



Oslo

Områdestabilitet - Bestum

Dok.nr.: PF-U-721-RB-0062

Revisjon: 02G



OFFENTLIG

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 2 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

Dokumentet er utarbeidet av



Rev.	Dato	Utgitt for	Utarbeidet av	Kontrollert av	Godkjent av
01G	14.10.2022	Godkjenning	Lise Lotte Aune	Tor Georg Jensen	Lasse Vilhelmshaugen
02G	20.01.2023	Godkjenning	Lise Lotte Aune	Tor Georg Jensen	Lasse Vilhelmshaugen

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 3 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

Innhold:

1	INNLEDNING	5
1.1	Regelverk og veiledninger	6
2	ENDRINGSLOGG	6
3	FORMÅL	6
4	GRUNNFORHOLD	6
4.1	Kvartærgeologisk kart	7
4.2	Eksisterende grunnundersøkelser	9
5	OMRÅDEBESKRIVELSE OG TOPOGRAFI	12
6	POTENSIELL FARE KNYTTET TIL VASSDRAG	12
7	TIDLIGERE KARTLAGT FARESONE	13
8	VURDERING AV FARE FOR KVIKKLEIRESKRED, PROSEDYRE NVE 1/2019	14
8.1	Prosedyre for utredning av aktsomhetsområder og faresoner	14
8.1.1	Registrerte faresoner (kvikkleiresoner) i området	16
8.1.2	Områder med mulig marin leire	17
8.1.3	Områder utsatt for områdeskred	17
8.1.3.1	Vurdering av snitt A	19
8.1.3.2	Vurdering av snitt B	20
8.1.3.3	Vurdering av snitt C	21
8.1.3.4	Vurdering av snitt D	22
8.1.3.5	Vurdering av snitt E	23
8.1.3.6	Vurdering av snitt F	24
8.1.3.7	Vurdering av snitt G	25
8.1.3.8	Vurdering av snitt H	26
8.1.3.9	Vurdering av snitt I	27
8.1.3.10	Vurdering av snitt J	28
8.1.3.11	Andre mulige aktsomhetsområder utenfor planområdet, vurdering av utløpsområde	29
8.1.4	Bestemme tiltakskategori	29
8.1.5	Identifikasjon av kritiske skråninger og mulige løsneområder	29
8.1.6	Befaring	30
8.1.7	Grunnundersøkelser	37
8.1.8	Aktuelle skredmekanismer og avgrensning av løsne- og utløpsområder	37
8.1.8.1	Vurdering av snitt A	38

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 4 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

8.1.8.2	Vurdering av snitt B.....	39
8.1.8.3	Vurdering av snitt C.....	40
8.1.8.4	Vurdering av snitt G	41
8.1.8.5	Vurdering av snitt H	42
8.1.8.6	Vurdering av snitt I.....	43
8.1.8.7	Vurdering av snitt J	43
8.1.8.8	Resulterende geometri faresone	44
8.1.9	Klassifisering av faresone	45
8.1.10	Stabilitetsberegninger.....	47
8.1.10.1	Dimensjonerende jordparametere	47
8.1.10.2	Snitt B.....	50
8.1.10.3	Snitt C.....	53
8.1.10.4	Snitt G.....	54
8.1.10.5	Snitt I	57
8.1.10.6	Snitt J.....	58
8.1.11	Konklusjon.....	61
REFERANSER		62
VEDLEGG		63
Vedlegg 1:	Grunnundersøkelser innhentet fra PBE, Oversikt	63
Vedlegg 2:	401U.....	64
Vedlegg 3:	402U.....	65
Vedlegg 4:	403U.....	66
Vedlegg 5:	404U.....	67
Vedlegg 6:	406U.....	68
Vedlegg 7:	407U.....	69
Vedlegg 8:	409U.....	70
Vedlegg 9:	410U.....	71

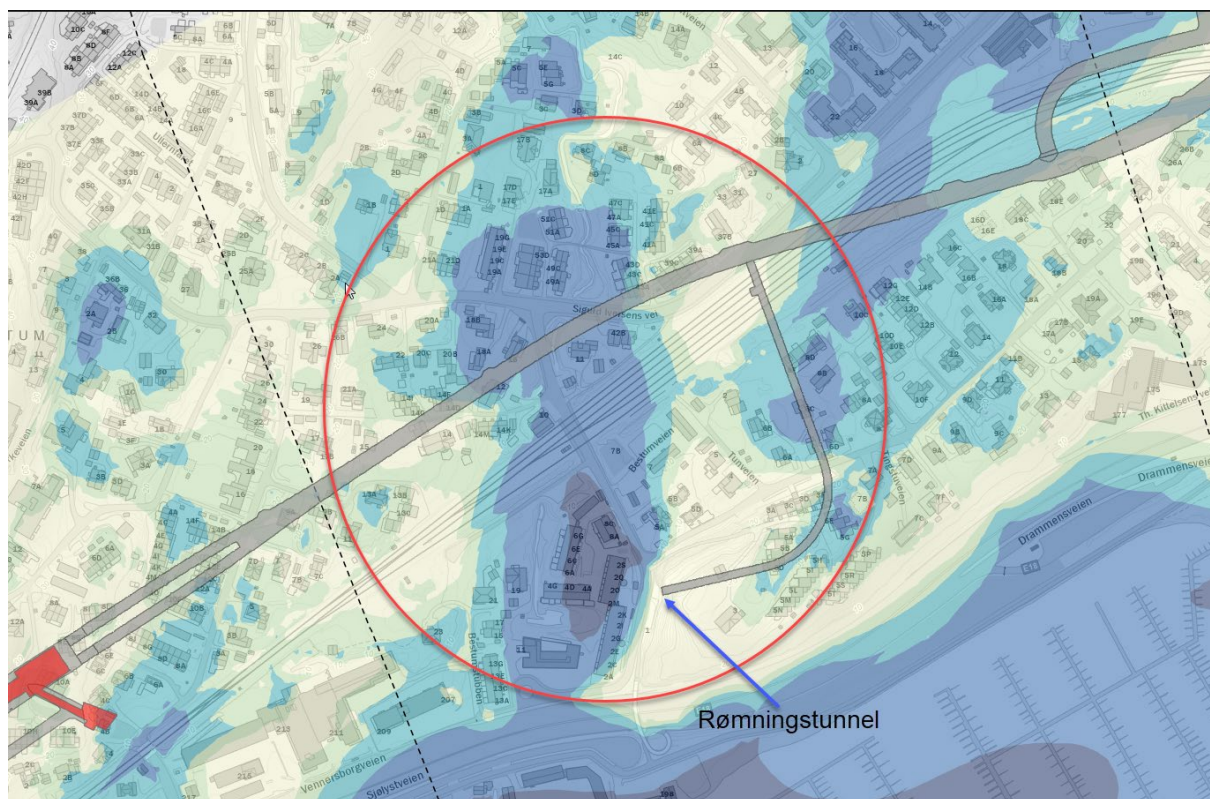
Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 5 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

1 INNLEDNING

Rapporten gir en vurdering av fare for områdeskred ved Bestum. Utredningen er utført iht. NVEs veileder 1/2019 [1]. Tilgjengelige kart, terrengmodell og utførte grunnundersøkelser er brukt som grunnlag.

Området på Bestum er vurdert ifb. Fornebubanen. Det er en rømningstunnel som kommer ut i dagen i området. I tillegg går det tunnel gjennom området. For selve tunnelen er det ikke planlagt inngrep på terreng, men området er vurdert videre på grunn av vurdering av dagens situasjon og sikkerhet ifb. driving av tunnel, og sikkerhet sett i lys av forventede vibrasjoner og økt poretrykk ved tunneldriving. Tunnelen har både lav overdekning samt dokumentert kvikkleire rett over tunnel.

Oversiktskart over området er vist i Figur 1-1.



Figur 1-1. Oversiktskart som viser omtrentlig løsmassedybder. Bestum er innenfor rød sirkel

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 6 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

1.1 Regelverk og veiledninger

Vurderingen av fare for områdeskred er utført med grunnlag i følgende regelverk.

- NVE. Veileder 1/2019. "Sikkerhet mot kvikkleireskred" [1]
- Plan og bygningsloven, Byggteknisk forskrift -TEK 17 [2]
- NVE. Retningslinjer nr. 2/2011 "Flaum- og skredfare i arealplanar" med vedlegg [3]
- NGI. Rapport: 20001008-2 rev 3/2008. Program for økt sikkerhet mot leirskred - Metode for kartlegging og klassifisering av faresoner, kvikkleire [4]
- NIFS Rapport nr. 14-2016 «Metode for vurdering av løsne- og utløpsområder for områdeskred» [5]

2 ENDRINGSLOGG

Rev.	Rev.dato	Kapittel/side	Beskrivelse av endring
01G	14.10.2022		Første utgave
02G	20.01.2023	8.1.8.3	Rapport oppdatert etter tredjepartskontroll Figurnummer oppdatert
		8.1.9	Tabell 8-3 oppdatert med riktig score for toglinje
		8.1.10	Krav til sikkerhet lagt inn
		8.1.10.2	Beregninger, tabeller og figurer oppdater med inndeling av to forskjellige lag for togfylling og tørrskorpe
		8.1.10.5	Tabeller oppdatert med riktig lagnavn

3 FORMÅL

Formålet med notatet er å vurdere om Fornebubanen påvirkes av lav områdestabilitet, enten ved at planområder kan påvirkes av skredmasser eller ligger i et løsneområde.

4 GRUNNFORHOLD

For grunnundersøkelser og grunnforhold utført av PGF i forbindelse med Fornebubanen, se datarapport del 1 [6].

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 7 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

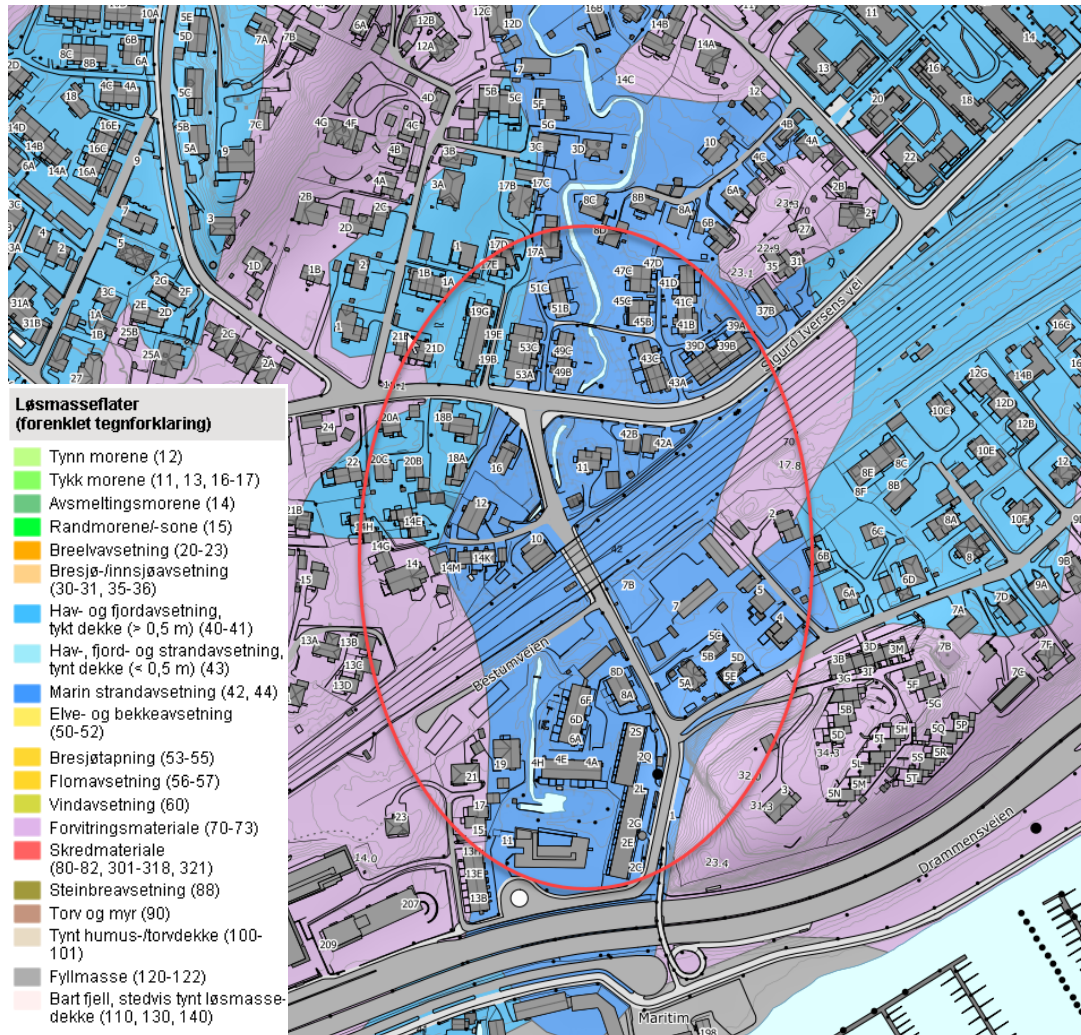
Grunnforholdene ved Bestum nord for jernbanen består av et topplag på 0,5-3 m med antatt fyllmasser/tørrskorpeleire. Under dette ligger bløt leire som stedvis er kvikk. Kvikkleire/sprøbruddsmateriale er i prøveserier påvist i dybde på minimum 4,5m. Over dette ligger et lag med silt, som også gir lite motstand i totalsonderingene. Det er derfor ikke enkelt å skille mellom sprøbrudd og silt fra totalsonderinger. Enkelte punkter er antatt å bestå av noe fastere leire. Mektighet på leirelag varierer og i enkelte prøver er det antatt å være morene over berg. Det er varierende dybder til berg på området. Nord for jernbanen varierer løsmassemektigheter mellom 5 og ca. 20 m.

Sør for jernbanen er det stedvis store mektigheter med løsmasser, i tilgjengelige borpunkt varierer mektigheten mellom 27 og 32 m. Her er det fra prøveserier påvist et lag med silt fra ca 2 til 5m dybde. Silten gir også svært lite motstand i totalsonderingene. Under dette er det antatt middels fast leire. Det er ikke påvist sprøbruddsmateriale sør for jernbanen. Det er også synlig berg i dagen noe sør for jernbanen hvor det er planlagt påhugg for rømningstunnel.

4.1 Kwartærgeologisk kart

Kwartærgeologisk kart fra NGU indikerer at området ved Bestum hovedsakelig består av «Marin Strandavsetning» og «Hav- og fjordavsetning, tykt dekke», se Figur 4-1. Det gjøres oppmerksom på at kvartærgeologisk kart kun gir informasjon om de øvre løsmassene, og ikke om hva som befinner seg i dybden.

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 8 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	



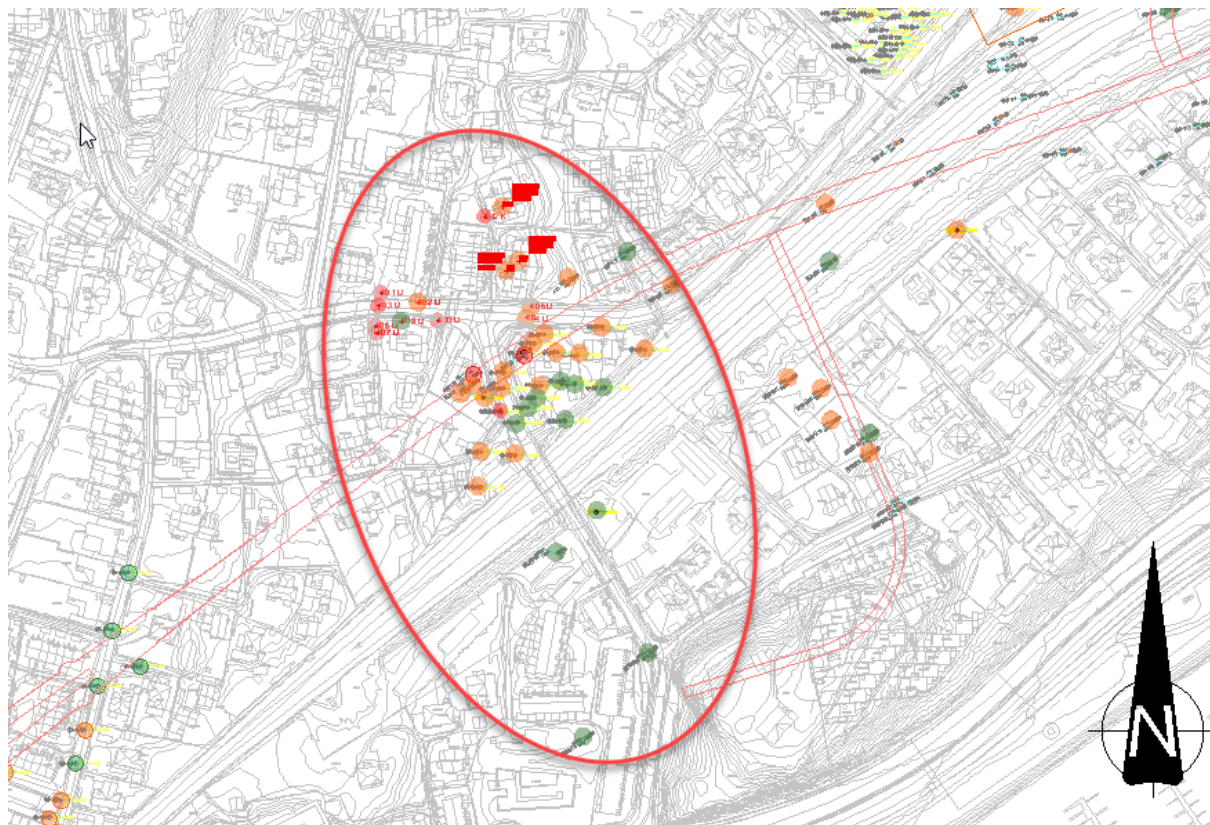
Figur 4-1. Kvartærgeologisk kart fra NGU kart [7]. Ca. plassering av området er vist innenfor firkanten.

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 9 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

4.2 Eksisterende grunnundersøkelser

Det er utført boringer i forbindelse med etablering av Fornebuibanen. Først av Norconsult i forbindelse med regulering av Fornebuibanen, og senere også av PGF i forbindelse med prosjektering av t-banen. I tillegg er det innhentet informasjon fra Plan- og Bygningsetaten i Oslo Kommune (PBE) angående gamle grunnundersøkelser i området. Figur 4-2 viser plassering av de tilgjengelige grunnundersøkelsene i området. Tabell 4-1 viser rapportene der eksisterende grunnundersøkelser er dokumentert.

Poretrykksmålere vises i Figur 4-3.



Figur 4-2. Figuren viser tilgjengelige grunnundersøkelser på Bestum, der enkelte av dem er markert mht. løsmasstype. Tunnelens fotavtrykk er omtrentlig. Grønn: leire eller friksjonsmateriale. Oransje: meget bløte partier deler av dybden tolket fra totalsonderinger, mulig sprøbruddsmateriale. Rød: påvist sprøbrudd/kvikkleire med prøveserie. Alle eldre punkter innhentet fra PBE har noe usikkerhet knyttet til seg, bla hvordan sprøbruddsmateriale tolkes.

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 10 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	



Figur 4-3. Elektriske poretrykkmålere i området. De to sirklene viser forslag på to nye poretrykkmålere

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 11 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

Tabell 4-1 Kartlagte eksisterende grunnundersøkelser

Rapport Nr.	Oppdrag	Type undersøkelse	Relevante borpunkter for vurdering	Dato
7966, fra PBE		Prøveserie og ramsondering	A66 (412K), B-7, C-2, D-3	1966
Prøveserier fra PBE		Prøveserie	401U 402U 403U 404U 405U 406U 407U 409U 410U	1969 1969 1969 1972 1972 1973 1973 1973 1973
PF-U-721-RB-00011	Fornebubanen – Geoteknisk Datarapport del 1 [6]	Totalsondering og prøveserier	1008 til 1010, 1018-1020, 1022, 1024, 1025 og 1026. Andre punkter lengre unna er også vurdert.	2019-
5011052-02	Fornebubanen, Grunnundersøkelser, - 02 Datarapport [8]	Totalsondering, trykksondering og vingebor	501 - 519, 550 og 551	2013/2014
Vista Data Vision	Fornebubanen [9]	Elektriske piezometere og totalsonderinger knyttet til disse. Kun pz med tilgjengelig tilhørende pz er listet her.	111PZ, 100PZ, 1024	2019-

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 12 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

5 OMRÅDEBESKRIVELSE OG TOPOGRAFI

Det aktuelle området ligger i bebygd område på Bestum. Bebyggelse er i hovedsak boligbygg i form av eneboliger og rekkehus. Gjennom området renner Mærradalsbekken.

Terrenget er hellende fra både øst og vest ned mot Mærradalsbekken og i tillegg heller terrenget ned mot togfyllingen se Figur 5-1. Sør for jernbanen er det stort sett flatt. Terrenget skrår bratt oppover ved synlig berg i dagen i området hvor rømningstunnelen kommer ut.

For nærmere beskrivelse av skråningshelninger og høydeforskjeller i området, se kapittel 8.1.3.



Figur 5-1 Område med bebyggelse, fra google maps

6 POTENSIELL FARE KNYTTET TIL VASSDRAG

Utsnitt av kart med aktsomhetsområde for flom fra Mærradalsbekken vises i Figur 6-1, og viser at Bestum ligger innenfor aktsomhetsområdet.

Det er registrert sprøbruddsmateriale/kvikkleire i området som er markert som flomutsatt. Muligheten for fare for områdeskred på bakgrunn av erosjon er derfor til stede.

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 13 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	



Figur 6-1. Aktsomhetsområde for flom, fra www.atlas.nve.no. Omtrentlig plassering av prosjektområdet markert.

7 TIDLIGERE KARTLAGT FARESONE

Ifølge NVE atlas [10] er det ikke registrert noen faresoner i nærheten, nærmeste faresone er Vækerø, se Figur 8-1.

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 14 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

8 VURDERING AV FARE FOR KVIKKLEIRESKRED, PROSEDYRE NVE 1/2019

Krav vedr. formell kompetanse:

Utførende foretak har fagansvarlige med formell kompetanse innen fagområde geoteknikk med minimum 5 års relevant erfaring, samt erfaring med tidligere vurderinger av områdestabilitet i NVEs veileder "Sikkerhet mot kvikkleireskred".

8.1 Prosedyre for utredning av aktsomhetsområder og faresoner

Tabell 8-1 viser oppsummering av gjennomgang av prosedyren i henhold til i avsnitt 3 i NVE veileder 1/2019 [1].

