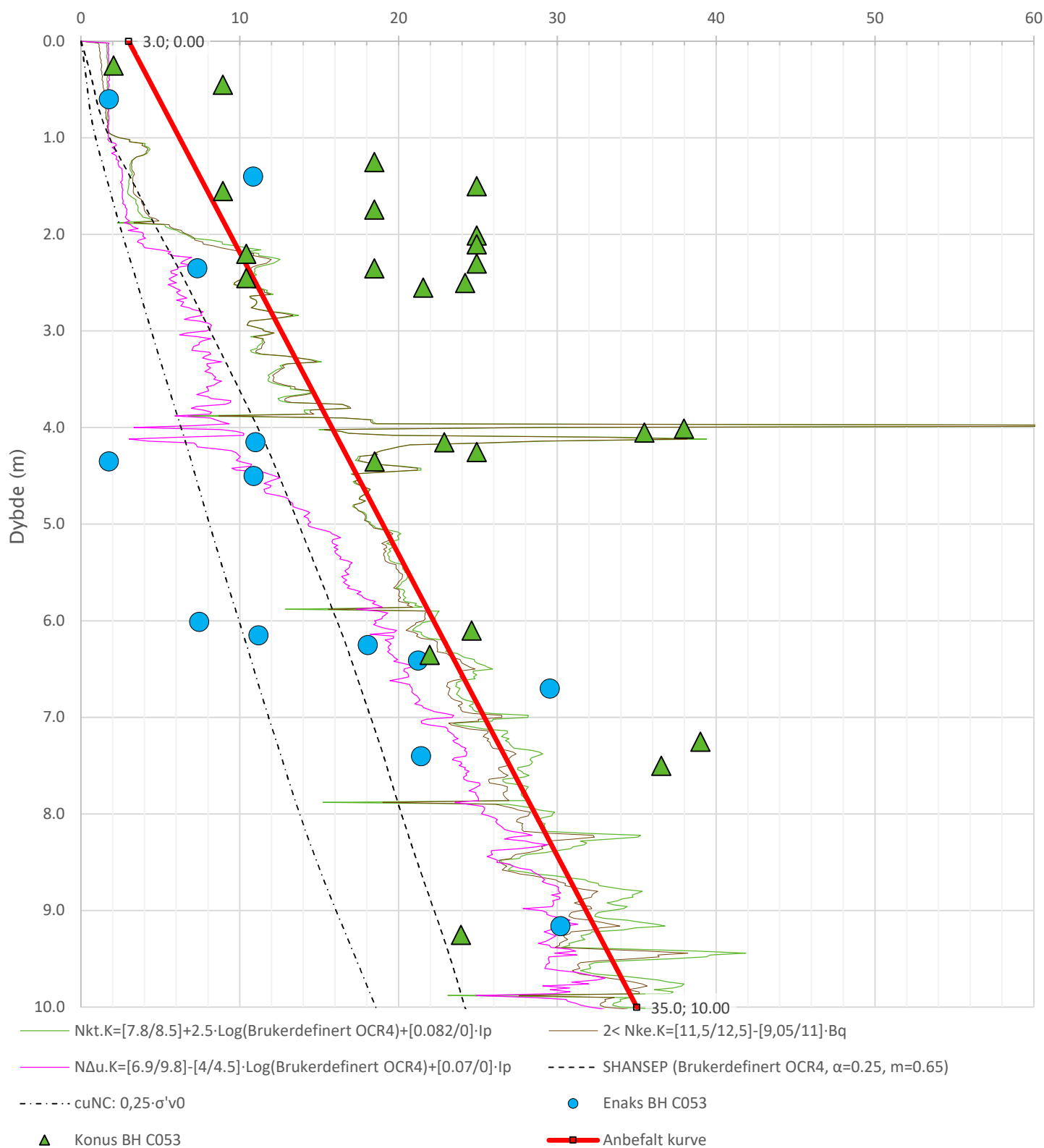
Prosjekt			Prosjektnummer: A289609	Borhull	Kote -13,89
Indre Mosserud			C051		
Innhold			Sondenummer		
Tolkning av udrenert aktiv skjærfasthet			8027		
COWI	Utført	Kontrollert	Godkjent	Anvend.klasse	
	KVRD	ENOH	HSBO	1	
	Divisjon	Dato sondering	Revisjon	Figur	
Ekstern konsulent		05.12.2024	Rev. dato	5	

Anisotropiforhold i figur:

Enaks BH C053: c_{uc}/c_{ucptu} = var. (min:0.652 max:0.682)

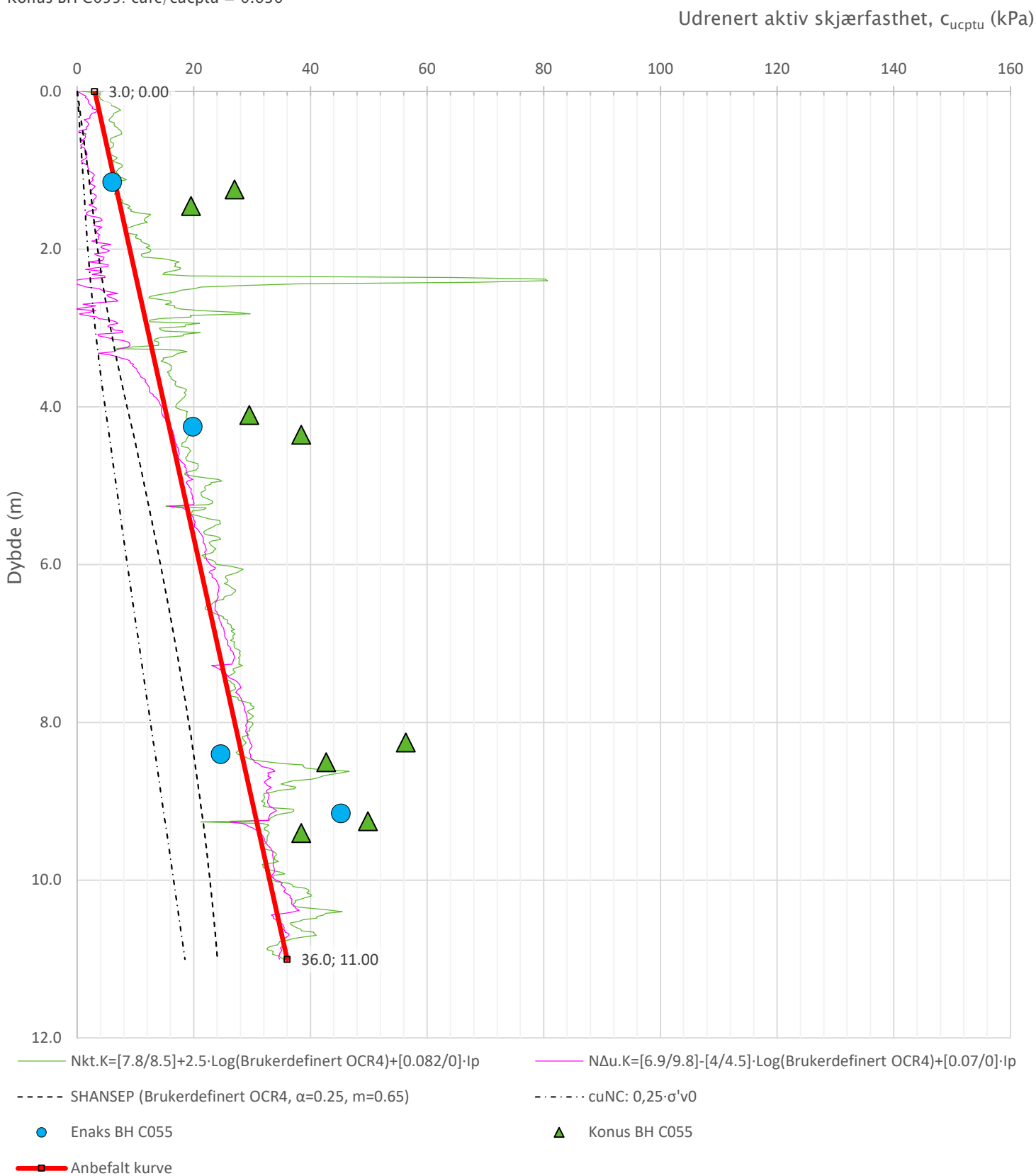
Konus BH C053: c_{ufc}/c_{ucptu} = var. (min:0.652 max:0.682)

Udrenert aktiv skjærfasthet, c_{ucptu} (kPa)