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 15 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

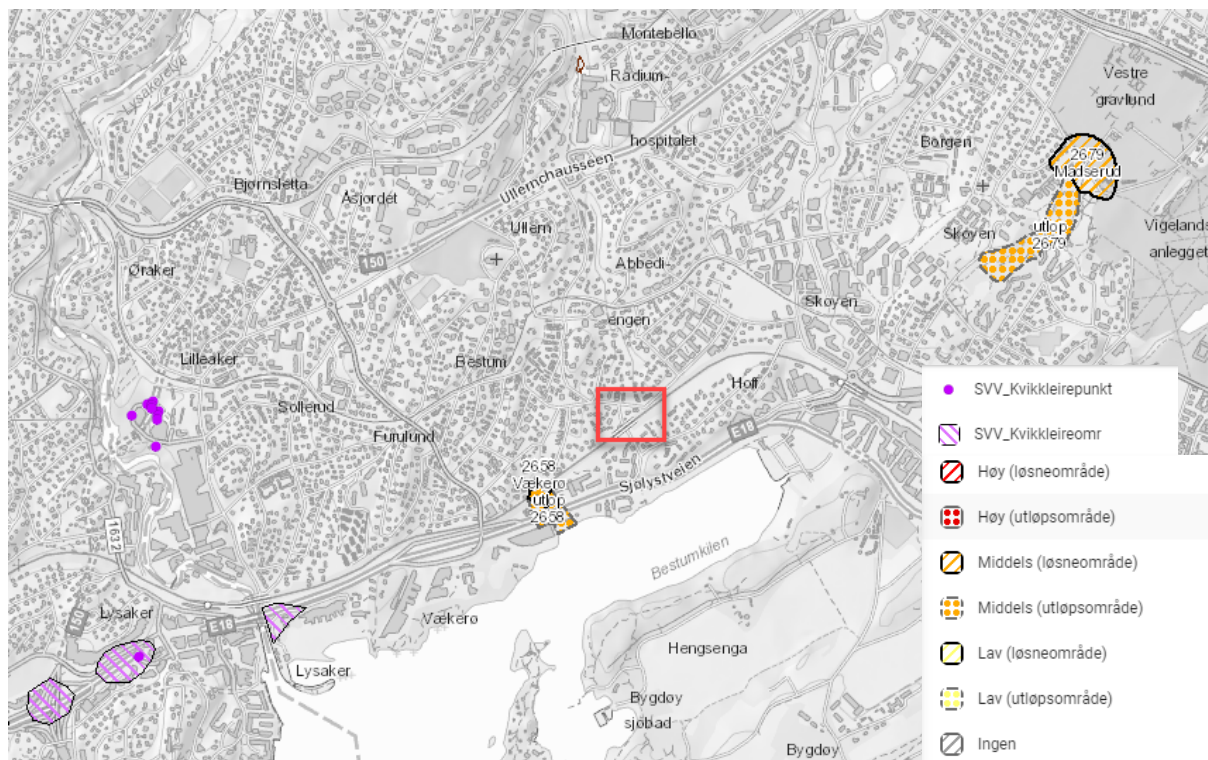
Tabell 8-1. Prosedyre for utredning av aktsomhetsområder og faresoner, oppsummering [1].

Pkt.	Overskrift	Kommentar
1.	Registrerte faresoner (kvikkleiresoner) i området	Det er ikke tidligere kartlagte faresoner for kvikkleireskred i området.
2.	Avgrense områder med mulig marin leire	Hele området ligger under marin grense
3.	Avgrense områder med terreng som kan være utsatt for områdeskred	Det er flere skråninger som har høyde og terrenghelning som faller inn under kriteriene for aktsomhetsområder og som tilsier at disse om sees nærmere på
4.	Tiltakskategori	Tiltakskategori er satt til K4
5.	Gjennomgang av grunnlag – identifikasjon av kritiske skråninger og mulig løснеområde	Registrert sprøbruddsmateriale i området. Skråninger brattere enn 1:20 og med skråningshøyde større enn 5 m mot sørøst, samt mot Mærradalsbekken.
6.	Befaring	Det er registrert berg i dagen i området. Det er også registrert en bekk, denne ligger i bunnen av flere av de kritiske skråningene.
7.	Gjennomføring av grunnundersøkelser	Det er utført grunnundersøkelser i flere runder i forbindelse med prosjektet og kartlagt berg i dagen. Supplerende grunnundersøkelser bekrefter at det er sprøbrudd i dyprenna over tunnel.
8.	Vurdering av aktuelle skredmekanismer og avgrensing av løсне- og utløpsområder	Basert på kvikklereiens beliggenhet under terreng og andel sprøbruddsmateriale over mest kritiske glideflate er det ikke funnet å være fare for retrogressivt skred. Kun for et snitt er flakskred er funnet å mulig kunne være aktuell skredmekanisme. Rotasjonsskred er dermed aktuell skredmekanisme for de fleste snitt. Løsnakeområdet er dermed satt til 5*H. For delen av prosjektområdet som omfatter tunnel vil det ikke være av betydning om området ligger i evt løsnakeområder fra andre løsnakeområder som ligger høyere i terrenget. For rømningstunnelen er det vurdert at denne ikke ligger innenfor andre utløpsområder enn løsnakeområdet som er definert over tunnel. Rømningstunnelen for Bestum ligger ikke i et mulig utløpsområde
9.	Klassifisere faresoner	Faregradsklassifisert til «middels faregrad», konsekvensklasse «meget alvorlig» og risikoklasse «4».
10.	Dokumentere tilfredsstillende sikkerhet	Rømningstunnelen ligger i bunnen av skråning, og dermed utenfor influensområdet til skråningene. For området over tunnel er det også forutsatt at krav til forsiktig driving av tunnel og forsiktig injisering bidrar til at skråningene ikke blir påvirket av tunneldrivingen, altså at også her er tiltaket utenfor influensområdet til skråningen. Krav til langtidsstabilitet av skråningene $F_{cu} > 1,20$ og $F_{a\Phi} > 1,25$ er dermed ansett å være gjeldende. Stabilitetsberegninger dokumenterer i hovedsak større sikkerhetsfaktorer enn dette uten stabiliserende tiltak.
Konklusjon		Vurdering av områdestabilitet er utført, og viser at sikkerheten er tilfredsstillende.

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 16 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

8.1.1 Registrerte faresoner (kvikkleiresoner) i området

Det er ingen tidligere kartlagte faresoner i området i henhold til NVEs kart [10], se Figur 8-1.



Figur 8-1. Rødt område viser omtrentlig markering av Bestum. Lilla punkter er påvist kvikkleire fra Statens Vegvesen. Andre påviste kvikkleiresoner er markerte [10]

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 17 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

8.1.2 Områder med mulig marin leire

Hele planområdet ligger under marin grense. Se Figur 8-2.



Figur 8-2. Rødt område viser omtrentlig markering av Bestum. Blå linje er marin grense og hele området ligger under marin grense [10]

8.1.3 Områder utsatt for områdekred

I henhold til NVEs veileder 1/2019 [1] skal det utføres en terrengeanalyse med konservative kriterier for å begrense aktsomhetsområdene til områder der topografien gir mulighet for områdekred. Dersom planlagte tiltak ligger i terreng som er innenfor et aktsomhetsområde, må det utredes videre av geotekniker iht. prosedyrens punkt 4-11. Ligger planlagte tiltak ikke innenfor et aktsomhetsområde vil videre vurdering iht. veileder avsluttes her.

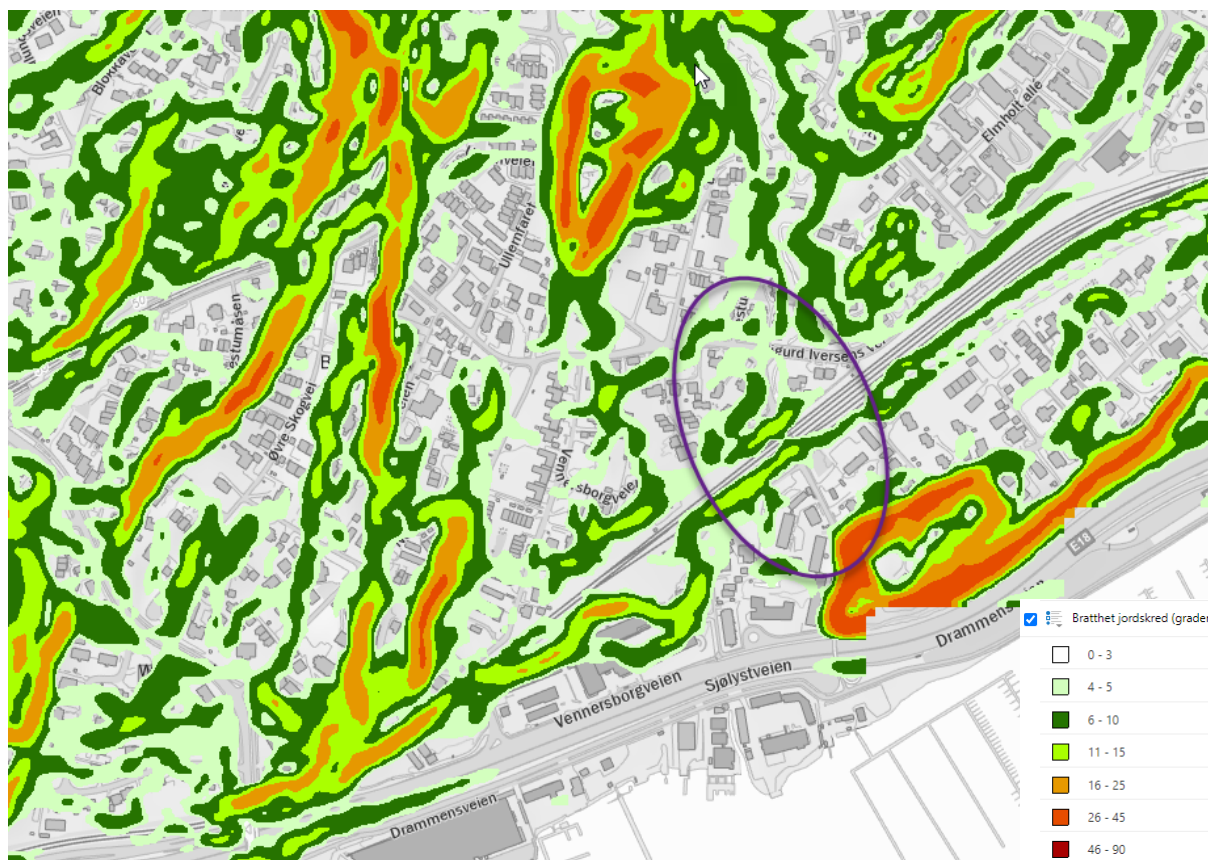
Terreng som kan inngå i løснеområdet for et skred:

- Total skråningshøyde (i løsmasser) over 5 meter eller
- Jevnt hellende terreng brattere enn 1:20, tilsvarende 2,9°, og total skråningshøyde over 5 m.

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 18 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

Aktsomhetsområdet ligger innenfor 20*skråningshøyden, H, målt fra fot skråning (inntil 25 muh).

Figur 8-3 viser terrengeanalyse av området med bratthet fra NVEs temakart, [10].

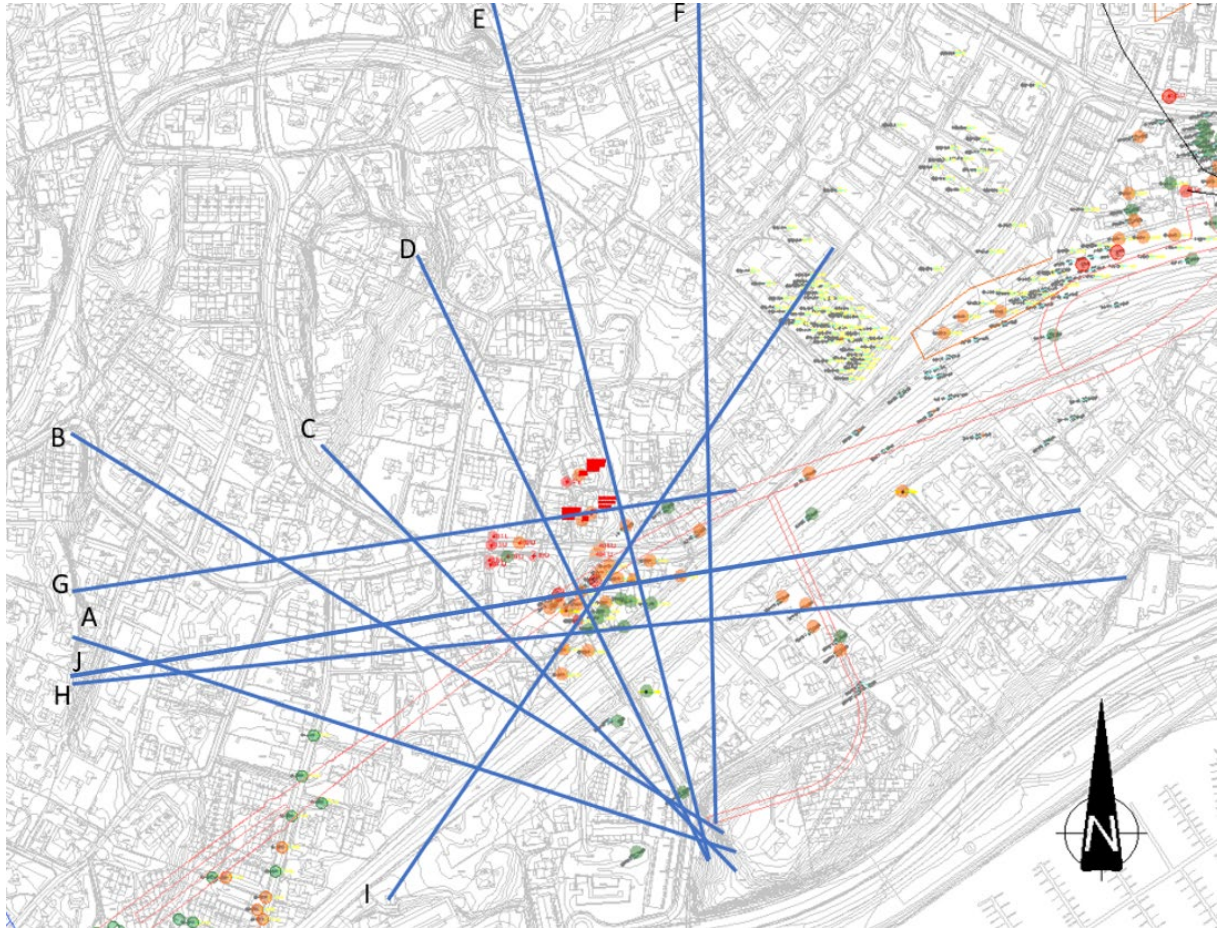


Figur 8-3. Terrengeanalyse med bratthet [10].

Figur 8-3 viser at deler av området har en terrenghelning > 3 grader. Terrengeanalysen tar ikke hensyn til skråningshøyden, altså kan det være fargemerkerte områder i kartet som ikke gir fare for områdeskred hvis høydeforskjellen er lavere enn 5 m. Det bratteste partiet sør for jernbanene (rødt og oransje) er dokumentert å være berg i dagen.

Det er derfor sett videre på snittene A til J som vist i Figur 8-4. Figurene er hentet fra høydedata.no [11]

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 19 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

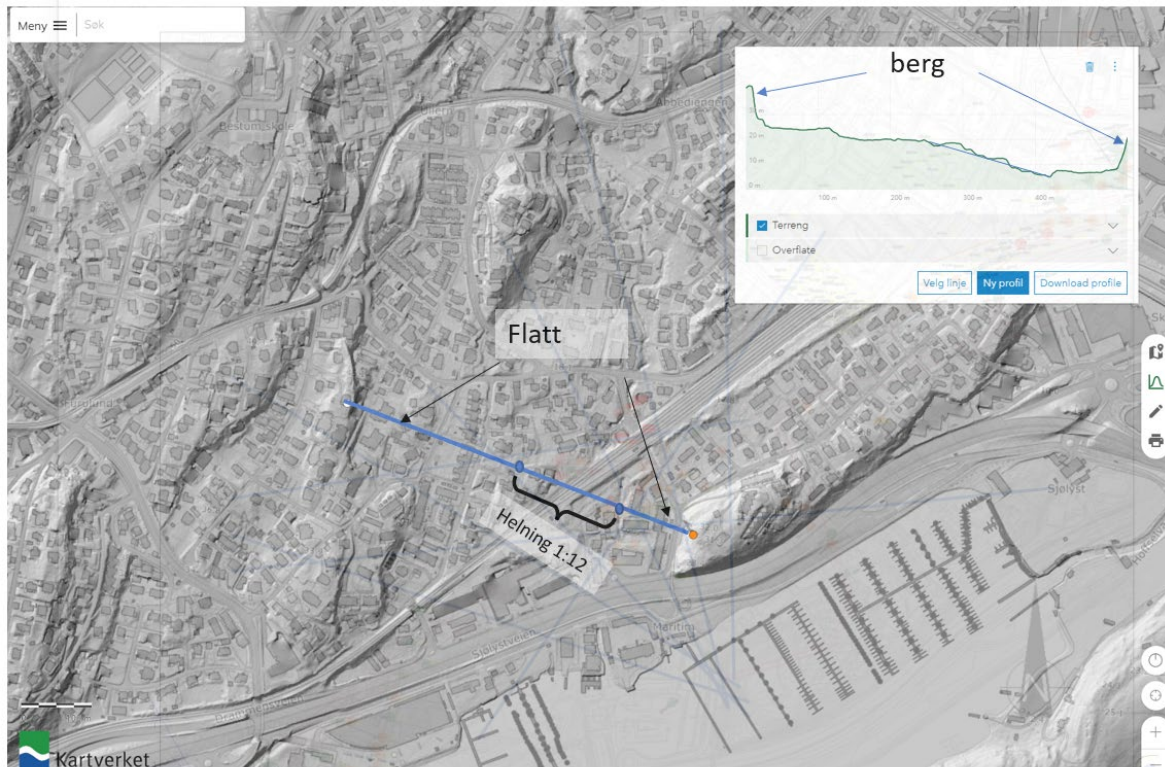


Figur 8-4 Snitt i terreng som er vurdert videre med tanke på skråningshelning og skråningshøyde

8.1.3.1 Vurdering av snitt A

Figur 8-5 viser snitt A. Som figuren viser har terrenget i en del av dette snittet jevnt hellende terreng med helning på 1:12, og en total skråningshøyde på ca. 15 m. Dette snittet inneholder dermed en skråning som iht. terrengkriteriene kan være et mulig løснеområde.

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 20 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

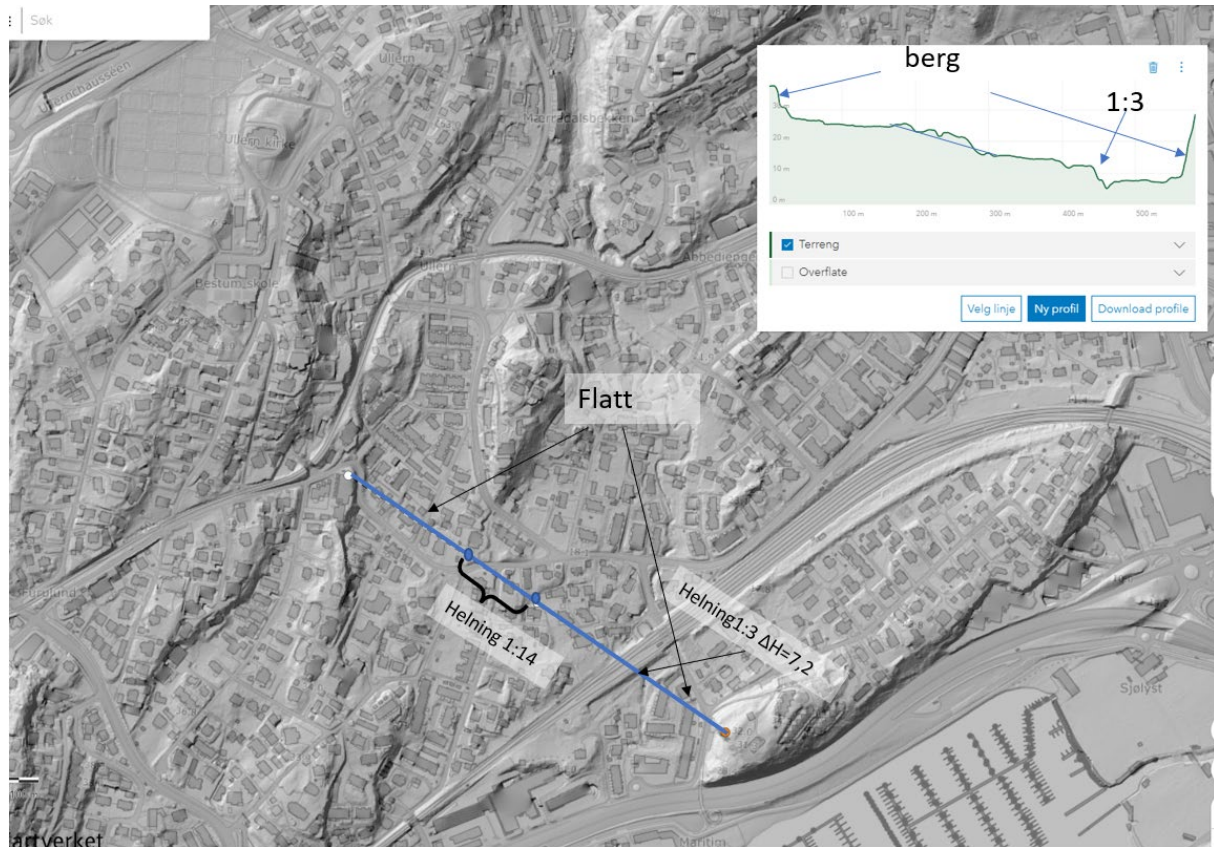


Figur 8-5 Snitt A, Skråning med skråningshelning på 1:12 har en totalskråningshøyde på ca. 14,9 m

8.1.3.2 Vurdering av snitt B

Figur 8-6 viser snitt B. Som figuren viser har terrenget i en del av dette snittet jevnt hellende terreng med helning på 1:14, og en total skråningshøyde på ca. 9,7 m. I tillegg inneholder snittet en skråning for en togfylling med helning ca 1:3 og total skråningshøyde på 7,2 m Dette snittet inneholder dermed to områder som iht. terrengkriteriene kan være et mulig løsneområde.