Prosjekt			Prosjektnummer: A289609		Borhull	Kote -24,643
Indre Mosserud					C053	
Innhold					Sondenummer	
Tolkning av udrenert aktiv skjærfasthet					8027	
	Utført	Kontrollert	Godkjent	Anvend.klasse		
	KVRD	ENOH	HSBO	1		
	Divisjon	Dato sondering	Revisjon	Figur		
	Ekstern konsulent	05.12.2024	Rev. dato	5		

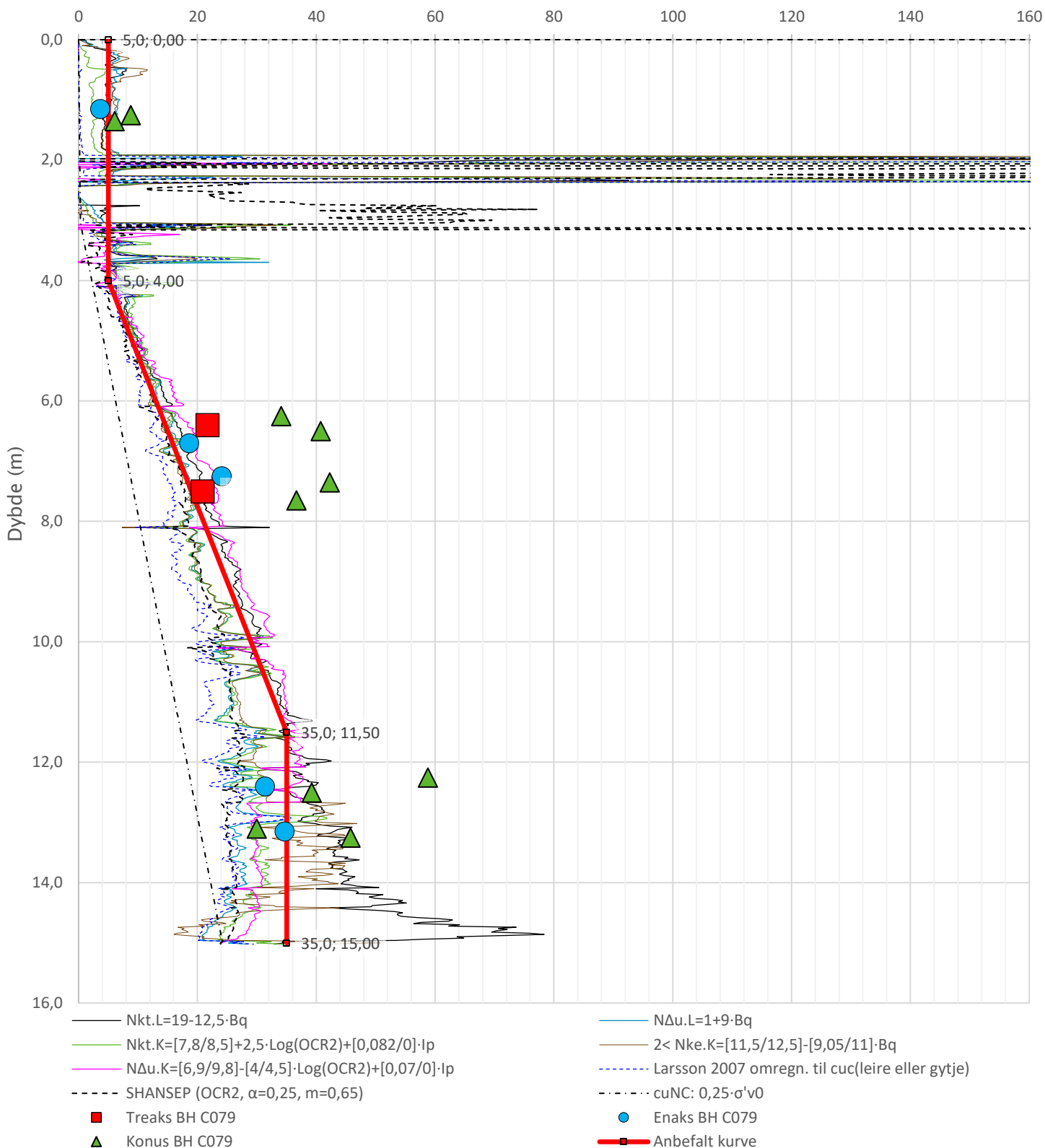
Anisotropiforhold i figur:
Enaks BH C055: $c_{uuc}/c_{ucptu} = 0.630$
Konus BH C055: $c_{ufc}/c_{ucptu} = 0.630$