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 21 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

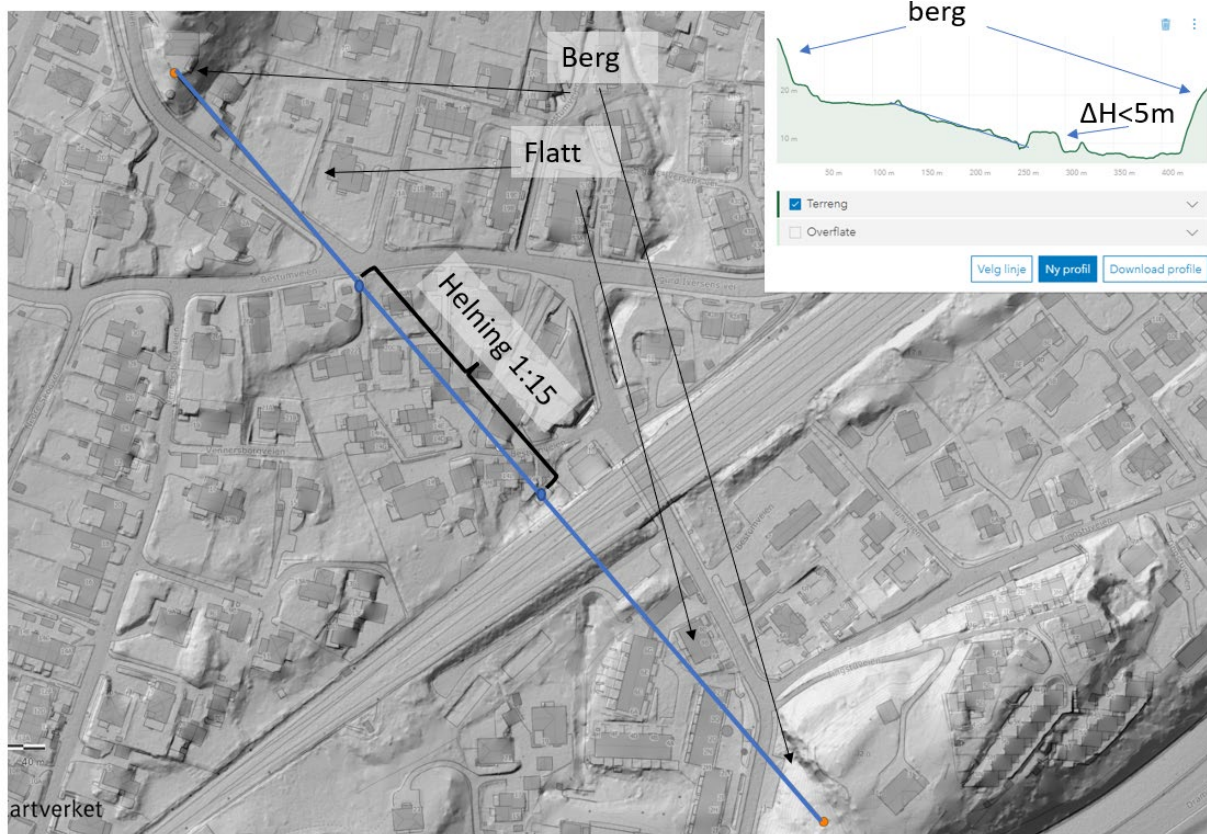


Figur 8-6 Snitt B, Skråning med skråningshelning på 1:14 har en totalskråningshøyde på ca. 9,7 m, mens den bratte skråningen med helning 1:3 (togfylling) har en total skråningshøyde på 7,2 m.

8.1.3.3 Vurdering av snitt C

Figur 8-7 viser snitt C. Som figuren viser har terrenget i en del av dette snittet jevnt hellende terreng med helning på 1:15, og en total skråningshøyde på ca. 9,1 m. Dette snittet inneholder dermed et område som iht. terrengkriteriene kan være et mulig løsneområde.

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 22 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

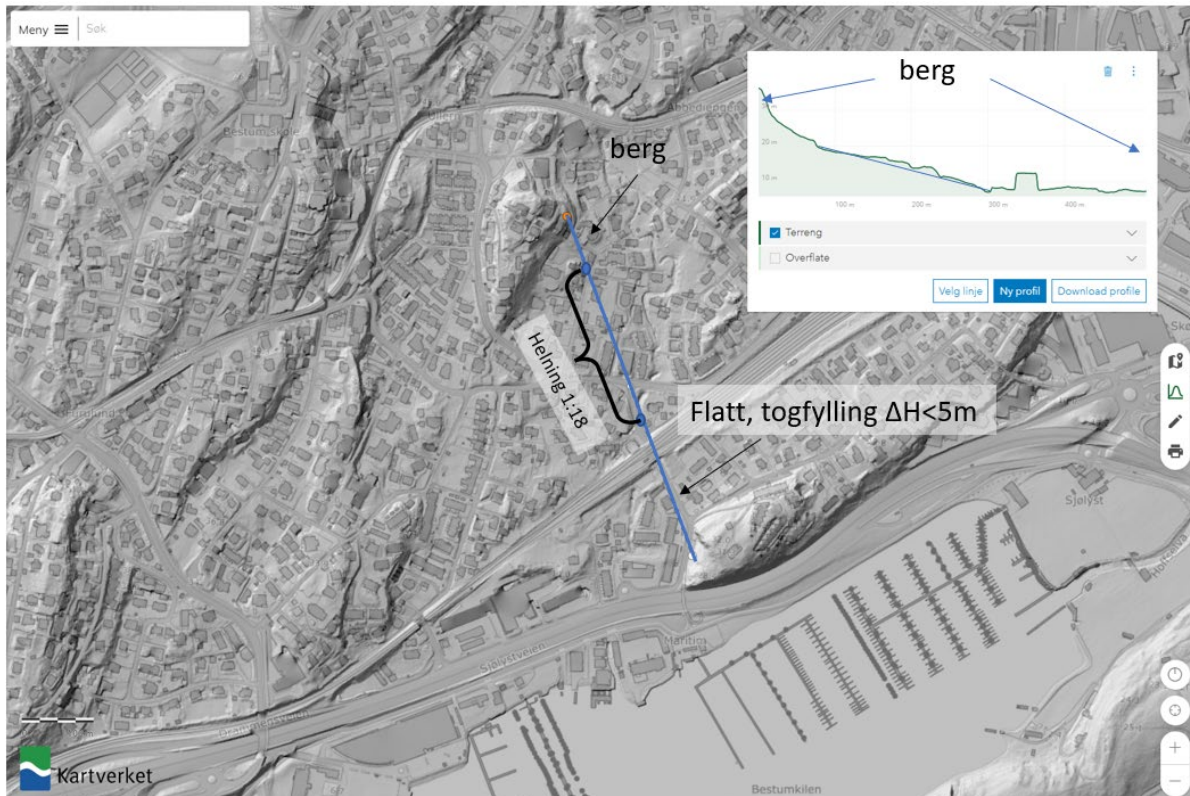


Figur 8-7 Snitt C, Skråning med skråningshelning på 1:15 har en totalskråningshøyde på ca. 9,1 m

8.1.3.4 Vurdering av snitt D

Figur 8-8 viser snitt D. Som figuren viser har terrenget i en del av dette snittet jevnt hellende terreng med helning på 1:18, og en total skråningshøyde på ca. 11,9 m. Dette snittet inneholder dermed et område som iht. terrengkriteriene kan være et mulig løснеområde, men snittet har en helning lavere enn 1:15, og det er andre snitt som er mer kritisk enn dette.

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 23 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

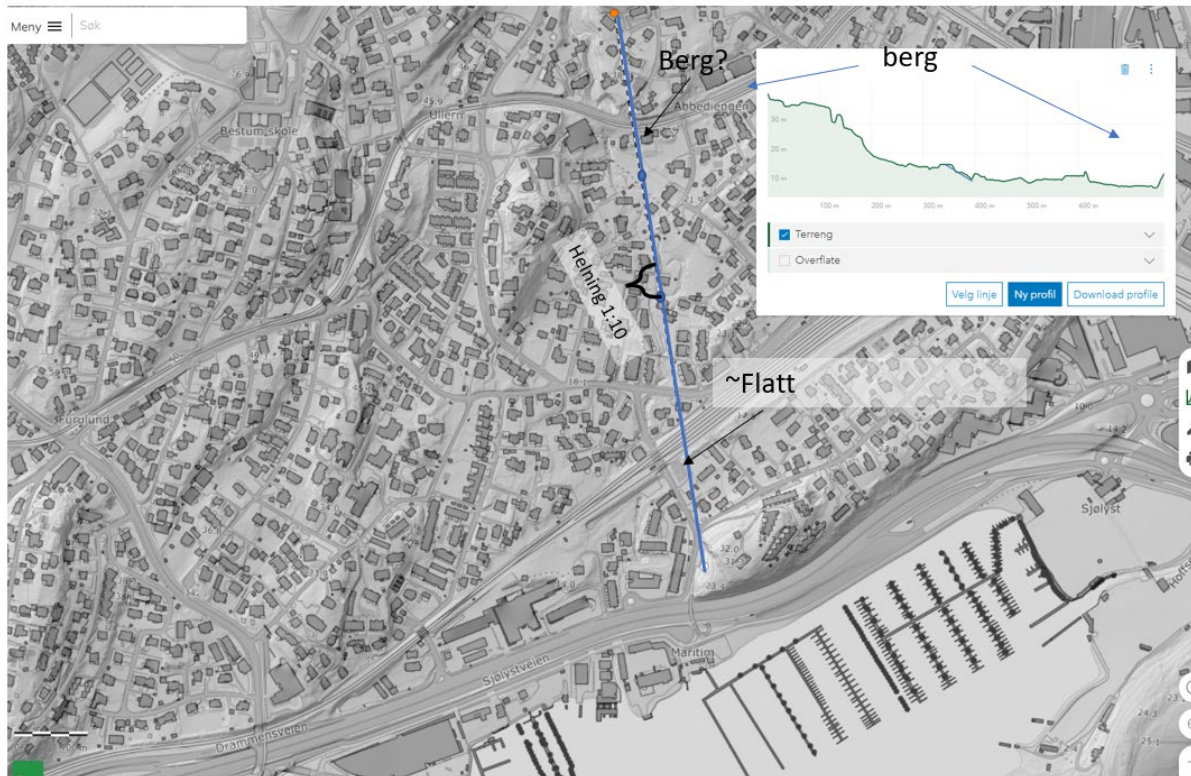


Figur 8-8 Snitt D, Skråning med skråningshelling på 1:18 har en totalskråningshøyde på ca. 11,9 m

8.1.3.5 Vurdering av snitt E

Figur 8-9 viser snitt E. Som figuren viser er det en skråning i dette snittet med helling på 1:10, og en total skråningshøyde på ca. 5 m. Dette snittet inneholder dermed et område som iht. terrengkriteriene kan være et mulig løsningsområde. Dette området ligger mer enn 100 meter unna tunnelen, og det er ikke ansett at tunnel kan påvirke stabiliteten så langt unna. Da det ikke er aktuelt å se på utløpsområde for en tunnel under bakken ser man dermed ikke videre på dette snittet.

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 24 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

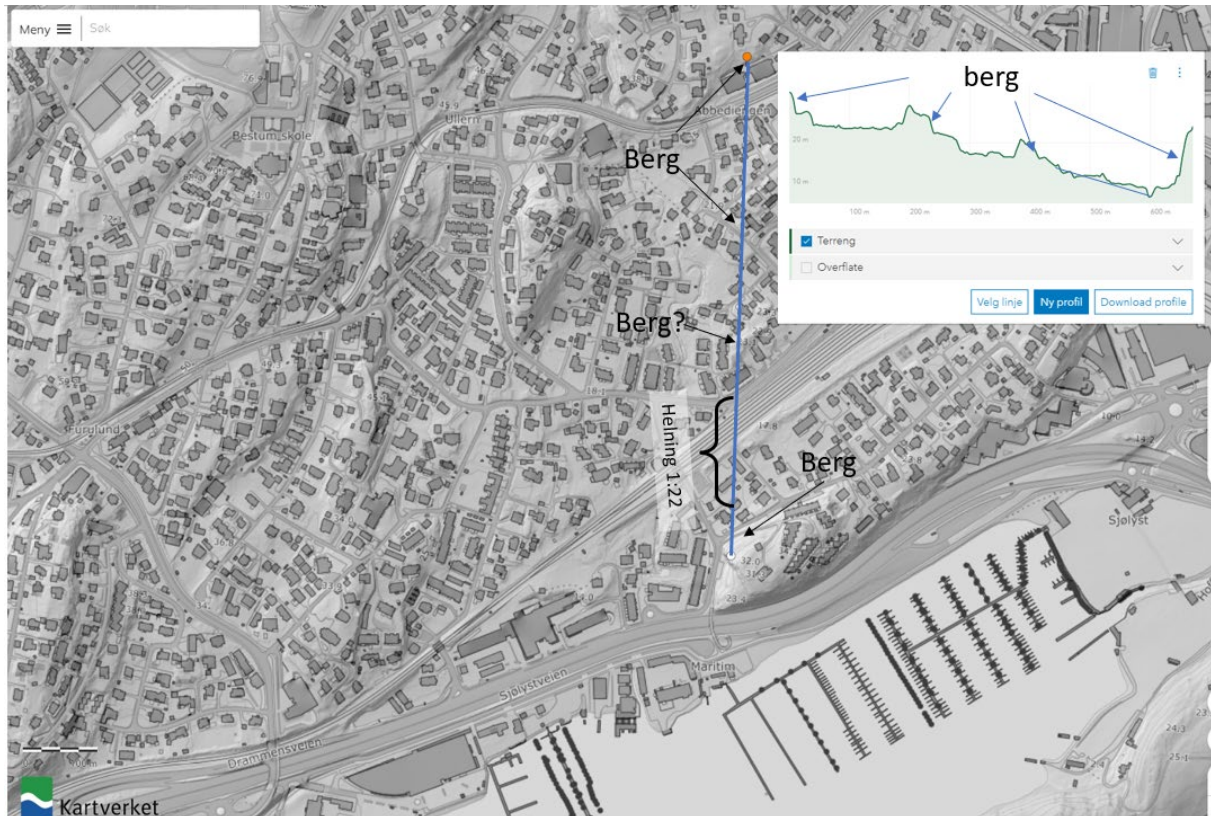


Figur 8-9 Snitt E, Skråning med skråningshelning på 1:10 har en totalskråningshøyde på ca. 5 m

8.1.3.6 Vurdering av snitt F

Figur 8-10 viser snitt F. Som figuren viser har terrenget i en del av dette snittet jevnt hellende terreng med helning på 1:22, og en total skråningshøyde på ca. 7,1 m. Det er dermed ikke funnet at terrenget i dette snittet kan være et mulig løsneområde.

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 25 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

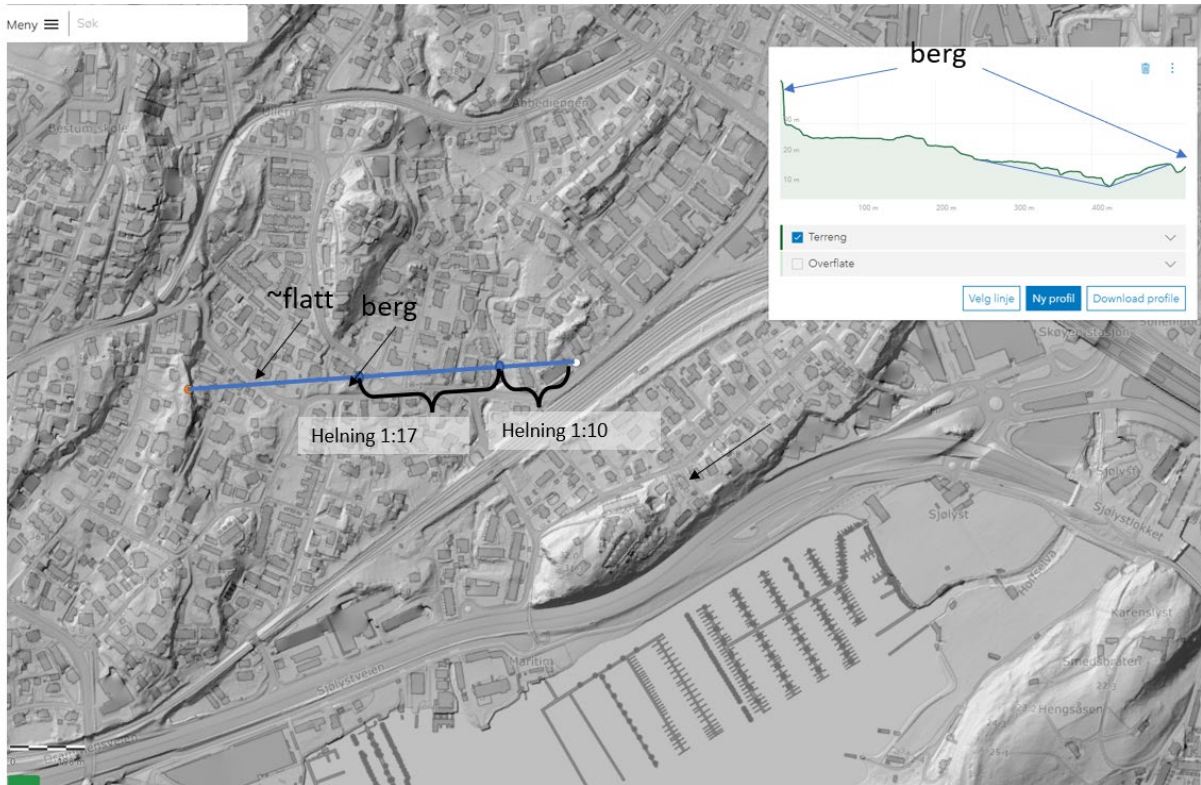


Figur 8-10 Snitt F, Skråning med skråningshelling på 1:22 har en totalskråningshøyde på ca. 7,1 m

8.1.3.7 Vurdering av snitt G

Figur 8-11 viser snitt G. Som figuren viser har terrenget helling ned mot Mærradalsbekken med jevnt hellende terreng med helling på 1:17 fra vest mot øst, og en total skråningshøyde på ca. 11,1 m. Fra øst mot vest har terrenget et jevnt hellende terreng med helling på 1:10 og total skråningshøyde på ca 7,5 m. Dette snittet inneholder dermed et område som iht. terrengkriteriene kan være et mulig løснеområde.

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 26 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

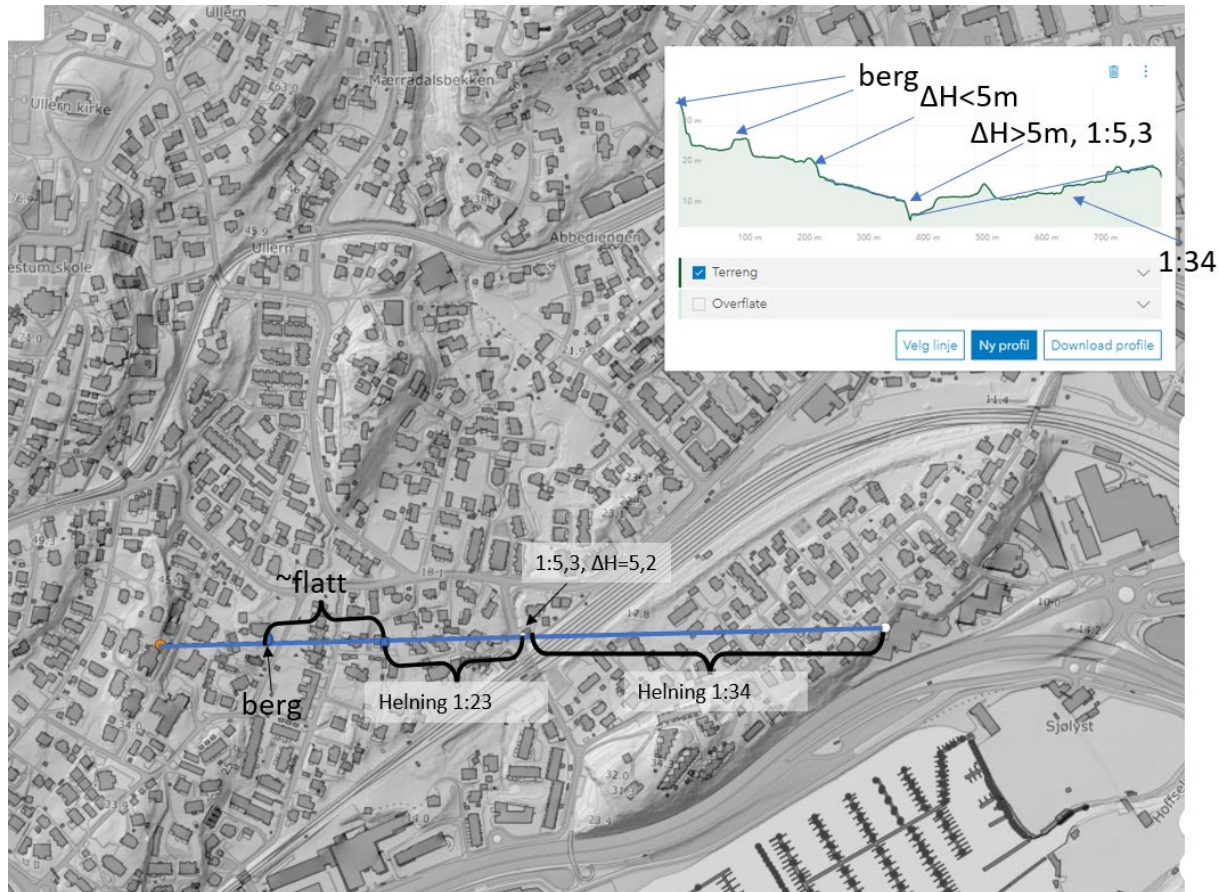


Figur 8-11 Snitt G, Skråning med skråningshelning på 1:17 har en total skråningshøyde på ca. 11,1 m, fra vest mot øst mot Mærradalsbekken. Skråning fra øst mot vest med skråningshelning på 1:10 og total skråningshøyde på ca 7,5 m

8.1.3.8 Vurdering av snitt H

Figur 8-12 viser snitt H. Som figuren viser er det en skråning ned mot Mærradalsbekken fra vest mot øst. Skråningshelningen her er ca. 1:5 og total skråningshøyde 5,2 m. Terrenget har videre bakover jevnt hellende terreng med skråningshelning 1:23 og total skråningshøyde på 6,1 m. Fra øst mot vest er det jevnt hellende terreng med helning på 1:34 fra vest mot øst, og en total skråningshøyde på ca. 11,6 m. Dette snittet inneholder dermed et område med en skråning som iht. terrengkriteriene kan være et mulig løснеområde.

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 27 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

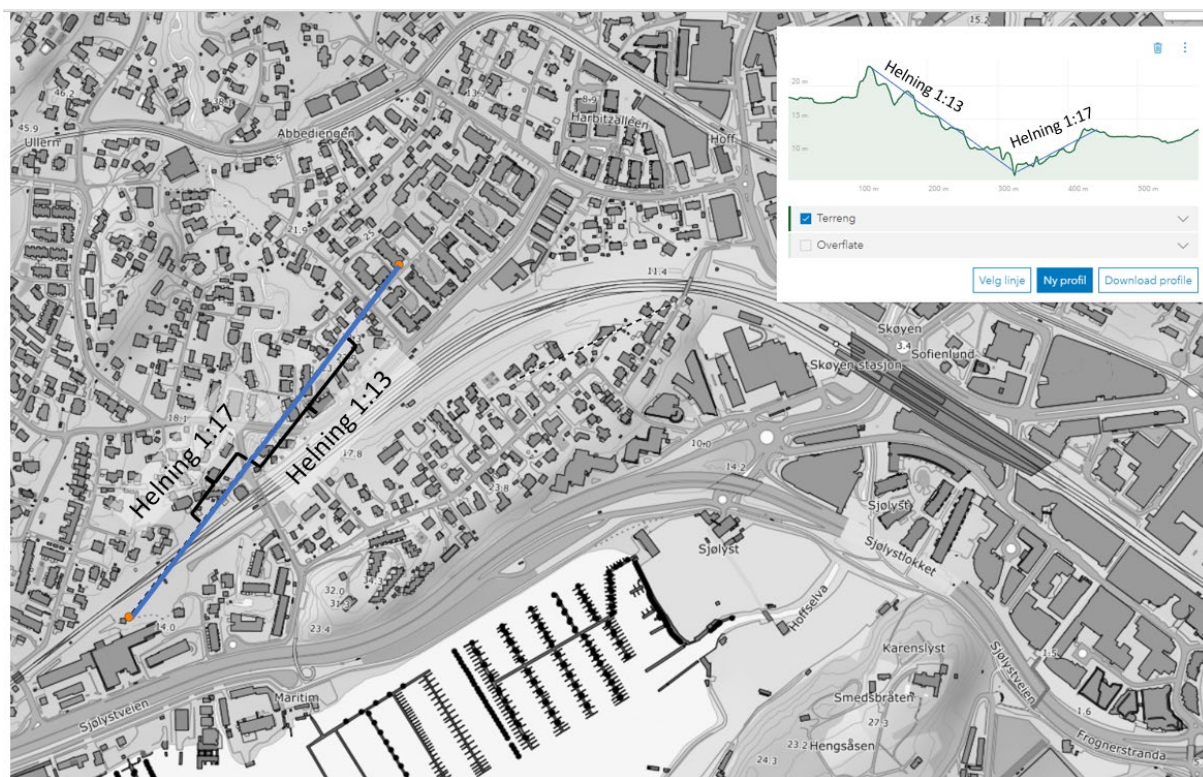


Figur 8-12 Snitt H, Skråning med skråningshelning på 1:23 har en total skråningshøyde på ca. 6,3 m, fra vest mot øst mot Mærradalsbekken ned mot selve bekken er en skråning med helning 1:5,3 og en skråningshøyde på 5,2 m. Fra øst mot vest er det jevnt hellende terreng med terrenghelning på 1:34 og total skråningshøyde på 11,6 m.

8.1.3.9 Vurdering av snitt I

Figur 8-13 viser snitt I. Som figuren viser er det en skråning ned mot Mærradalsbekken fra sørvest mot nordøst. Skråningshelningen her er ca. 1:17 og total skråningshøyde 6,7 m. Fra nordøst mot sørvest ned mot Mærradalsbekken er skråningshelningen 1:13 med en total skråningshøyde på ca. 15,9 m. Dette snittet inneholder dermed et område med skråninger som iht. terrengkriteriene kan være et mulig løseområde.

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 28 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

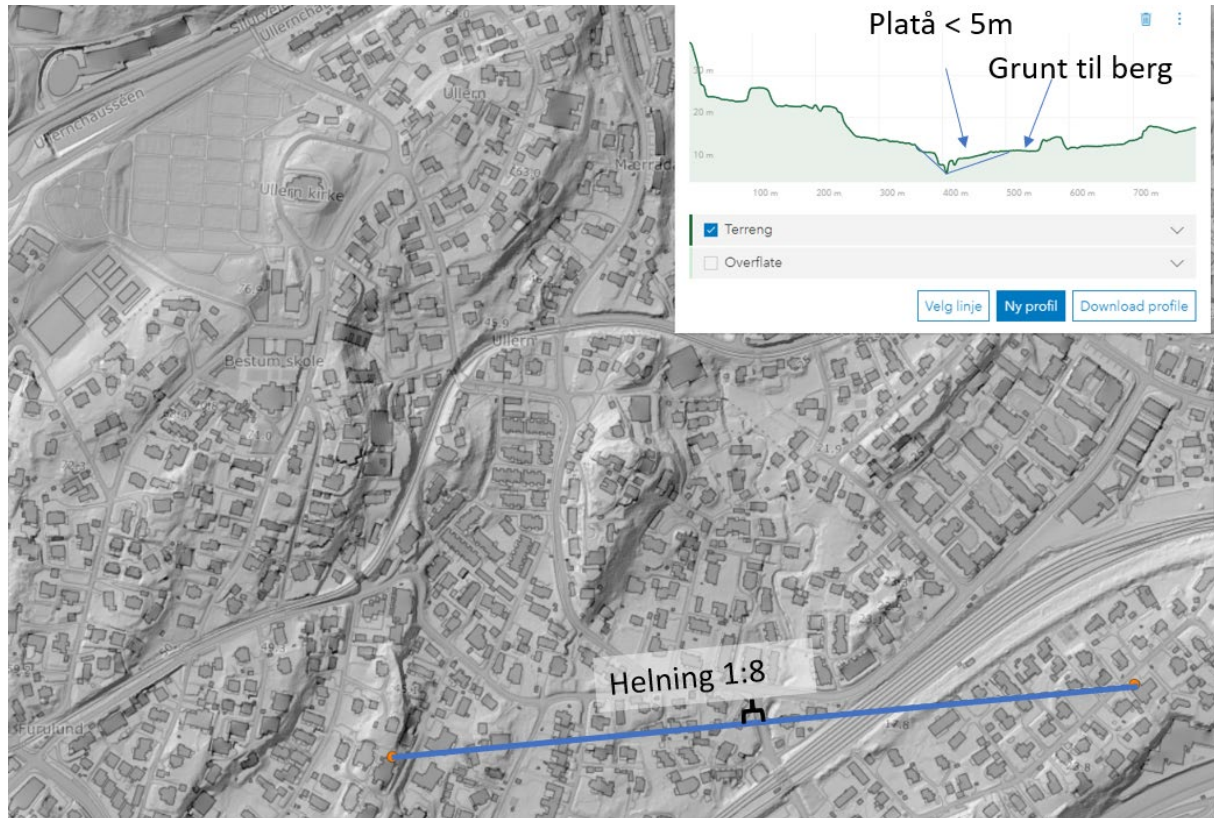


Figur 8-13 Snitt I, Skråning med skråningshelning på 1:17 har en total skråningshøyde på ca. 6,7 m, fra sørvest mot nordøst mot Mærradalsbekken. Fra nordøst mot sørvest er det jevnt hellende terreng med terrenghelning på 1:13 og total skråningshøyde på 15,9 m.

8.1.3.10 Vurdering av snitt J

Figur 8-14 viser snitt J. Som figuren viser er det en skråning ned mot Mærradalsbekken fra vest mot øst. Skråningshelningen her er ca. 1:8 og total skråningshøyde 7,5 m. Fra øst mot vest ned mot Mærradalsbekken har den første bratte skråningen total skråningshøyde < 5 m. Dersom man ser på et jevnt hellende terreng er skråningshelningen her 1:17 med en total skråningshøyde på ca. 5,2 m. Dette snittet inneholder dermed et område med skråninger som iht. terrengkriteriene kan være et mulig løснеområde fra vest mot øst.

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 29 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	



Figur 8-14 Snitt I, Skråning med skråningshelning på 1:8 har en total skråningshøyde på ca. 8,5 m, fra vest mot øst ned mot Mærradalsbekken.

8.1.3.11 Andre mulige aktsomhetsområder utenfor planområdet, vurdering av utløpsområde
For delen av prosjektområdet som omfatter tunnel vil det ikke være av betydning om området ligger i evt løснеområder fra andre løśnieområder som ligger høyere i terrenget, da tunnelen ikke går i dagen her. Andre mulige ovenforliggende aktsomhetsområder og vurdering av om utløpsområder for disse kan treffe området hvor det går tunnel under bakken er derfor ikke vurdert nærmere her.

For rømningstunnelen er det vurdert at denne ikke ligger innenfor andre utløpsområder enn løśnieområdet som blir definert over tunnel.

8.1.4 Bestemme tiltakskategori

I dette tilfellet er det ikke et tiltak i dagen som medfører større tilflytninger. Men dette gjelder driving av tunnel under et boligområde med mange boenheter. I tillegg kommer rømningstunnel fra t-banen ut i dagen sør for jernbanen her. Basert på dette settes tiltakskategori til K4.

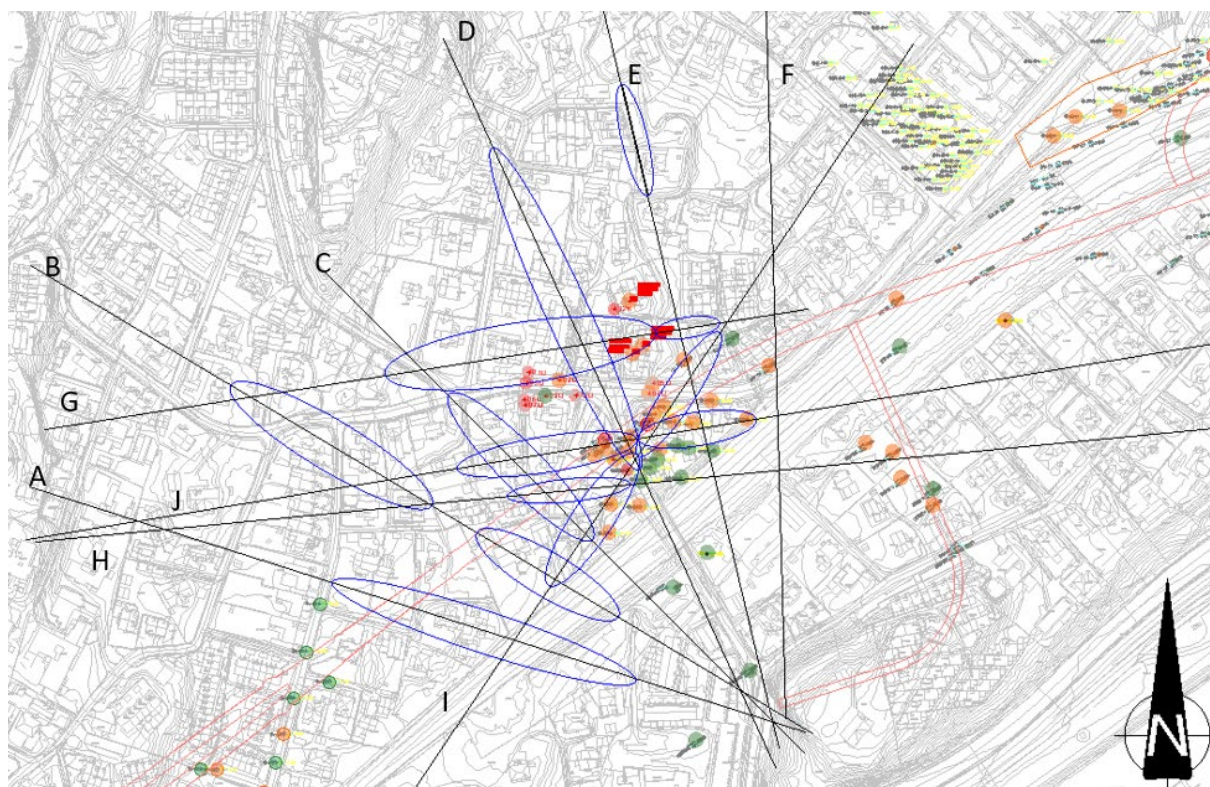
8.1.5 Identifikasjon av kritiske skråninger og mulige løśnieområder

Skråninger som er kritiske med tanke på terrenghelning og total skråningshøyde for snitt A til J er presentert i kapittel 8.1.3. Disse skråningene sammen med potensielt løøgneområde for aktuell skråning som tilsvarer en lengde på $15 \cdot H$ fra skråningsfot, hvor H er total skråningshøyde er skissert

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 30 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

med blå ellipser i Figur 8-15. Som figuren viser er det ingen kritiske skråninger i snitt F, dette snittet vil dermed ikke bli videre vurdert. Heller ikke skråninger med skråningshelning slakere enn 1:15 vil bli vurdert ytterligere i videre kapitler, da disse ikke er funnet å være kritisk med tanke på områdeskred. Dette gjelder snitt D, samt den ene skråningen i snitt G, I og J. Snitt H er heller ikke ansett som kritisk snitt da vi her har en skråning ned mot bekken som er akkurat over 5 m, mens snitt J har høyere skråning og lavere tunneloverdekning.

Løsneområdene er vurdert sammen med eksisterende grunnundersøkelser i området. Røde markeringer viser sprøbruddsmateriale dokumentert i prøveserier mens oransje markeringer viser grunnboringer som indikerer at det kan være sprøbrudd, men hvor det ikke er bekrefta med prøveserie. Grønne punkter viser prøveserier eller andre grunnboringer som ikke indikerer tilstedeværelse av sprøbrudd. Basert på de eksisterende grunnundersøkelsene kortet ned noen steder da det ikke er påvist sprøbruddsmateriale i disse områdene, men som figuren viser er det lite grunnundersøkelser i deler av området.



Figur 8-15 Snitt med markering av mulige løsneområder for områdeskred basert på terrengkriterier med lengde lik $15 \cdot H$.

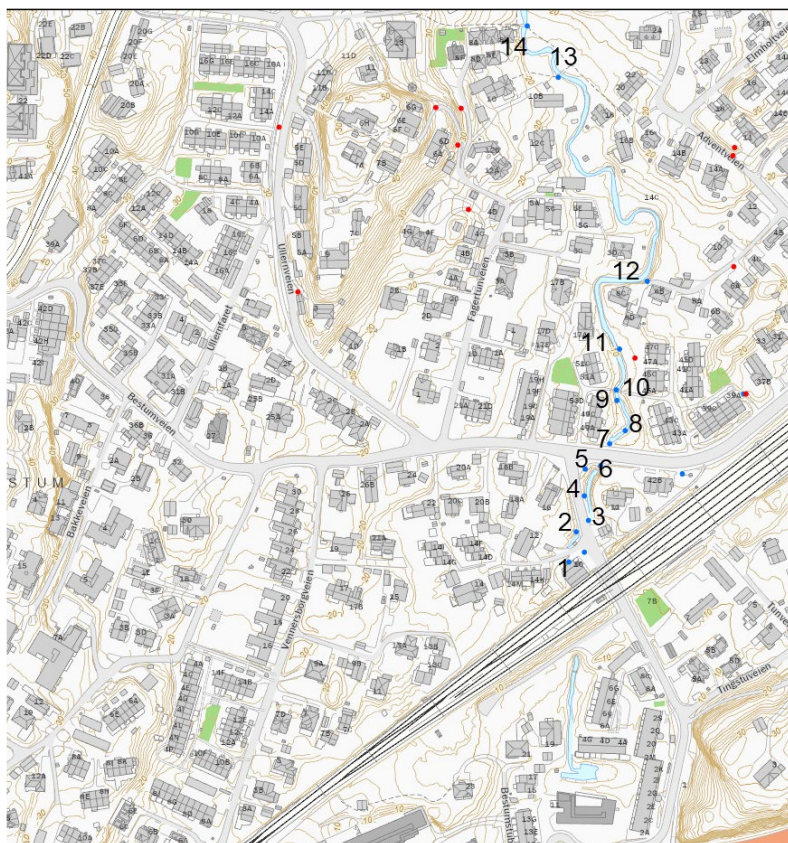
8.1.6 Befaring

Befaring ble utført 14.09.2022. Det meste av området ble dekket.

Befaringen ble utført fra offentlig vei, og det er ikke befart inne i private hager. På befaring ble det registrert berg i dagen, samt sett på evt. erosjon i bekken. Figur 8-16 viser punktene som er registrert

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 31 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

på befaringen. Røde punkter viser registrert berg i dagen, mens blå punkter viser punkter hvor det ble lagt inn foto. Berg i dagen punktet som ligger nærmest bekken er noe usikkert. Dette stemmer dårlig overens med bergmodellen i området, og kan derfor ha vært en større stein.



Figur 8-16 Punkter registrert på befaring. På blå punkter er det lagt inn bilder og røde punkter markerer hvor det er lagt inn punkt for berg i dagen

Figur 8-17 til Figur 8-28 viser bilder tatt av bekk i forbindelse med befaringen. Som bildene viser er det stedvis støpte vegger, samt noen steder tørrsteinsmurer langs bekken. Dette er spesielt i forbindelse med at bekken går under Sigurd Iversens vei og Bestumveien, se Figur 8-17 og Figur 8-20. Det er også naturlig erosjonssikring med steinbelagt bunn og sider flere steder langs bekken.

På bildene spesielt i Figur 8-19 og også noe på Figur 8-25 ser man tegn til litt erosjon med synlige røtter på trær. Det er ikke observert synlige skred eller overflateglidninger.

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 32 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	



Figur 8-17 Bilder fra befaring, punkt 2 til venstre og punkt 3 til høyre.



Figur 8-18 Bilder fra befaring, punkt 4 til venstre retning nedover mot toglinje. Til høyre oppover mot Sigurd Iversens vei

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 33 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	



Figur 8-19 Bilder fra befaring, punkt 5 til venstre, og punkt 6 i midten og til høyre



Figur 8-20 Bilder fra befaring, punkt 7

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 34 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	



Figur 8-21 Bilder fra befaring, punkt 8



Figur 8-22 Bilder fra befaring, punkt 9, sett nedover elv

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 35 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	



Figur 8-23 Bilder fra befaring, punkt 9 sett oppover elv



Figur 8-24 Bilder fra befaring, punkt 10



Figur 8-25 Bilder fra befaring, punkt 11

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 36 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	



Figur 8-26 Bilde fra befaringspunkt 12, relativt bratt skråning ned mot bekk



Figur 8-27 Bilder fra befaringspunkt 13

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 37 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	



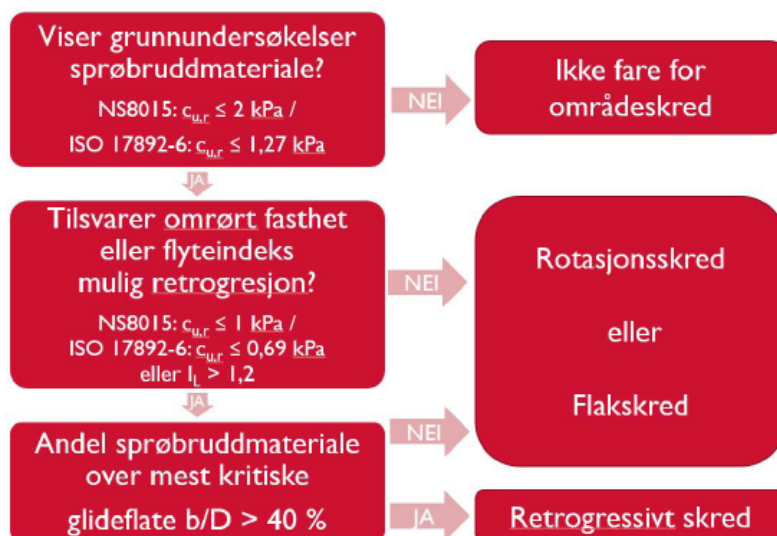
Figur 8-28 Bilder fra befaring, punkt 14

8.1.7 Grunnundersøkelser

Grunnundersøkelser er utført i innenfor planområdet til Fornebubanen i flere runder, og det er utført supplerende undersøkelser i dyprenna rett over tunnelen. Utenfor er det innhentet informasjon fra NADAG og PBE. Flere borpunkter er brukt som grunnlag for berg- og løsmassemodell, og flere eldre prøveserier viser det som tyder på sprøbruddsmateriale.

8.1.8 Aktuelle skredmekanismer og avgrensning av løsne- og utløpsområder

Data fra grunnundersøkelser, befaring og detaljert vurdering av topografi gir sammen med kriterier i flytskjema i [1] Figur 8-29, grunnlag for å avgrense mulige løsneområder nærmere.



Figur 8-29: Flytskjema for vurdering av skredmekanisme [1]

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 38 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

Retrogressive skred opptrer når mektigheten av kvikkleire/sprøbruddmaterialer er mer enn 40 % over kritisk glideflate. Retrogressive skred med utstrømming av leire opptrer når omrørt skjærfasthet er lavere enn 1 kPa ($c_{ur} < 1 \text{ kPa}$). Det påpekes at kriteriet for omrørt skjærfasthet kun gjelder ved konusforsøk [5].