Prosjekt			Prosjektnummer: A289609	Borhull	Kote -15,6
Indre Mosserud				C055	
Innhold				Sondenummer	
Tolkning av udrenert aktiv skjærfasthet				4879	
	Utført	Kontrollert	Godkjent	Anvend.klasse	
	KVRD	ENOH	HSBO	1	
	Divisjon	Dato sondering	Revisjon	Figur	
	Ekstern konsulent	03.02.2025	Rev. dato	5	

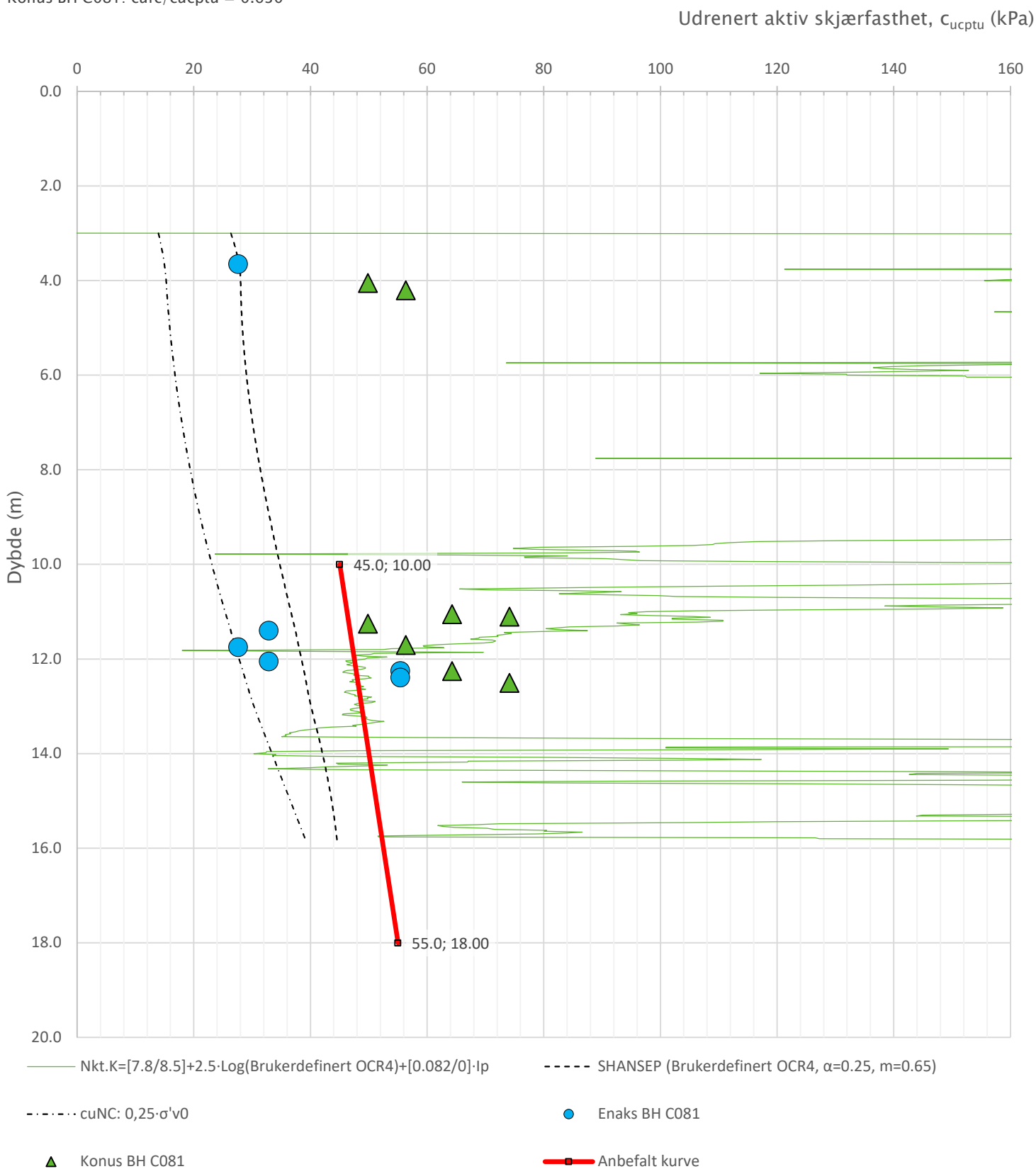
Anisotropiforhold i figur:
Treaks BH C079: $c_uC/c_{ucptu} = 1,000$
Enaks BH C079: $c_{uuc}/c_{ucptu} = 0,660$
Konus BH C079: $c_{ufc}/c_{ucptu} = 0,660$

Udrenert aktiv skjærfasthet, c_{ucptu} (kPa)



Prosjekt			Prosjektnummer: A289609	Borhull	Kote -12,45
Indre Mossesund				C079	
Innhold				Sondenummer	
Tolkning av udrenert aktiv skjærfasthet				4879	
COWI	Utført	Kontrollert	Godkjent	Anvend.klasse	
	LIOS	ENOH	HSBO	2	
	Divisjon	Dato sondering	Revisjon	Figur	
	Ekstern konsulent	22.01.2025	1	5	
			Rev. dato	25.04.2025	

Anisotropiforhold i figur:
Enaks BH C081: $c_{uuc}/c_{ucptu} = 0.630$
Konus BH C081: $c_{ufc}/c_{ucptu} = 0.630$



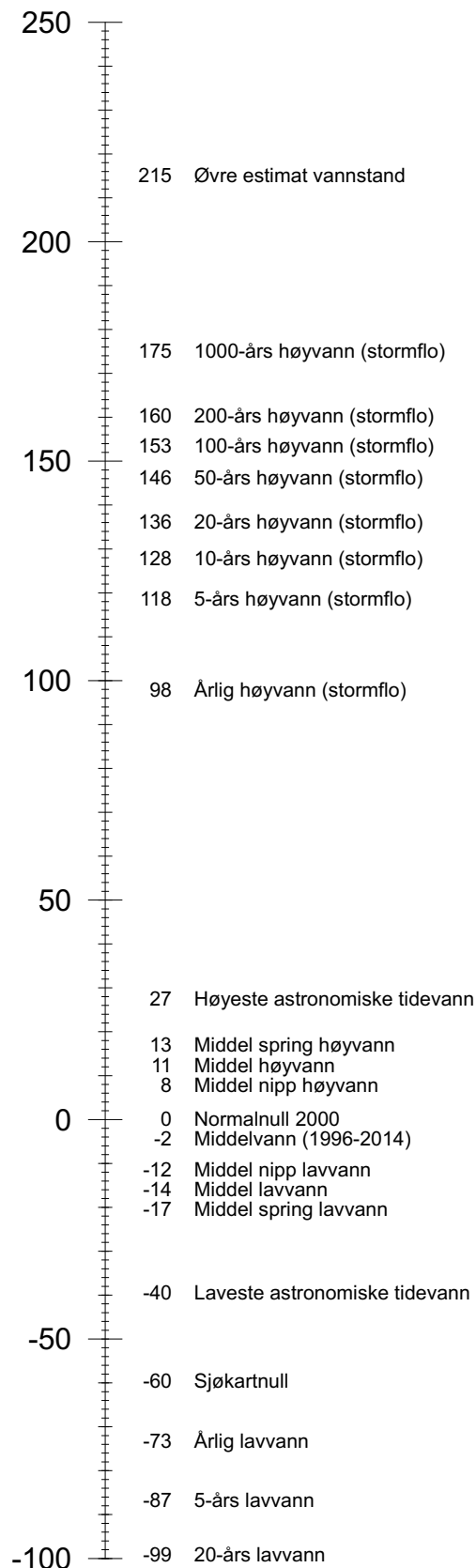
Prosjekt			Prosjektnummer: A289609		Borhull	Kote +2.038
Indre Mosserud					C081	
Innhold					Sondennummer	
Tolkning av udrenert aktiv skjærfasthet					4534	
	Utført	Kontrollert	Godkjent	Anvend.klasse		
	KVRD	ENOH	HSBO	1		
	Divisjon	Dato sondering	Revisjon	Figur		
	Ekstern konsulent	16.12.2024	Rev. dato	5		

N59°27,8' E10°40,3'

Nivåskisse

N59°27,8' E10°40,3'

Nivå knyttet til tidevann er hentet fra Vikar, justert med faktor 1,02.



Høyder er i cm over Normalnull 2000 som er nullnivå i det norske offisielle høydesystemet NN2000. Datagrunnlag sist endret: 24. august 2021. Lastet ned: 25. april 2025.