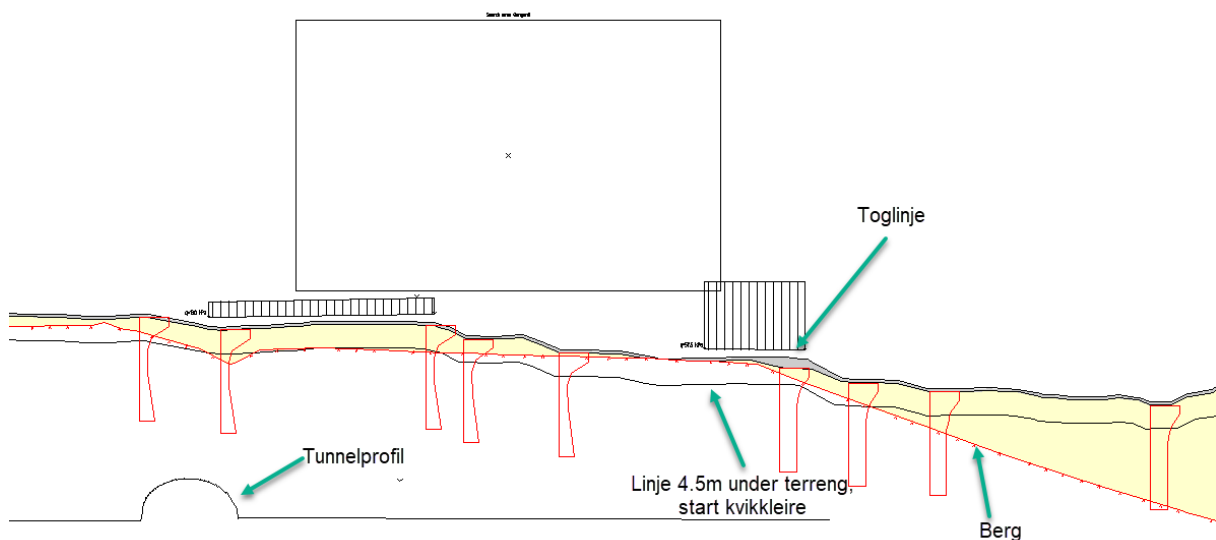
I det følgende gjøres vurderinger for de forskjellige snittene for å se hvilken skredmekanisme som kan være aktuell. b/D forholdet vurderes i henhold til figur 4.4 til 4.6 i veilederen fra NVE [1].

8.1.8.1 Vurdering av snitt A

Foreliggende terrengmodell og bergmodell i området er lagt til grunn. Det er lite tilgjengelige grunnundersøkelser for snitt A, men bergmodellen inneholder enkelte punkter fra VAV. Lagdelingen er antatt lik som beskrevet i kapittel 4.

Figur 8-30 viser den delen av profil A som har terrenghelning som tilsvarer mulig løснеområde. På figuren er også en linje for topp sprøbruddsmateriale tegnet inn 4,5 m under terreng. Nedenfor for jernbanen (til høyre på figuren) er det som nevnt over ikke påvist sprøbrudd.

Overdekning over tunnel er ca 22,5m i dette snittet. Fra figuren under ser man at det basert på foreliggende bergmodell er så grunt til berg at det ikke foreligger sprøbruddsmateriale i profilet. Dette da det forutsettes at sprøbruddsmaterialet ligger minimum 4,5 m under terreng. Snitt A vurderes dermed å ikke ha fare for områdeskred og vurderes ikke videre i denne rapporten.



Figur 8-30 Profil A, del av profil med terrengkriterier som tilsvarer mulig løśnieområde

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 39 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

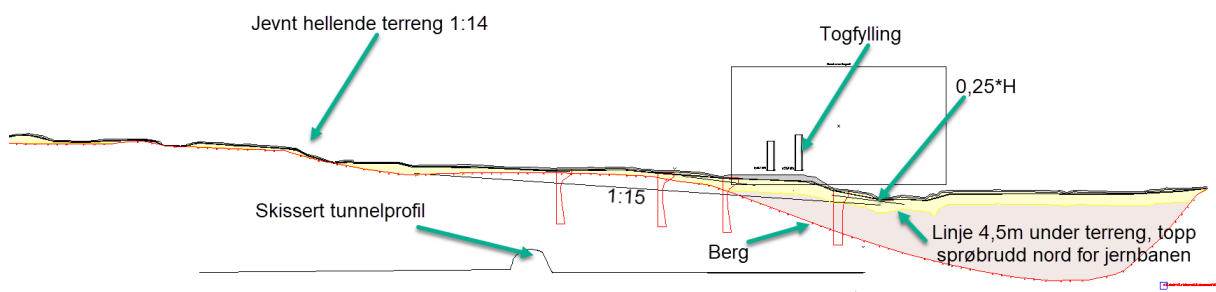
8.1.8.2 Vurdering av snitt B

Foreliggende terrengmodell og bergmodell i området er lagt til grunn. Det er lite tilgjengelige grunnundersøkelser for snitt B, men bergmodellen inneholder enkelte punkter fra VAV. Lagdelingen er antatt lik som beskrevet i kapittel 4.

Figur 8-31 viser den delen av profil B som har terrenghelning som tilsvarer mulig løsneområde. På figuren er det lagt inn fyllmasser i øvre 0,5 m og også en linje for topp sprøbruddsmateriale tegnet inn 4,5 m under terreng. Under togfylling er både topplag og linje for topp sprøbrudd tilpasset i forhold til et antatt naturlig terreng, da geometri av togfyllingen tilsier at den er fylt opp på eksisterende terreng. Nedenfor for jernbanen (til høyre på figuren) er det som nevnt over ikke påvist sprøbrudd, nøyaktig overgang mellom sprøbrudd og ikke sprøbrudd er ikke kjent.

Fra figuren under ser man at for den øverste skråningen med helning 1:14 er det i henhold til foreliggende bergmodell grunt til berg og dermed ikke sprøbruddsmateriale. I denne skråningen er det dermed ikke fare for at dette er et løsneområde for område-skred. Overdekning over tunnel er i dette snittet ca 24,5 m.

For den nederste skråningen, skråningen for togfylling er det dypere til berg og en brattere skråning. Skråningen ligger ca 85 m unna tunnel. Det er ikke påvist sprøbruddsmateriale sør for jernbanefyllingen, men det er usikkerheter rundt nøyaktig skille mellom sprøbrudd og ikke. Dersom man ser på en linje med helning 1:15 plassert $0,25 \cdot H$ under skråningsfot ser man at b/D forholdet tilsvarer at <40% av bruddsirkelen går gjennom det som potensielt kan være sprøbrudd under togfyllingen. Retrogressivt brudd er derfor ikke en aktuell skredmekanisme. Aktuell skredmekanisme vil være rotasjonsskred, med løsneområde $< 5 \cdot H$ og utløpsområde $0,5 \cdot \text{lengden av løsneområdet}$. Med en skråningshøyde på 7,5 m tilsvarer dette løsneområde på maksimalt 37,5 m og utløpsområde på 19 m.



Figur 8-31 Profil B, del av profil med terrengkriterier som tilsvarer mulig løsneområde

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 40 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

8.1.8.3 Vurdering av snitt C

Foreliggende terrengmodell og bergmodell i området er lagt til grunn. Det er lite tilgjengelige grunnundersøkelser for snitt C, men det er nå nærmere de borpunktene på Bestum som ligger lengst vest, samt at bergmodellen inneholder enkelte punkter fra VAV. Lagdelingen er antatt lik som beskrevet i kapittel 4.

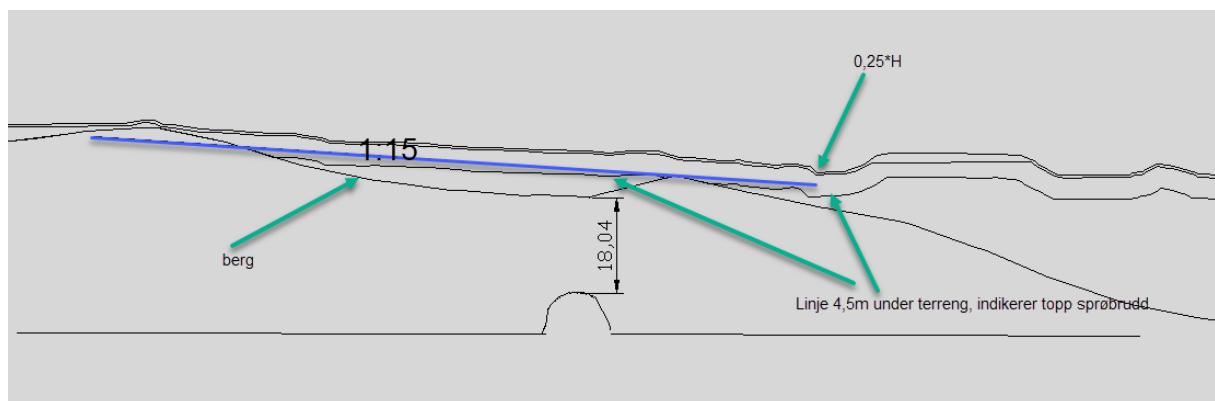
Figur 8-32 og Figur 8-33 viser den delen av profil C som har terrenghelning som tilsvarende mulig løснеområde. På figuren er 4,5 m under terreng markert rosa. Nedenfor for jernbanen (til høyre på figuren) er det som nevnt over ikke påvist sprøbrudd.

Selve togfyllingen har her en total høyde på $< 5\text{ m}$, og denne er derfor ikke vurdert videre. Til venstre for togfyllingen heller terrenget med en helning 1:15, total skråningshøyde er 9,1 m.

Overdekning over tunnel er her ca. 18 m.

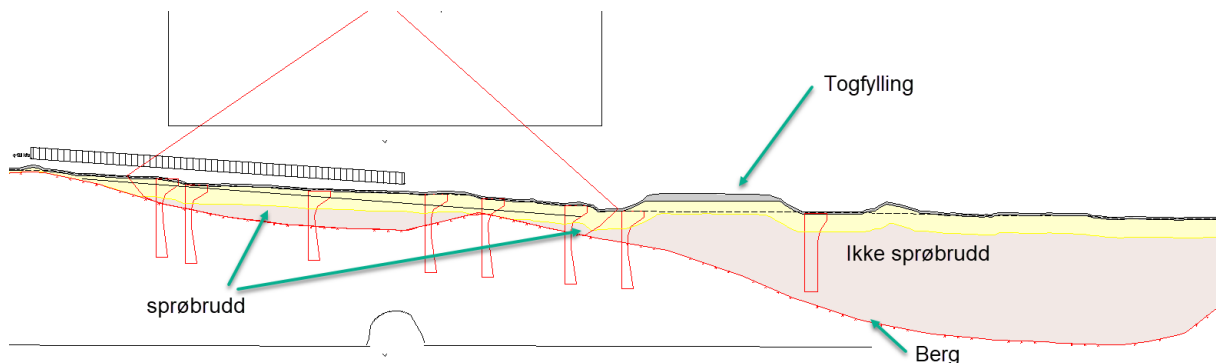
1:15 linjen er i Figur 8-32 lagt $0,25 \cdot H$ under skråningsfot. Som figuren viser så er denne linja akkurat ikke innom sprøbruddsmaterialet.

Vi har altså et b/D forhold som er mindre enn 40%, og basert på dette er det ikke fare for retrogressivt brudd i dette snittet. Men et rotasjonsskred eller flakskred vil være mulig. Flakskred er funnet å ha en høyere sikkerhetsfaktor enn klassisk skjærsirkel, og rotasjonsskred er dermed funnet å være aktuell skredmekanisme. Løsneområdet vil da være $< 5 \cdot H$ og utløpsområde $0,5 \cdot \text{lengden av løsneområdet}$. Med en skråningshøyde på 9,1 m tilsvarende dette løsneområde på maksimalt 45,5 m og utløpsområde på 23 m.



Figur 8-32 Terreng og linjer for lagdeling sammen med linje med helning 1:15

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 41 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	



Figur 8-33 Profil C, del av profil med terrengkriterier som tilsvare mulige løseområde

8.1.8.4 Vurdering av snitt G

Foreliggende terrengmodell og bergmodell i området er lagt til grunn. Det er en del tilgjengelige grunnundersøkelser relativt nærme det dypeste partiet av snittet.

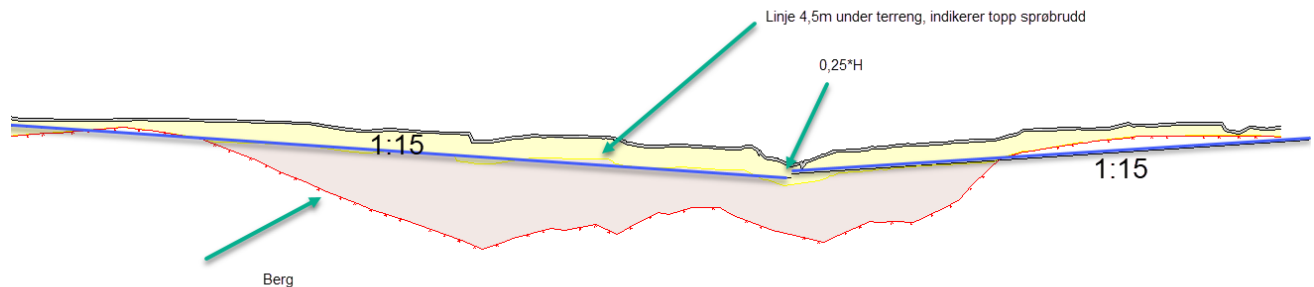
Figur 8-34 viser den delen av profil G som har terrenghelning som tilsvare mulige løseområde. Fra venstre mot høyre ned mot det dypeste partiet har terrenget en jevn helning på 1:17, mens det fra høyre mot venstre ned mot det dypeste har en generell terrenghelning på 1:10. På figuren er 4,5 m under terreng markert rosa.

Dette snittet går ikke direkte over tunnel, men tunnelen ligger ca 7,5m ut av planet helt til høyre på Figur 8-34. Avstand til tunnel øker mot venstre på figuren. Se for øvrig Figur 8-15 for plassering av snitt i forhold til tunnel.

1:15 linjen er i Figur 8-34 lagt $0,25 \cdot H$ under skråningsfot i begge retninger. Som figuren viser så er denne linja så vidt innom sprøbruddsmaterialet for linja som heller nedover fra venstre mot høyre. For den andre siden er 1:15 linja hele tiden over sprøbruddsmaterialet. Vi har altså et b/D forhold som er mindre enn 40%, og basert på dette er det ikke fare for retrogressivt brudd i dette snittet. Rotasjonsskred eller flakskred vil være mulig. Beregninger viser tilnærmet lik sikkerhetsfaktor for de to bruddmekanismene, og begge vil derfor kunne være aktuell. Flakskred gir lengst løseområdet, og løseområdet her vil derfor bli satt basert på denne. Utløpsområdet er satt til $0,5 \cdot L$.

Basert på stabilitetsberegninger i kapittel 8.1.10.4 er løseområdet for flakskred 122 m, tilhørende utløpsområde blir da 61 m.

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 42 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	



Figur 8-34 Snitt G, del av snitt med terrenghelning som tilsvarer mulig løsneområde. Tunnelen går ikke direkte under dette snittet, men ligger ca 7,5 m ut av planet helt til høyre i snittet. Avstanden til tunnel øker mot venstre, se for øvrig Figur 8-15 for plassering av tunnel i forhold til snitt

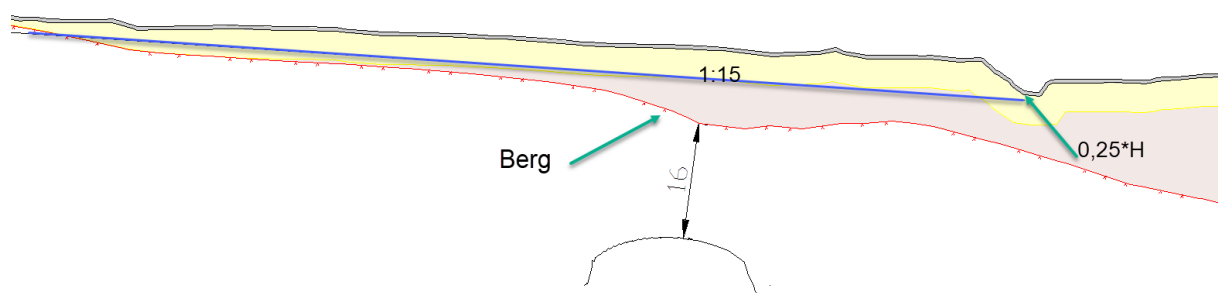
8.1.8.5 Vurdering av snitt H

Foreliggende terrengmodell og bergmodell i området er lagt til grunn. Det er en del tilgjengelige grunnundersøkelser tilgjengelig i og rundt det dypeste partiet av snittet.

Figur 8-35 viser den delen av profil H som har terrenghelning som tilsvarer mulig løsneområde. Det er i dette området et platåterreng med helning på ca 1:5 ned mot bekken. Bekken ligger i det dypeste partiet. Total høydeforskjell på skråningen er 5,2 m. Bak dette heller terrenget jevnt med en helning på ca 1:23.

Tunnelen har i dette snittet en bergoverdekning på 16 m.

1:15 linjen er i figur Figur 8-35 lagt 0,25*H under skråningsfot. Som figuren viser så er denne innom sprøbruddsmaterialet, men forholdet her er 0,88/5,88, altså har vi <40% sprøbruddsmateriale, og retrogressivt brudd er utelukket. Rotasjonsskred eller flakskred vil være mulig. Da dette snittet ligger relativt nærme snitt J og snitt J har større skråningshøyde, samt lavere overdekning over tunnel så er snitt J funnet å være mer kritisk, det er derfor ikke utført stabilitetsberegninger for dette snittet.



Figur 8-35 Snitt H, del av snitt med terrenghelning som tilsvarer mulig løsneområde. Rosa materiale er sprøbrudd

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 43 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

8.1.8.6 Vurdering av snitt I

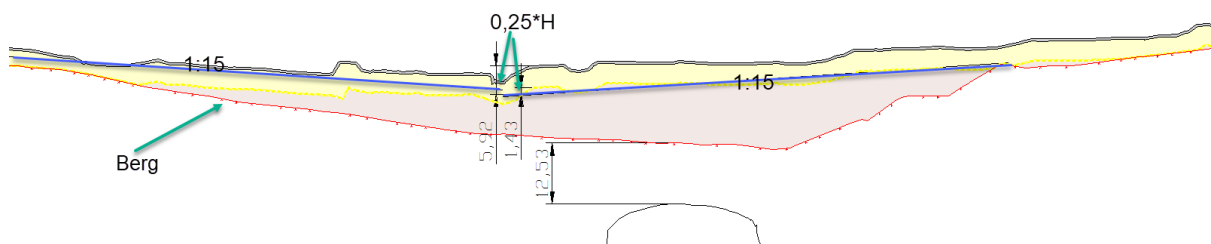
Foreliggende terrengmodell og bergmodell i området er lagt til grunn. Det er en del tilgjengelige grunnundersøkelser tilgjengelig i og rundt det dypeste partiet av snittet.

Figur 8-36 viser den delen av profil I som har terrenghelning som tilsvarer mulig løснеområde. Fra venstre mot høyre er det terreng med skråningshelning på 1:17 med total høydeforskjell på 6,7. Fra høyre mot venstre er det terreng med skråningshelning på 1:13 og total skråningshøyde på 12,5 m. Bekken ligger i det dypeste partiet.

Tunnelen har i dette snittet en bergoverdekning på 12,5 m.

1:15 linjen er i Figur 8-36 lagt 0,25*H under skråningsfot i begge retninger. For linje fra venstre til høyre er ikke denne linja innom sprøbruddsmateriale, og vi har dermed ikke fare for retrogressivt skred i denne retningen. Her er også helningen < 1:15, og videre utredning utgår.

For skråningen fra høyre mot venstre er 1:15 linja innom sprøbruddsmaterialet. Her er forholdstallet på snittet med høyest andel sprøbrudd $1,43/5,92 = 0,24$, altså har vi <40% sprøbruddsmateriale, og retrogressivt brudd er utelukket. Rotasjonsskred eller flakskred vil være mulig. Flakskred er funnet å ha en høyere sikkerhetsfaktor enn klassisk skjærsirkel, og rotasjonsskred er dermed funnet å være aktuell skredmekanisme. Løsneområdet vil da være < 5*H og utløpsområde 0,5*lengden av løsneområdet. Med en skråningshøyde på 12,5 m tilsvarer dette løsneområde på maksimalt 62,5 m og utløpsområde på 31,3 m.



Figur 8-36 Snitt I, del av snitt med terrenghelning som tilsvarer mulig løøgneområde. Rosa materiale er sprøbrudd

8.1.8.7 Vurdering av snitt J

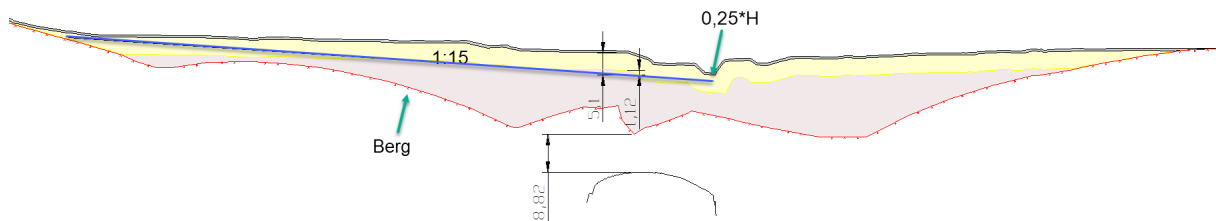
Foreliggende terrengmodell og bergmodell i området er lagt til grunn. Det er en del tilgjengelige grunnundersøkelser tilgjengelig i og rundt det dypeste partiet av snittet.

Figur 8-36 viser den delen av profil J som har terrenghelning som tilsvarer mulig løøgneområde. Fra venstre mot høyre er det terreng med skråningshelning på 1:8 med total høydeforskjell på 7,5. Bekken ligger i det dypeste partiet. På andre siden av bekken har terrenget en helning på 1:17, dette er helning på < 1:15 og denne skråningen sees ikke videre på.

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 44 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

Tunnelen har i dette snittet en bergoverdekning på 8,8 m.

1:15 linjen er i Figur 8-36 lagt $0,25 \cdot H$ under skråningsfot. 1:15 linja går innom sprøbruddsmaterialet. Her er forholdstallet på snittet med høyest andel sprøbrudd $1,43/5,92 = 0,24$, altså har vi $< 40\%$ sprøbruddsmateriale, og retrogressivt brudd er utelukket. Rotasjonsskred eller flakskred vil være mulig. Klassisk skjærsirkel gir lavere sikkerhetsfaktor enn flakskred. Rotasjonsskred er derfor funnet å være aktuell skredmekanisme. Løsneområdet vil da være $< 5 \cdot H$ og utløpsområde $0,5 \cdot$ lengden av løsneområdet. Med en skråningshøyde på 7,5 m tilsvarer dette løsneområde på maksimalt 37,5 m og utløpsområde på 19 m.