Øvre estimat vannstand

Øvre estimat vannstand er kombinasjonen av det høyeste tidevannet (HAT) og et sjelden høyt værbidrag forventent en gang per 1000 år.

Høy-/lavvann med gjentakintervall

Statistiske beregninger av hvor hyppig et ekstremt høy-/lavvann av en viss størrelse vil opptre. I gjennomsnitt når høy-/lavvannet dette nivået en gang i løpet av gjentakintervallet. Eksempel: et ekstremt høyvann med 50 års gjentakintervall vil i gjennomsnitt opptre en gang per 50 år. Gjentakintervall kalles også returperiode.

Høyeste astronomiske tidevann

Høyeste mulige vannstand uten værrets virkning, det vil si uten påvirkning fra blant annet vind, lufttrykk og temperatur. I praksis bestemmes HAT ved å lage tidevanntabeller for 19 år og plukke ut det høyeste tidevannet. Tidevannet har blant annet en periode på 18,6 år.

Middel spring høyvann

Gjennomsnittet av observerte høyvann i tiden omkring ny- eller fullmåne (springperiode). I praksis brukes harmoniske konstanter som en tilnærming. I tiden omkring ny- eller fullmåne vil tidevannsamplitudene øke siden tidevannskreftene fra sol og måne virker i samme retning. Dette fører til høyere høyvann enn ellers.

Middel høyvann

Gjennomsnittet av alle observerte høyvann i en periode på 19 år. Kartverket bruker middelvann pluss amplituden til den harmoniske konstituenten M2 som en god tilnærming.

Middel nipp høyvann

Gjennomsnittet av observerte høyvann i tiden omkring halvmåne (nipperiode). I praksis brukes harmoniske konstanter som en tilnærming. Ved halvmåne, når månen er i første eller tredje kvarter, vil tidevannsamplituden bli mindre siden tidevannskreftene fra sol og måne motvirker hverandre. Dette fører til lavere høyvann enn ellers.

Normalnull 2000

Nullnivå i det norske offisielle høydesystemet NN2000

Middelvann (1996-2014)

Gjennomsnittlig høyde av sjøens overflate på et sted over en periode på 19 år. Middelvann beregnes som gjennomsnittet av vannstandsobservasjoner foretatt med faste tidsintervall - fortrinnsvis over en periode på 19 år. Dagens middelvann er beregnet over perioden 1996-2014.

Middel nipp lavvann

Gjennomsnittet av observerte lavvann i tiden omkring halvmåne (nipperiode). I praksis brukes harmoniske konstanter som en tilnærming. Ved halvmåne, når månen er i første eller tredje kvarter, vil tidevannsamplituden bli mindre siden tidevannskreftene fra sol og måne motvirker hverandre. Dette fører til høyere lavvann enn ellers.

Middel lavvann

Gjennomsnittet av alle observerte lavvann i en periode på 19 år. Kartverket bruker middelvann minus amplituden til den harmoniske konstituenten M2 som en god tilnærming.

Middel spring lavvann

Gjennomsnittet av observerte lavvann omkring ny- eller fullmåne (springperiode). I praksis brukes harmoniske konstanter som en tilnærming. I tiden omkring ny- eller fullmåne vil tidevannsamplitudene øke siden tidevannskreftene fra sol og måne virker i samme retning. Dette fører til lavere lavvann enn ellers.

Laveste astronomiske tidevann

Laveste mulige vannstand under midlere meteorologiske forhold, det vil si uten påvirkning fra blant annet vind, lufttrykk og temperatur. I praksis bestemmes LAT ved å lage tidevanntabeller for 19 år og plukke ut det laveste tidevannet. Tidevannet har blant annet en periode på 18,6 år.

Sjøkartnull

Nullnivå for dybder i sjøkart og høyder i tidevanntabellen. Sjøkartnull er fra 1. januar 2000 lagt til laveste astronomiske tidevann (LAT). Langs Sørlandskysten og i Oslofjorden er tidevannsvariasjonene små i forhold til værrets virkning på vannstanden (vind, lufttrykk og temperatur). Sjøkartnull er derfor av sikkerhetsmessige grunner lagt 20 cm lavere enn LAT langs kysten fra svenskegrensen til Utsira og 30 cm lavere enn LAT i indre Oslofjord (innenfor Drøbaksundet).