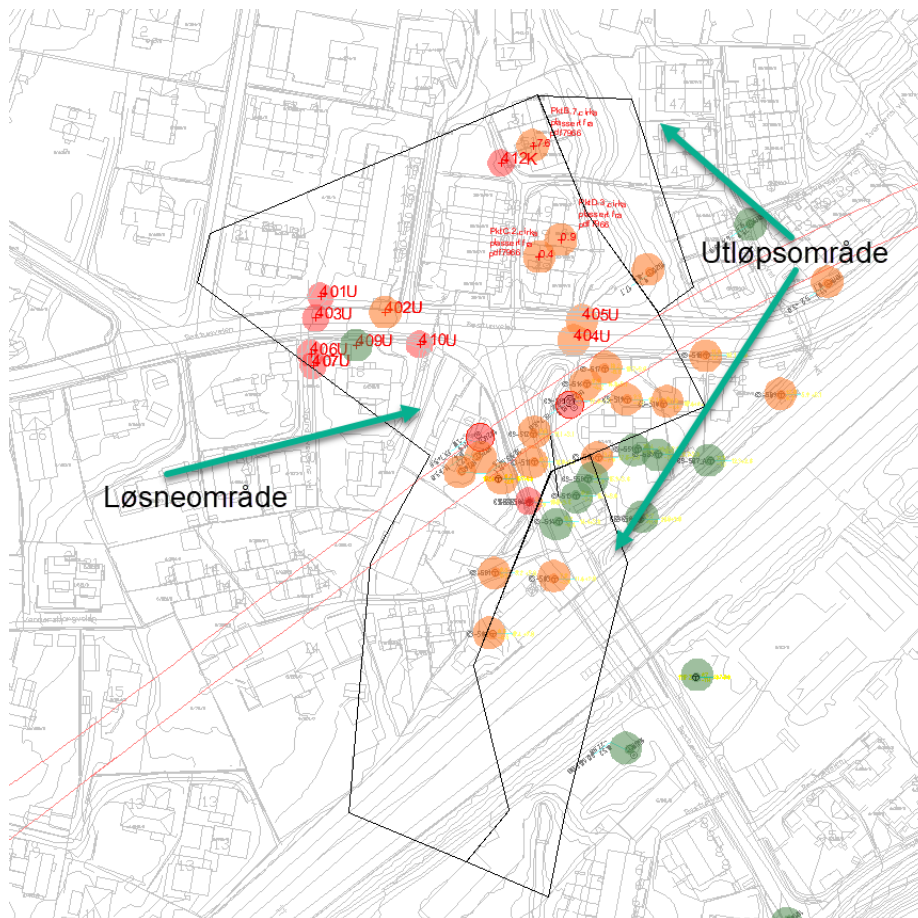


Figur 8-37 Snitt J, del av snitt med terrenghelning som tilsvarer mulig løsneområde. Rosa materiale er sprøbrudd

8.1.8.8 Resulterende geometri faresone

Faresone og utløpsområde er skissert opp basert på vurderinger av mulige skredmekanismer i de forskjellige snittene. Løsneområdene i snittene er slått sammen til et felles løsneområde. Utløpsområdet er også vurdert basert på utløpsområder for de forskjellige snittene. I øvre del forventes det at utløpsområdet havner i bekken. Også i nedre del forventes at utløpsområdet i hovedsak vil ende i bekken og under togbanen, da det er denne retningen terrenget heller i området. Snitt B og C vil kunne bidra til at utløpsområdet også kan ende opp på jernbanefyllingen. Basert på litt forskjellige retninger på terrenghelningen i løsneområdet er det to soner som er markert med utløpsområde.

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 45 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	



Figur 8-38 Faresone med løsneområde og utløpsområde

8.1.9 Klassifisering av faresone

Faresonen klassifiseres med faregrad og konsekvens. Utløpsområdet får samme faregrad som løsneområdet. Konsekvens klassifiseres samlet for sonens løsne- og utløpsområde. Faregrad og konsekvens gir sonens risikoklasse. Metode beskrevet i [12] benyttes i klassifiseringen.

Mulig erosjon i eller inn mot faresoner må vies særlig oppmerksomhet. Det er registrert en bekk i bunnen av skråningen, i løsneområdet. Slik bekken foreligger i dag er det litt tegn til erosjon, men også en del naturlig erosjonssikring det vurderes at tiltak for å hindre erosjon ikke er nødvendig. Det anbefales likefullt at erosjon i bekken følges opp videre.

Faregraden for Bestum er evaluert på bakgrunn av tabell og anbefaling i [12]. Basert på klassifiseringen vil faresonen ved Bestum oppnå «**middels faregrad**», Tabell 8-2. Soner med middels faregrad vil, relativt sett, ha lav sannsynlighet for at skred vil inntreffe.

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 46 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

Tabell 8-2: Faregradsklassifisering av faresone ved Bestum.

Faktorer	Vekttall	Score	Poeng	Begrunnelse
Tidligere skredaktivitet	1	0	0	Ikke registrert noen skredhendelser
Skråningshøyde, meter	2	0	0	Skråningshøyde er mindre enn 15 m.
Tidligere/nåværende terrengnivå (OCR)	2	3	6	OCR <1,2 forutsatt. Lite/ingen dokumentasjon av OCR i området.
Poretrykk. Overtrykk, kPa: Undertrykk, kPa:	3 -3	2	6	Måling av poretrykk indikerer poreovertrykk i enkelte punkter på opp til 3,5m over terreng i verste punkt dersom man ser på maksimalt poretrykk. Også andre målere som viser noe poreovertrykk, men lavere i disse. De fleste viser ikke poreovertrykk.
Kvikkleiremektighet	2	3	6	Stor mektighet av sprøbruddmateriale sammenlignet med skråningshøyde, mektighet i kritiske snitt er vurdert å være opp til 8,5 m.
Sensitivitet	1	2	2	Sensitiviteten er i hovedsak mellom 100 og 30 i sprøbruddsmaterialet. Men noen få punkter visere noe høyere, mens andre punkter viser lavere
Erosjon	3	1	3	Noe synlig erosjon, røtter er synlige enkelte steder. Ikke synlige skred eller overflateglidninger. Stedvis naturlig erosjonssikring, enkelte steder også erosjonssikring i form av støpte vegger og tørrsteinsmurer. Score for lite erosjon er derfor valgt
Inngrep: Forverring Forbedring	3 -3	0	0	Mye menneskelige inngrep i form av bygg, veier og toglinjer.
Sum			23	
% av maksimal poengsum			45,1	
Faregrad			MIDDELS	

Skadekonsekvensklasse vurderes ut fra fare for at liv kan gå tapt, skade på mennesker, økonomiske og verdiforringelse, samt fare for at viktige samfunnsmessige funksjoner skal stoppe opp. På Bakgrunn av evalueringen som er utført for Bestum havner faresonen i konsekvensklasse «**meget alvorlig**», Tabell 8-3.

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 47 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

Tabell 8-3: Evaluering av skadekonsekvens for Bestum.

Faktorer	Vekttall	Konsekvens, score	Poeng	Begrunnelse
Boligheter, antall	4	3	12	Det er registrert flere rekkehus og eneboliger innenfor løsneområdet, flere enn 5, og området havner i kategorien tett bebyggelse
Næringsbygg, personer	3	1	3	Lama AS ligger nede ved toglinjen. Antatt <10 ansatte.
Annen bebyggelse, verdi	1	0	0	I all hovedsak boligbygg med tilhørende garasjer/uthus.
Vei, ÅDT	2	2	4	ÅDT fra Oslo kommunes registreringer er prognose på 2000 for Bestumveien.
Toglinje, bruk	2	3	6	Vestbanen ut av Oslo går gjennom faresonen
Kraftnett	1	0	0	Ingen kjente kraftlinjer i området.
Oppdemming og flodbølge	2	3	6	Bekk i bunn av løsneområdet. Denne kan bli tettet/demt opp ved et eventuelt skred.
Sum poeng			31	
% av maksimal poengsum			68,9%	
Konsekvensklasse			Meget alvorlig	

Risikoklasse defineres fra evalueringen av skadekonsekvens og faregrad, Risiko=skadekonsekvens x faregrad. Det er verdien for % av maksimal poengverdi som benyttes. For Madserud gir dette:

$$\text{Risiko} = 68,9 \times 45,1 = 3107$$

Dette gir at faresone Madserud havner i «**risikoklasse 4**».

8.1.10 Stabilitetsberegninger

Det er utført stabilitetsberegninger i kritiske snitt, både drenerte og udrenert beregninger. Dette kapittelet presenterer både design parametere brukt i beregninger og resultat fra stabilitetsberegningene i de ulike snittene. Beregningene er utført i beregningsprogrammet Geosuite Stability.

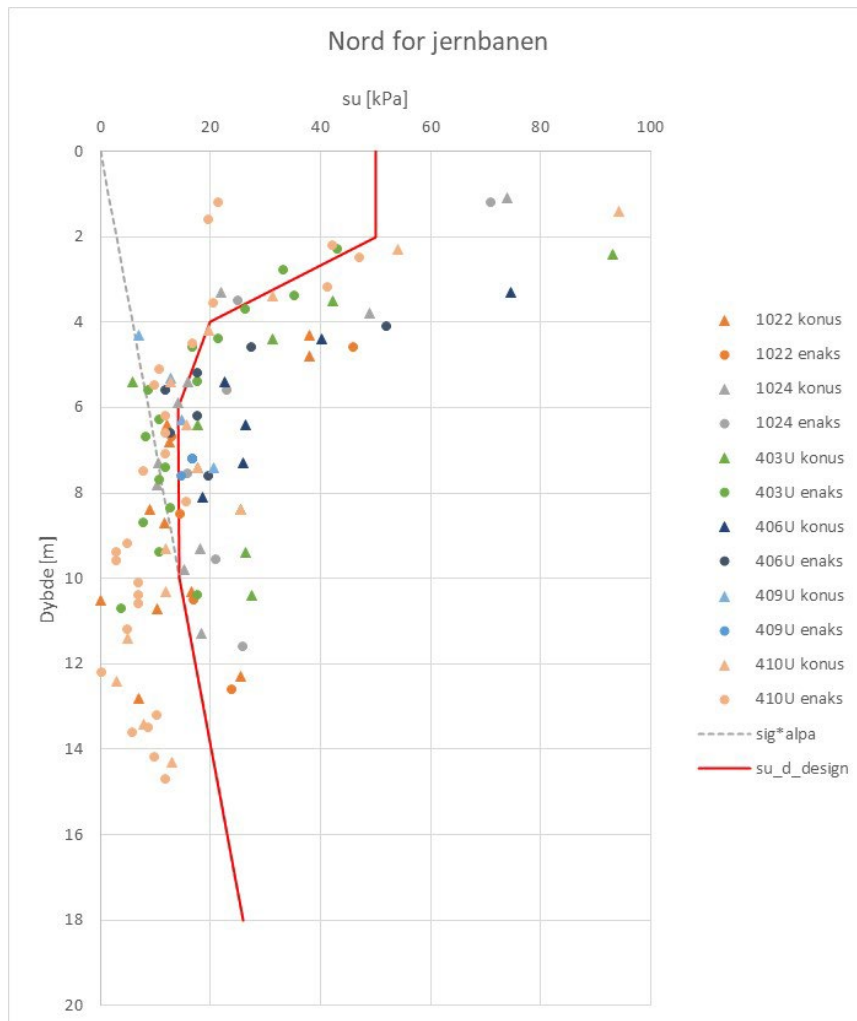
For området over tunnel er det satt krav til forsiktig driving av tunnel og forsiktig injisering. Basert på disse kravene er det forutsatt at tunneldrivingen ikke påvirker skråningen og at tiltaket (tunneldrivingen) dermed er utenfor influensområdet til skråningen. Krav til langtidsstabilitet av skråningene $F_{cu} > 1,20$ og $F_{a\phi} > 1,25$ er dermed ansett å være gjeldende.

8.1.10.1 Dimensjonerende jordparametere

Det er tolket et direkte udrenert skjærstyrkeprofil for området nord for jernbanefyllingen og et sør for jernbanefyllingen. Designprofilen nord for jernbanen er basert på resultater fra konus og enaks i prøveserie 1022, 1024, 403U, 406U, 409U og 410U, mens designprofilen sør for jernbanen er basert

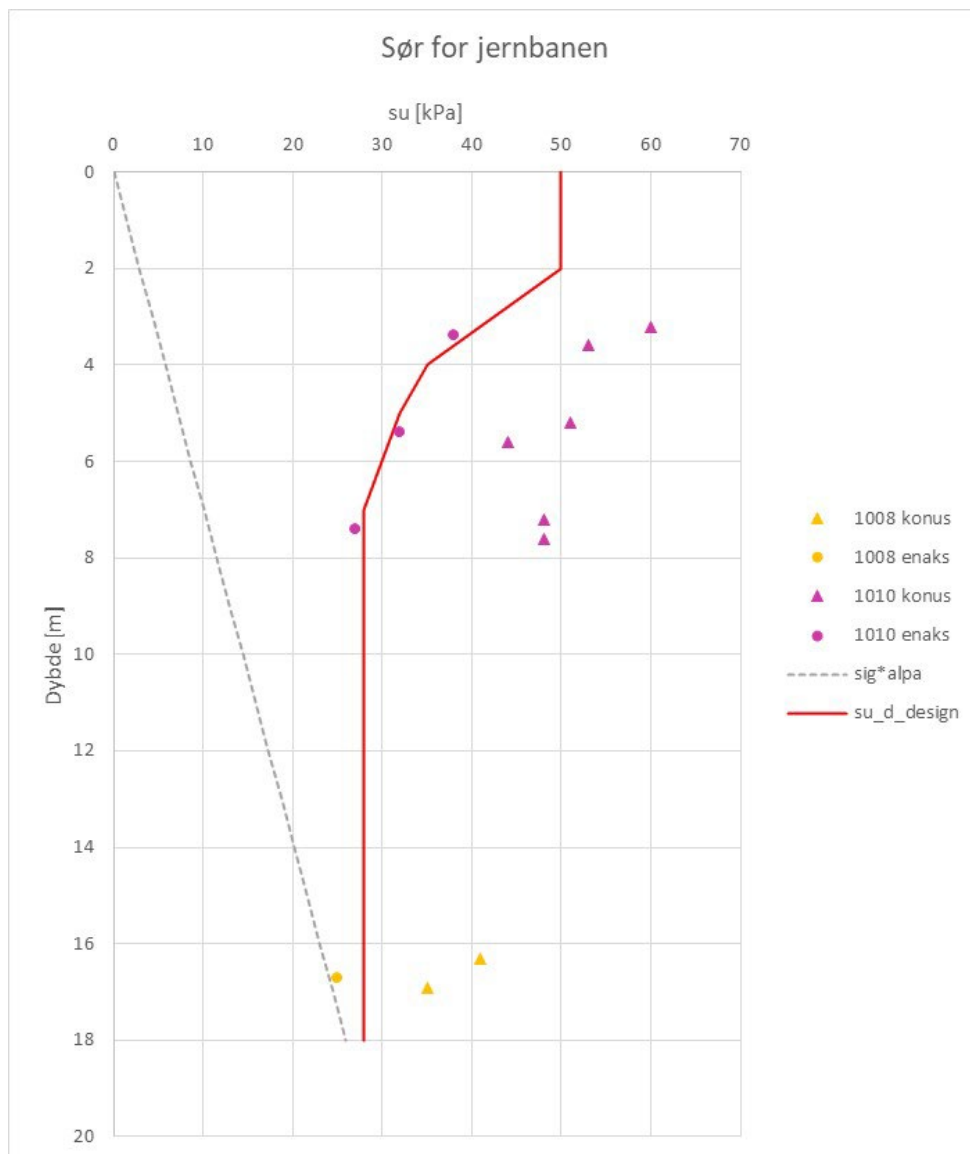
Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 48 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

på prøveserie 1008 og 1010. Designprofilene følger minimum linjen for $0,16 \cdot \sigma_{v0}'$, og det er ikke valgt lavere styrkeverdier enn dette.



Figur 8-39 Design profil for direkte udrenert skjærfasthet nord for jernbanen

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 49 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	



Figur 8-40 Design profil for direkte udrenert skjærfasthet sør for jernbanen

Anisotropi faktorer er satt i henhold til NIFS rapport [13] tabell 1. I_p er for et designprofil tolket til å ligge på 12, noe som resulterer i anisotropiforholdene presentert i Tabell 8-4.

Tabell 8-4 Anisotropifaktorer benyttet i leire

cuD/cuC	cuE/cuC
0.64	0.36

Det er lite data tilgjengelig for å tolke drenerte parametere. Tabell 2-21 i Statens vegvesens håndbok V220 [14] er derfor benyttet for å velge verdier. Dimensjonerende verdier for de forskjellige lagene er presentert i Tabell 8-5. Tabell 8-5 Design parametere drenerte beregninger

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 50 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

Tabell 8-5 Design parametere drenerte beregninger

Lag	Tyngdetetthet γ [kN/m ³]	Friksjonsvinkel, ϕ [°]	Kohesjon, c [kPa]
Tørrskorpe	19	30	0
Togfylling	19	38	0
Silt (sør for jernbanen)	19	31	0
Leire, over 4,5m under terreng	19	23	0
Sprøbrudd/kvikkleire (under 4,5m dybde)	19	20	0

Grunnvannstand er tolket til å ligge 0-2m under terreng. I beregningene er grunnvannstand basert på dette generelt satt relativt høyt i terrenget, helt opp mot 0,5m under terreng. Men der hvor det er naturlig basert på terrengetformingen er grunnvannstanden dratt ned mot 2m under terreng.

8.1.10.2 Snitt B





Udrenerte beregninger

Det er kun utført stabilitetsanalyser for jernbanefyllingen. Det er usikkerheter rundt hvor grensen mellom sprøbrudd og ikke går. Det er i beregningene lagt inn udrenert skjærstyrkeprofil tilsvarende sprøbrudd rett nord for jernbanen, mens det rett sør for jernbanen ligger inne udrenert skjærprofil tolket for sør for jernbanen, mellom disse interpolerer geosuite udrenert skjærstyrke.

Toglastere er benyttet i henhold til BaneNORs tekniske regelverk med 110kN/m for det ene sporet og 90kN/m for spor 2. Lasten er satt på jevnt fordelt over en svillebredde på 2,5m, og med lastfaktor 1,3, tilsvarende en last på henholdsvis 57 kPa og 46,7 kPa. Avstanden mellom toglastene er basert på avstand mellom de to ytterste togsporene målt fra kart.

Tabell 8-6 viser design parametere benyttet i geosuite beregningen. Skjærprofiler tilsvarende de presentert i Figur 8-39 og Figur 8-40 er benyttet i leira. Parametere for togfyllingen er benyttet som topplag i området med togfylling, i resterende av profilet er topplaget satt som tørrskorpe.

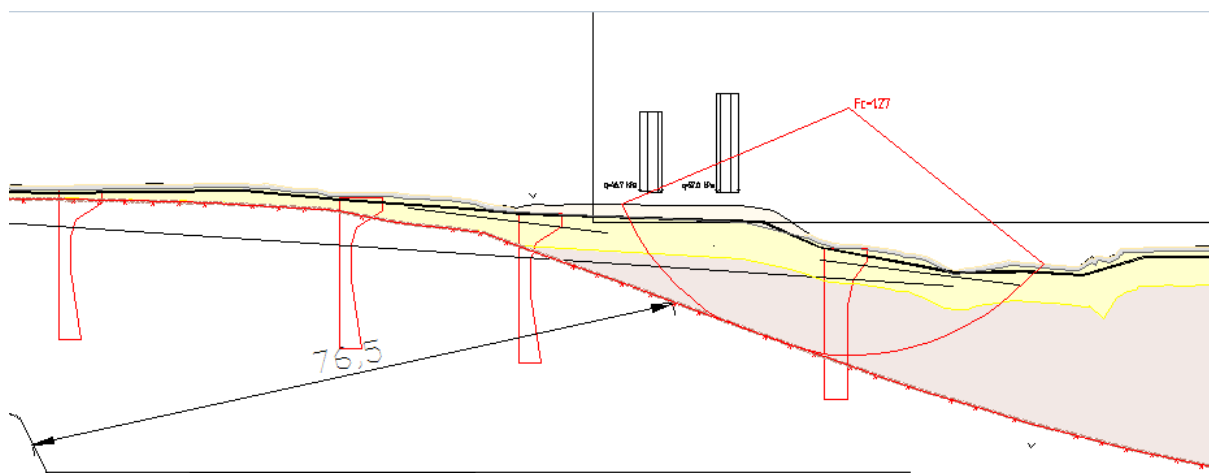
Tabell 8-6 Designparametere benyttet i geosuite

Name	CAD	Color	ρ [kN/m ³]	ρ' [kN/m ³]	Drained	ϕ [°]	C' [kPa]	C' in %	C [kPa]	Add	Aa	Ad	Ap
Togfylling	Geometry <		19.00	9.00	<input checked="" type="checkbox"/>	38.0	0.0	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	1.00	1.00	1.00
Tørrskorpe	Geometry <		19.00	9.00	<input checked="" type="checkbox"/>	30.0	0.0	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	1.00	1.00	1.00
Leire	Geometry <		19.00	9.00	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	1.57	1.00	0.56
kvikkleire	Geometry <		19.00	9.00	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	1.57	1.00	0.56

Figur 8-41 viser kritisk bruddsirkel for snitt B, som figuren viser er sikkerhet faktor lik 1,27. Det er som figuren viser > 50m fra tunnel til bergoverflate under skråningen, og det forventes dermed ikke at injeksjonsmasser vil kunne påvirke denne skråningen, og denne sikkerhetsfaktoren er dermed funnet

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 51 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

å være tilfredsstillende. I tillegg vil dette bruddet i hovedsak være en lokalstabilitet for jernbanen, basert på bergets beliggenhet nord for jernbanen vil ikke dette skredet spred seg til et områdeskred. Sikkerhetsfaktoren for områdeskred er derfor ivaretatt her



Figur 8-41 Kritisk bruddsirkel udrenert beregning snitt B, sikkerhetsfaktor SF=1,27

Drenerte beregninger

Det er også utført drenerte beregninger for samme snitt.

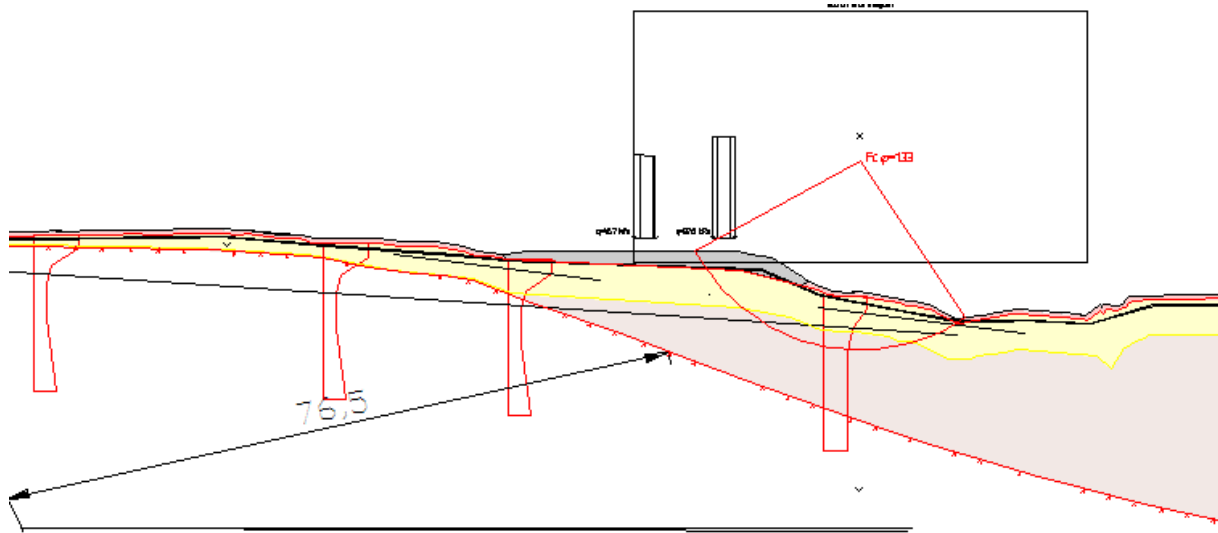
Tabell 8-7 viser design parametere benyttet i geosuite beregningen.

Tabell 8-7 Designparametere benyttet i geosuite, fyllmasse/tørrskorpe tilsvarer her også jernbanefyllingen

Name	CAD	Color	ρ [kN/m ³]	ρ' [kN/m ³]	Drained	ϕ [°]	C' [kPa]	C' in %	C [kPa]	Add	Aa	Ad	Ap
Togfylling	Geometry <		19.00	9.00	<input checked="" type="checkbox"/>	38.0	0.0	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	1.00	1.00	1.00
Tørrskorpe	Geometry <		19.00	9.00	<input checked="" type="checkbox"/>	30.0	0.0	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	1.00	1.00	1.00
Silt	Geometry <		19.00	9.00	<input checked="" type="checkbox"/>	31.0	0.0	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	1.57	1.00	0.56
Leire	Geometry <		19.00	9.00	<input checked="" type="checkbox"/>	23.0	0.0	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	1.57	1.00	0.56

Figur 8-42 viser kritisk bruddsirkel for snitt B, som figuren viser er sikkerhet faktor lik 1,33. Med forutsetningen om at tunnelarbeidene ikke påvirker skråningen er denne sikkerhetsfaktoren funnet å være tilfredsstillende.

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 52 av 71
Skjerming: Offentlig (O)		Klassifisering: INTERN
Jfr.: N/A		



Figur 8-42 Kritisk bruddsirkel drenert beregning, snitt B, sikkerhetsfaktor $SF=1,33$

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 53 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

8.1.10.3 Snitt C

Udrenerte beregninger

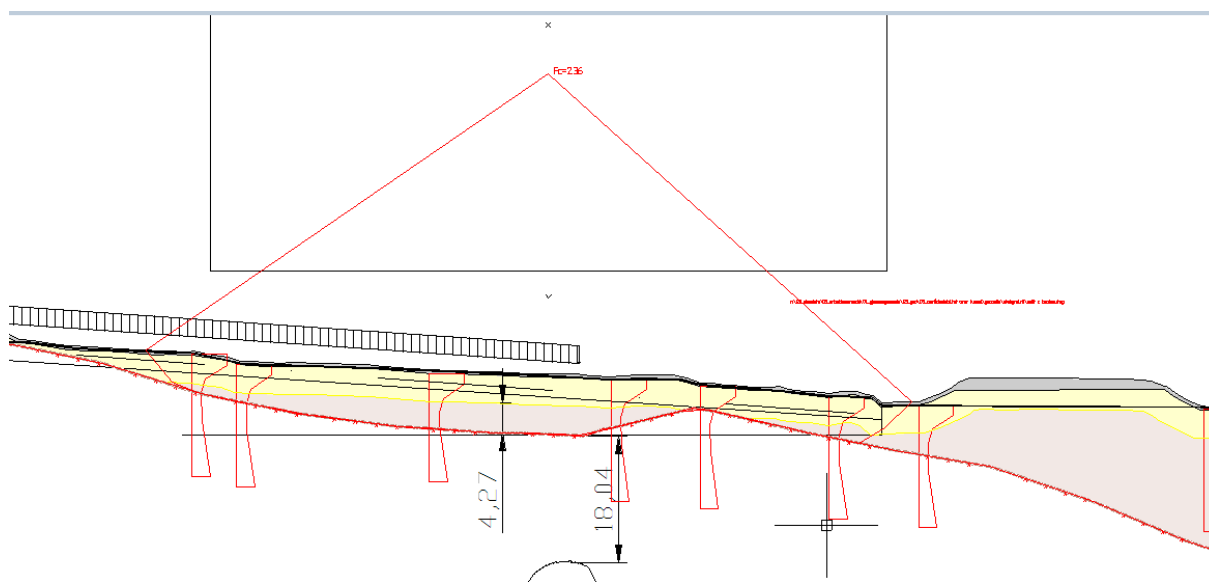
Det er utført stabilitetsberegninger nord for jernbanen. Det er satt på en generell terrenglast på 10kPa, med en lastfaktor på 1,3, tilsvarende dimensjonerende last på 13kPa. Lasten er ved hjelp av iterering plassert med mest ugunstig plassering på terrenget.

Tabell 8-8 viser design parametere benyttet i geosuite beregningen. Skjærprofiler tilsvarende de presentert i Figur 8-39 og Figur 8-40 er benyttet i leira.

Tabell 8-8 Designparametere benyttet i geosuite

Name	CAD	Color	ρ [kN/m ³]	ρ' [kN/m ³]	Drained	ϕ [°]	C' [kPa]	C' in %	C [kPa]	Add	Aa	Ad	Ap
Fyllmasser/tørreskorpe	Geometry <		19.00	9.00	<input checked="" type="checkbox"/>	30.0	0.0	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	1.00	1.00	1.00
Leire	Geometry <		19.00	9.00	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	1.57	1.00	0.56
► sprøbrudd	Geometry <		19.00	9.00	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	1.57	1.00	0.56

Figur 8-43 viser kritisk bruddsirkel for snitt C, som figuren viser er sikkerhet faktor lik 2,36. Sikkerheten er dermed funnet å være tilfredsstillende.



Figur 8-43 Kritisk bruddsirkel udrenert beregning snitt C, sikkerhetsfaktor SF=2,36

Det er også undersøkt om flakskred med en sammensatt glideflate kan være en mer kritisk bruddmekanisme. Sikkerhetsfaktor for flakskred er funnet å være minimum 2,73, og denne skredmekanismen er dermed ikke funnet å være kritisk for dette snittet.

Drenerte beregninger

Det er også utført drenerte beregninger for samme snitt.

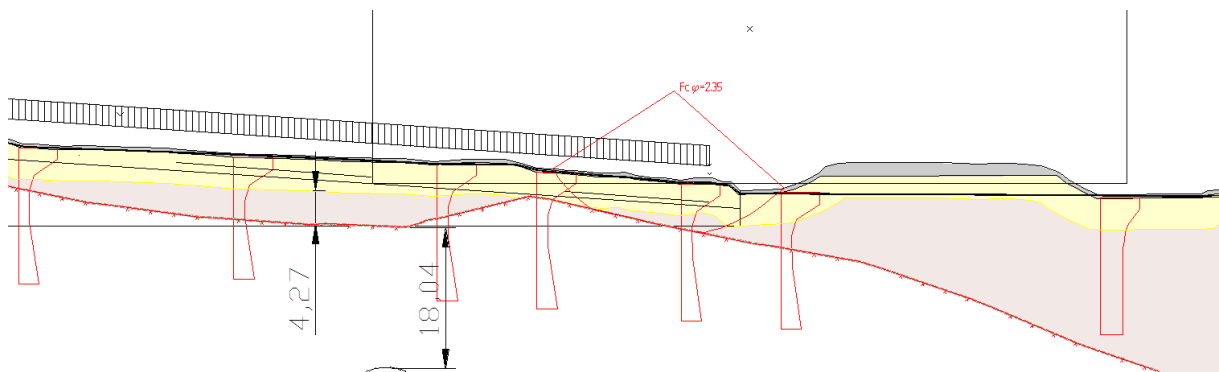
Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 54 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

Tabell 8-9 viser design parametere benyttet i geosuite beregningen.

Tabell 8-9 Designparametere benyttet i geosuite

Name	CAD	Color	ρ [kN/m ³]	ρ' [kN/m ³]	Drained	ϕ [°]	C' [kPa]	C' in %	C [kPa]	Add	Aa	Ad	Ap
Fyllmasser/tørrskorpe	Geometry <		19.00	9.00	<input checked="" type="checkbox"/>	30.0	0.0	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	1.00	1.00	1.00
Leire	Geometry <		19.00	9.00	<input checked="" type="checkbox"/>	23.0	0.0	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	1.57	1.00	0.56
▶ sprøbrudd	Geometry <		19.00	9.00	<input checked="" type="checkbox"/>	20.0	0.0	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	1.57	1.00	0.56

Figur 8-44 viser kritisk bruddsirkel for drenert beregning for snitt C, som figuren viser er sikkerhet faktor lik 2,35. Sikkerhetsfaktoren er funnet å være tilfredsstillende uten tiltak.



Figur 8-44 Kritisk bruddsirkel drenert beregning snitt C, sikkerhetsfaktor SF=2,35

8.1.10.4 Snitt G

Udrenerte beregninger

Det er utført stabilitetsberegninger nord for jernbanen. Det er satt på en generell terenglast på 10kPa, med en lastfaktor på 1,3, tilsvarende dimensjonerende last på 13kPa. Lasten er ved hjelp av iterering plassert med mest ugunstig plassering på terrenget.

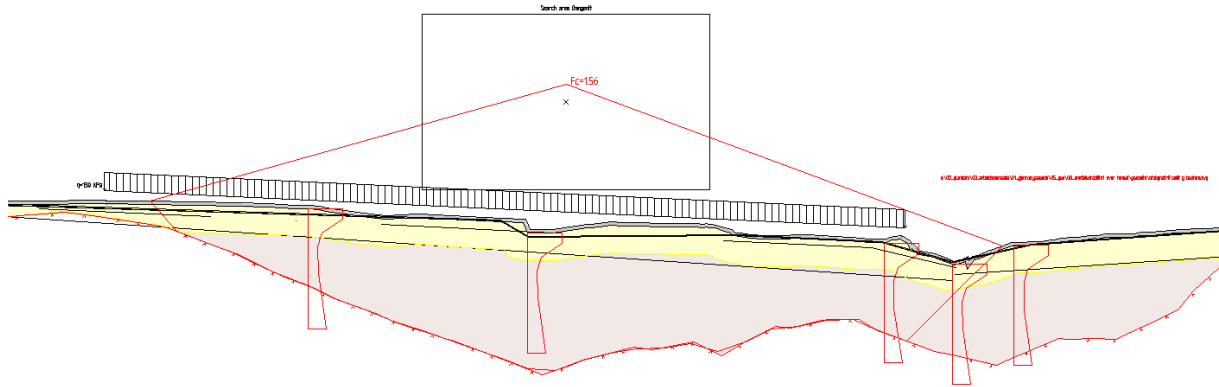
Tabell 8-10 viser design parametere benyttet i geosuite beregningen. Skjærprofiler tilsvarende de presentert i Figur 8-39 og Figur 8-40 er benyttet i leira.

Tabell 8-10 Designparametere benyttet i geosuite

Name	CAD	Color	ρ [kN/m ³]	ρ' [kN/m ³]	Drained	ϕ [°]	C' [kPa]	C' in %	C [kPa]	Add	Aa	Ad	Ap
▶ Fyllmasser/tørrskorpe	Geometry <		19.00	9.00	<input checked="" type="checkbox"/>	30.0	0.0	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	1.00	1.00	1.00
Leire	Geometry <		19.00	9.00	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	1.57	1.00	0.56
sprøbrudd	Geometry <		19.00	9.00	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	1.57	1.00	0.56

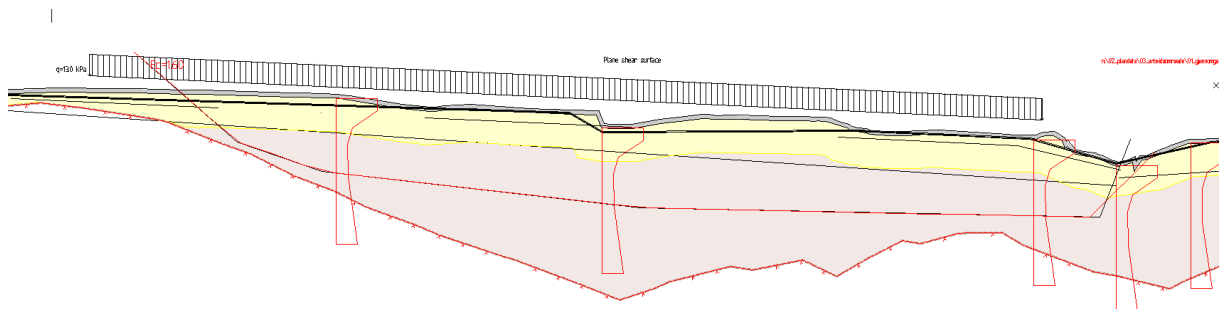
Figur 8-45 viser kritisk bruddsirkel for snitt G, som figuren viser er sikkerhet faktor lik 1,56. Sikkerheten er dermed funnet å være tilfredsstillende.

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 55 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	



Figur 8-45 Kritisk bruddsirkel udrenert beregning snitt G, sikkerhetsfaktor SF=1,56

Det er også undersøkt om flaskkred med en sammensatt glideflate kan være en mer kritisk bruddmekanisme. Sikkerhetsfaktor for sammensatt glideflate er funnet å være minimum 1,6, altså ca. tilsvarende faktor som for skjærsirkel, men noe høyere. Da sikkerhetsfaktorene er så pass like er flaskkred er dermed funnet å også kunne være aktuell skredmekanisme for dette snittet. Figur 8-46



Figur 8-46 Kritisk bruddsirkel udrenert beregning snitt G, sammensatt glideflate, flaskkred, sikkerhetsfaktor SF=1,60

Drenerte beregninger

Det er også utført drenerte beregninger for samme snitt.

Tabell 8-11 viser design parametere benyttet i geosuite beregningen.

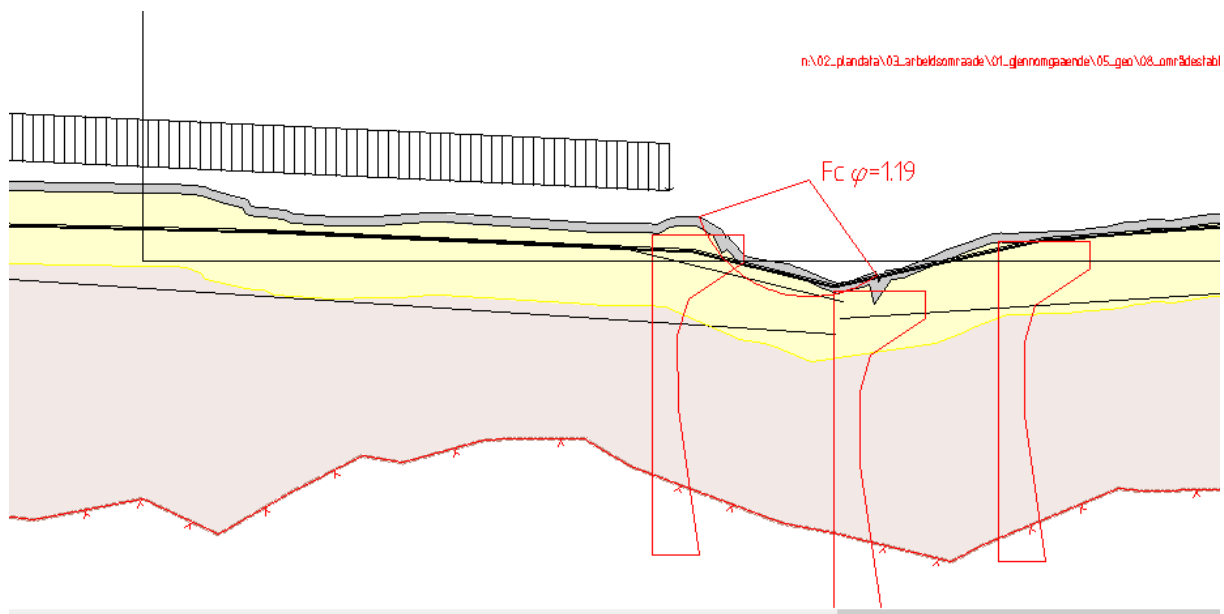
Tabell 8-11 Designparametere benyttet i geosuite

Name	CAD	Color	ρ [kN/m ³]	ρ' [kN/m ³]	Drained	ϕ [°]	C' [kPa]	C' in %	C [kPa]	Add	Aa	Ad	Ap
Fyllmasser/tørrskorpe	Geometry <		19.00	9.00	<input checked="" type="checkbox"/>	30.0	0.0	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	1.00	1.00	1.00
Leire	Geometry <		19.00	9.00	<input checked="" type="checkbox"/>	23.0	0.0	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	1.57	1.00	0.56
► sprøbrudd	Geometry <		19.00	9.00	<input checked="" type="checkbox"/>	20.0	0.0	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	1.57	1.00	0.56

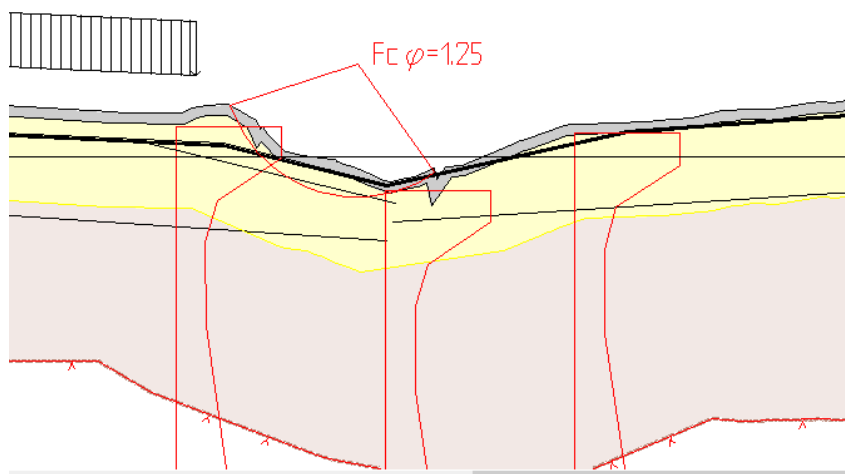
Figur 8-47 viser kritisk bruddsirkel for drenert beregning for snitt G, som figuren viser er sikkerhet faktor lik 1,19. Sikkerhetsfaktoren er altså ikke tilfredsstillende. Glidesirkelen i dette snittet er grunn, og veldig lokal, bruddet går langt over laget med kvikkleire, og det er dermed ikke funnet relevant i forbindelse med en områdestabilitetsvurdering. Dersom man gjør tilsvarende beregning, men med

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 56 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

kohesjon på 1kPa i det øverste laget er sikkerhetsfaktoren lik 1,25, se Figur 8-48. På grunn av at bruddsirkelen for sikkerhet lik 1,19 er så grunn er sikkerheten med tanke på utvikling av områdeskred likefullt ansett å være ivaretatt.



Figur 8-47 Kritisk bruddsirkel drenert beregning snitt G, sikkerhetsfaktor SF=1,19



Figur 8-48 Kritisk bruddsirkel drenert beregning snitt G, med kohesjon på 1kPa i øvre lag, sikkerhetsfaktor SF=1,25

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 57 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	




8.1.10.5 Snitt I

Udrenerte beregninger

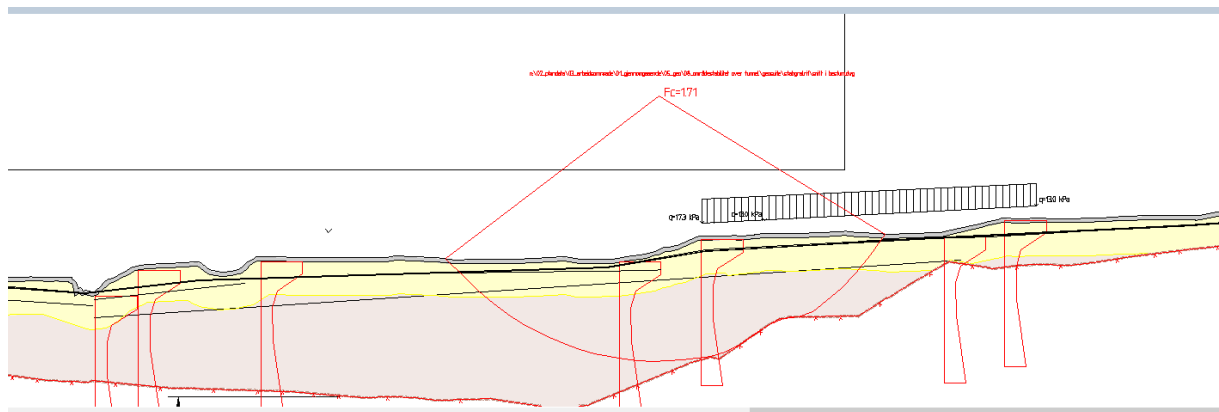
Det er utført stabilitetsberegninger nord for jernbanen. Det er satt på en generell terrenglast på 10kPa, med en lastfaktor på 1,3, tilsvarende dimensjonerende last på 13kPa. Lasten er ved hjelp av iterering plassert med mest ugunstig plassering på terrenget.

Tabell 8-12 viser design parametere benyttet i geosuite beregningen. Skjærprofiler tilsvarende de presentert i Figur 8-39 og Figur 8-40 er benyttet i leira.

Tabell 8-12 Designparametere benyttet i geosuite

Name	CAD	Color	ρ [kN/m ³]	ρ' [kN/m ³]	Drained	ϕ [°]	C' [kPa]	C' in %	C [kPa]	Add	Aa	Ad	Ap
Tørrskorpe	Geometry <		19.00	9.00	<input checked="" type="checkbox"/>	30.0	0.0	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	1.00	1.00	1.00
Leire	Geometry <		19.00	9.00	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	1.57	1.00	0.56
► Sprøbrudd	Geometry <		19.00	9.00	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	1.57	1.00	0.56

Figur 8-49 viser kritisk bruddsirkel for snitt I, som figuren viser er sikkerhet faktor lik 2,36. Sikkerheten er dermed funnet å være tilfredsstillende.



Figur 8-49 Kritisk bruddsirkel udrenert beregning snitt I, sikkerhetsfaktor SF=1,71

Det er også undersøkt om flakskred med en sammensatt glideflate kan være en mer kritisk bruddmekanisme. Sikkerhetsfaktor for flakskred er funnet å være minimum 2,01, og denne skredmekanismen er dermed ikke funnet å være kritisk for dette snittet.

Drenerte beregninger

Det er også utført drenerte beregninger for samme snitt.

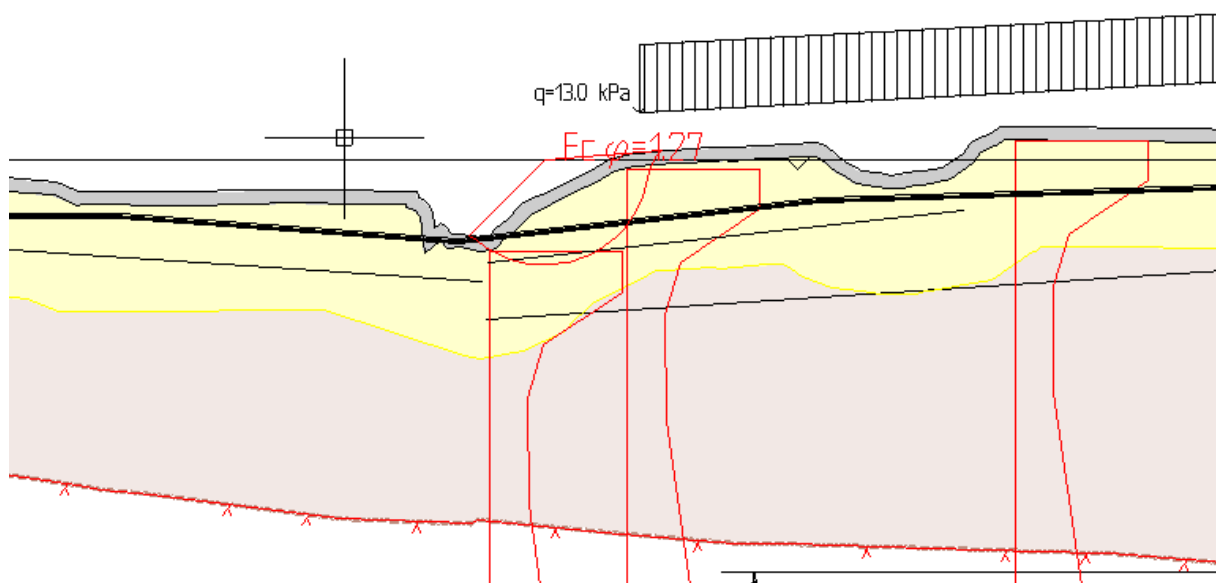
Tabell 8-13 viser design parametere benyttet i geosuite beregningen.

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 58 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

Tabell 8-13 Designparametere benyttet i geosuite

Name	CAD	Color	ρ [kN/m ³]	ρ' [kN/m ³]	Drained	ϕ [°]	c' [kPa]	c' in %	c [kPa]	Add	Aa	Ad	Ap
Tørrskorpe	Geometry <		19.00	9.00	<input checked="" type="checkbox"/>	30.0	0.0	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	1.00	1.00	1.00
Leire	Geometry <		19.00	9.00	<input checked="" type="checkbox"/>	23.0	0.0	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	1.57	1.00	0.56
► Sprøbrudd	Geometry <		19.00	9.00	<input checked="" type="checkbox"/>	20.0	0.0	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	1.57	1.00	0.56

Figur 8-50 viser kritisk bruddsirkel for drenert beregning for snitt I, som figuren viser er sikkerhetsfaktor lik 1,27. Som figuren viser så er bruddsirkelen er relativt grunn og lokal. Sikkerhetsfaktoren er funnet å være tilfredsstillende uten tiltak.



Figur 8-50 Kritisk bruddsirkel drenert beregning snitt I, sikkerhetsfaktor SF=1,27

8.1.10.6 Snitt J

Udrenerte beregninger

Det er utført stabilitetsberegninger nord for jernbanen. Det er satt på en generell terrenglast på 10kPa, med en lastfaktor på 1,3, tilsvarende dimensjonerende last på 13kPa. Lasten er ved hjelp av iterering plassert med mest ugunstig plassering på terrenget.

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 59 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

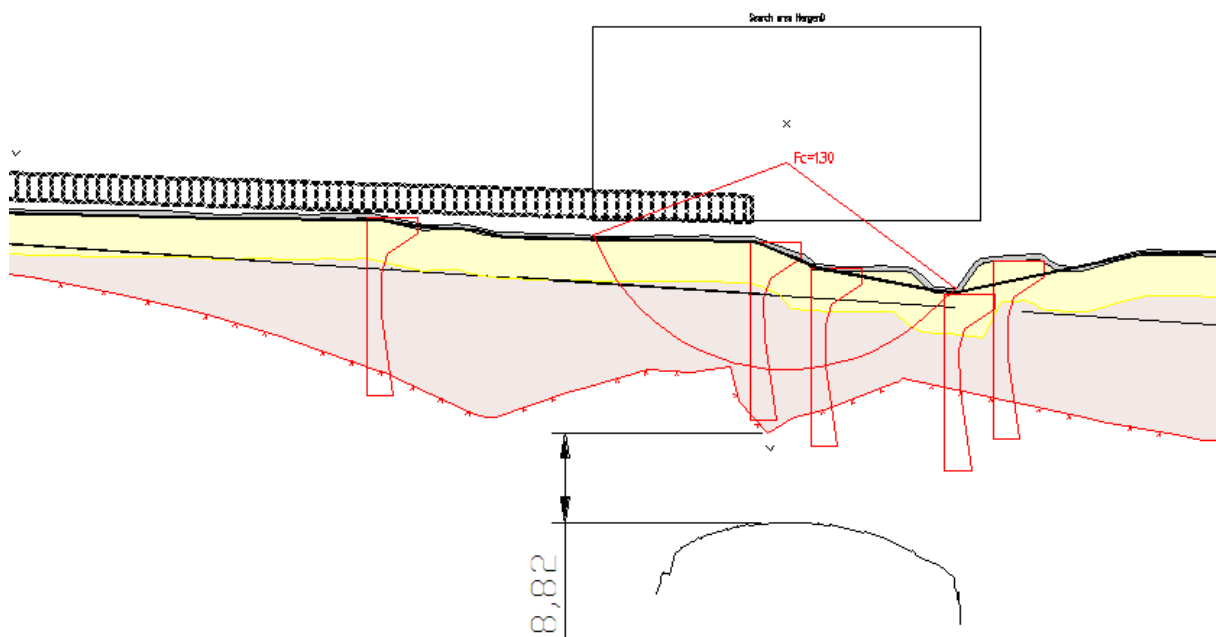
Tabell 8-14 viser design parametere benyttet i geosuite beregningen. Skjærprofiler tilsvarende de presentert i Figur 8-39 og Figur 8-40 er benyttet i leira.

Tabell 8-14 Designparametere benyttet i geosuite

Name	CAD	Color	ρ [kN/m ³]	ρ' [kN/m ³]	Drained	ϕ [°]	C' [kPa]	C' in %	C [kPa]	Add	Aa	Ad	Ap
Fyllmasser	Geometry <		19.00	9.00	<input checked="" type="checkbox"/>	30.0	0.0	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	1.00	1.00	1.00
Leire	Geometry <		19.00	9.00	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	1.57	1.00	0.56
▶ sprøbrudd	Geometry <		19.00	9.00	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	1.57	1.00	0.56

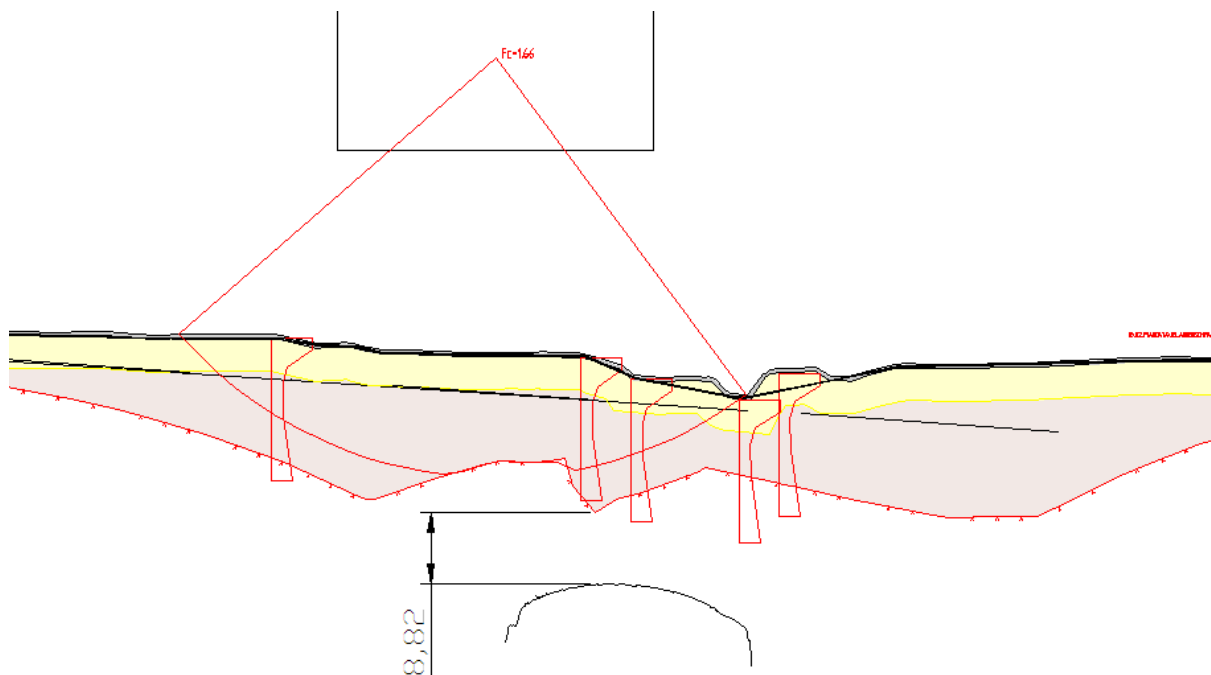
Figur 8-51 viser kritisk bruddsirkel for snitt J, som figuren viser er sikkerhet faktor lik 1,3. Sikkerheten er dermed funnet å være tilfredsstillende.

Som nevnt over er det benyttet en generell terrenglast i snittet. Det skal i henhold til NVE veilederen ikke benyttes generell terrenglast i stabilitetsberegningene, men trafikklast på vei, og laster fra hus osv. Det er en vei på nederste platå mot bekken, denne er på stabiliserende side, og det benyttes derfor ikke last på denne, videre er det et hus et stykke inne på neste platå, og flere hus bakover i snittet. Det er derfor usikkerheter rundt lastene, og den generelle terrenglasten er ansett å være konservativ. Som en sensitivitetssjekk er det også utført en beregning uten terrenglast, en slik beregning gir en sikkerhetsfaktor på 1,66, se Figur 8-52.



Figur 8-51 Kritisk bruddsirkel udrenert beregning snitt J, sikkerhetsfaktor SF=1,3

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 60 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	



Figur 8-52 Kritisk bruddsirkel udrenert beregning snitt J, uten last, sikkerhetsfaktor SF=1,66

Det er også undersøkt om flaskkred med en sammensatt glideflate kan være en mer kritisk bruddmekanisme. Sikkerhetsfaktor for flaskkred er funnet å være minimum 1,73, og denne skredmekanismen er dermed ikke funnet å være kritisk for dette snittet.

Drenerte beregninger

Det er også utført drenerte beregninger for samme snitt.

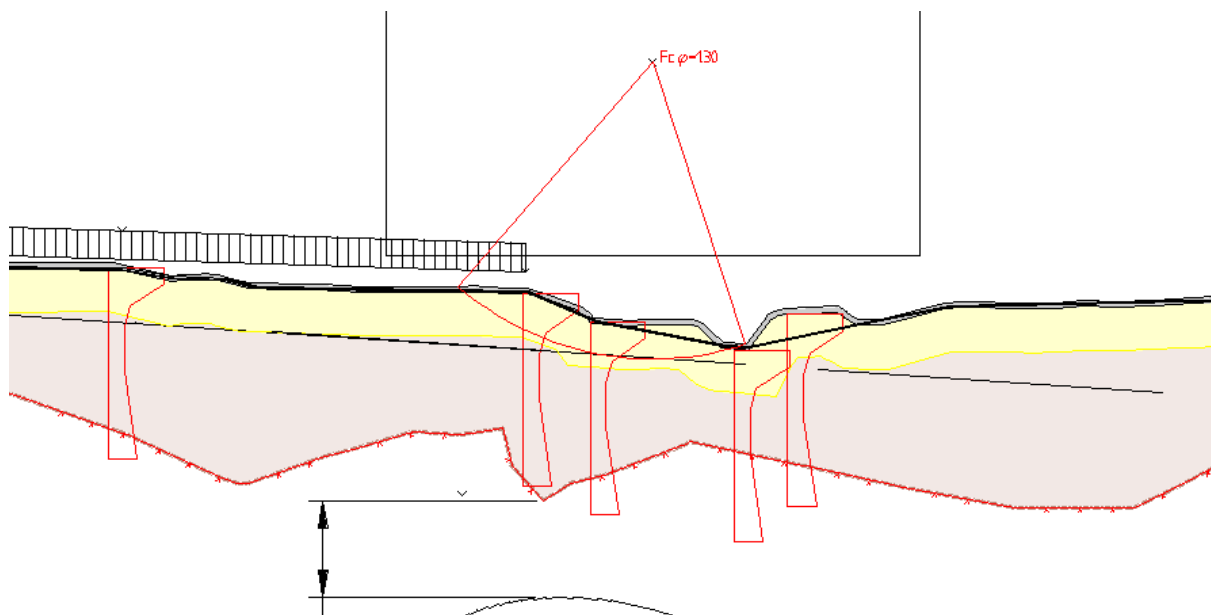
Tabell 8-15 viser design parametere benyttet i geosuite beregningen.

Tabell 8-15 Designparametere benyttet i geosuite

Name	CAD	Color	ρ [kN/m ³]	ρ' [kN/m ³]	Drained	ϕ [°]	C' [kPa]	C' in %	C [kPa]	Add	Aa	Ad	Ap
Fyllmasser	Geometry <		19.00	9.00	<input checked="" type="checkbox"/>	30.0	0.0	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	1.00	1.00	1.00
Leire	Geometry <		19.00	9.00	<input checked="" type="checkbox"/>	23.0	0.0	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	1.57	1.00	0.56
sprøbrudd	Geometry <		19.00	9.00	<input checked="" type="checkbox"/>	20.0	0.0	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	1.57	1.00	0.56

Figur 8-53 viser kritisk bruddsirkel for drenert beregning for snitt J, som figuren viser er sikkerhetsfaktor lik 1,3. Sikkerhetsfaktoren er funnet å være tilfredsstillende uten tiltak.

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 61 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	



Figur 8-53 Kritisk bruddsirkel drenert beregning snitt J, sikkerhetsfaktor SF=1,3

8.1.11 Konklusjon

For området over tunnel er det satt krav til forsiktig driving av tunnel og forsiktig injisering. Basert på disse kravene er det forutsatt at tunneldrivingen ikke påvirker skråningen og at tiltaket (tunneldrivingen) dermed er utenfor influensområdet til skråningen. Krav til langtidsstabilitet av skråningene $F_{cu} > 1,20$ og $F_{a\phi} > 1,25$ er dermed ansett å være gjeldende. For udrenerte beregninger er sikkerheten større enn kravet i alle snitt.

For drenerte beregninger er det noe lav sikkerhetsfaktor i snitt G, dette er en lokal og grunn glidesirkel, og denne er ikke funnet å være relevant for områdestabiliteten, og sikkerhet i forbindelse med område stabilitet er likevel funnet å være ivaretatt.

Snitt J har relativt lav sikkerhetsfaktor, 1,3 for udrenert beregning (men den er høyere enn kravet på 1,2) og lav bergoverdekning, som gjør det vanskeligere å ikke påvirke skråningen. Det er mye variasjon i laster, med vei og bebyggelse, det er derfor benyttet en generell terrenglast i snittet. Det er også gjort en sensitivitetsanalyse uten terrenglast, denne gir en sikkerhetsfaktor på 1,66. Basert på dette er det konkludert med at sikkerhetsfaktoren også er ok i dette snittet.

Områdestabiliteten er derfor funnet å være ivaretatt på Bestum. Dette forutsetter at tunnelen drives forsiktig forbi faresonen med tanke på vibrasjoner og injisering. Pga. lave sikkerhetsfaktorer kan poretrykket ikke økes noe i dette området.

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 62 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

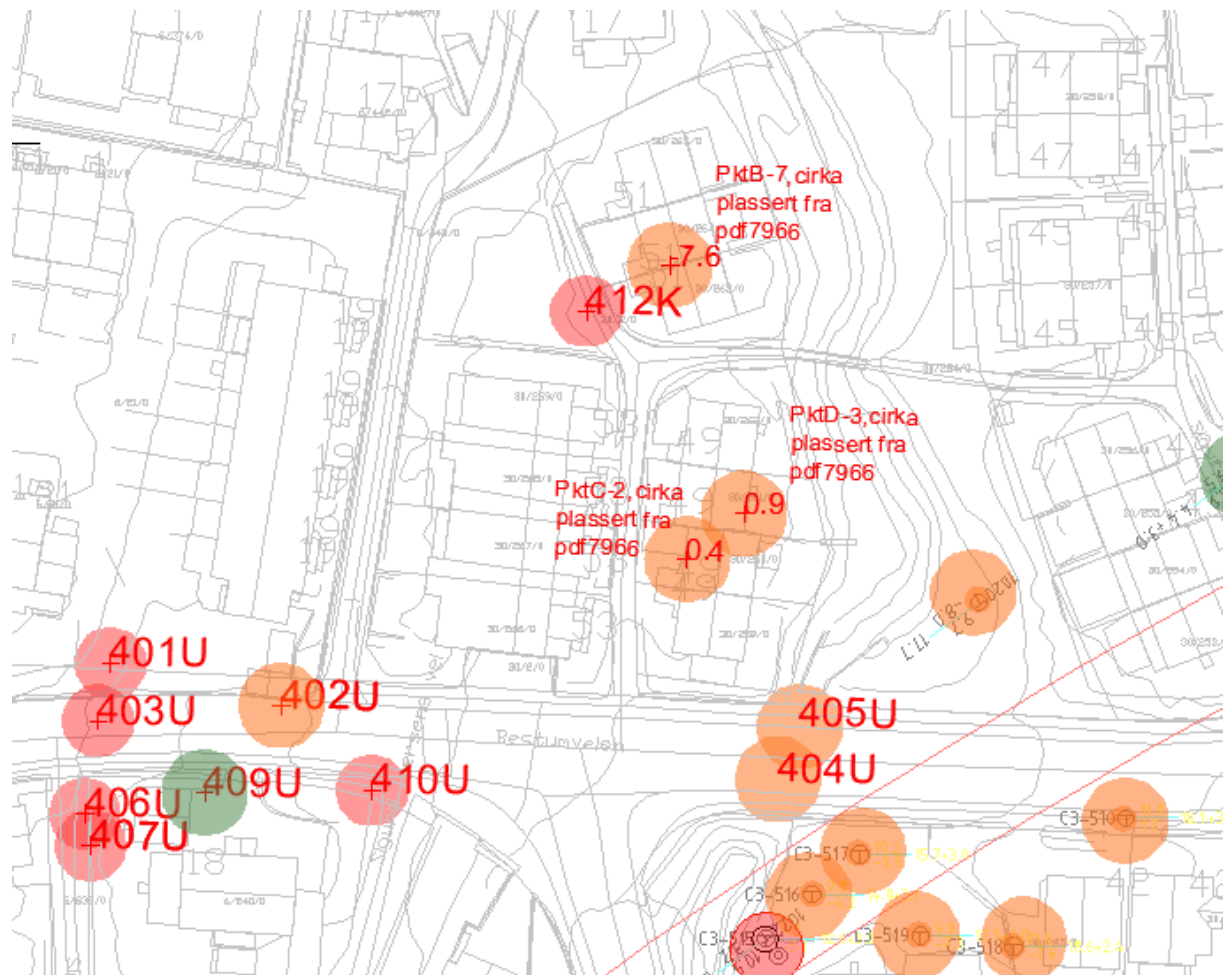
REFERANSER

- [1] Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE), «Sikkerhet mot kvikkleireskred (Veileder nr. 1/2019),» 2019.
- [2] Direktoratet for byggkvalitet, «TEK 17 Byggteknisk forskrift, Kap.7 Sikkerhet mot naturpåkjenninger [Web: www.dibk.no],» 2017.
- [3] NVE, «Flaum- og skredfare i arealplanar, 2/2011,» 2014.
- [4] NGI, «Rapport 20001008-2 rev3/2008. Program for økt sikkerhet mot leirskred – Metode for kartlegging og klassifisering av faresoner, kvikkleire,» Norges geotekniske institutt, 2008.
- [5] NIFS v/NGI, «NIFS Rapport nr 14-2016 "Metode for vurdering av løsne- og utløpsområder for områdeskred",» NVE, 2016.
- [6] PGF, «PF-U-721-RB-0011 Fornebubanen, Geoteknisk Datarapport Del 1, Majorstua - Skøyen».
- [7] Norsk Geologiske undersøkelse, 2019. [Internett]. Available: http://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/.
- [8] Norconsult, «Fornebubanen, Grunnundersøkelser-02, Datarapport, 5011052-02».
- [9] Fornebubanen, «GeoNor data lagret på Vista Data Cloud,» Fornebubanen, 2019. [Internett]. Available: <https://eu.vdvcloud.com/vdv.php/dashboard>.
- [10] NVE, «NVEs temakart, [atlas.nve.no],» 2021.
- [11] Kartverket, «Høydedata [web: hoydedata.no],» 2022.
- [12] NVE, «Oversiktskartlegging og klassifisering av faregrad, konsekvens og risiko for kvikkleireskred, ekstern rapport 9/2020».
- [13] NIFS, «En omforent anbefaling for bruk av anisotropifaktorer i prosjektering i norske leirer, rapport 14/2014».
- [14] Statens Vegvesen, «Geoteknikk i vegbygging - Håndbok V220.,» Vegdirektoratet, 2018.

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 63 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

VEDLEGG

Vedlegg 1: Grunnundersøkelser innhentet fra PBE, Oversikt



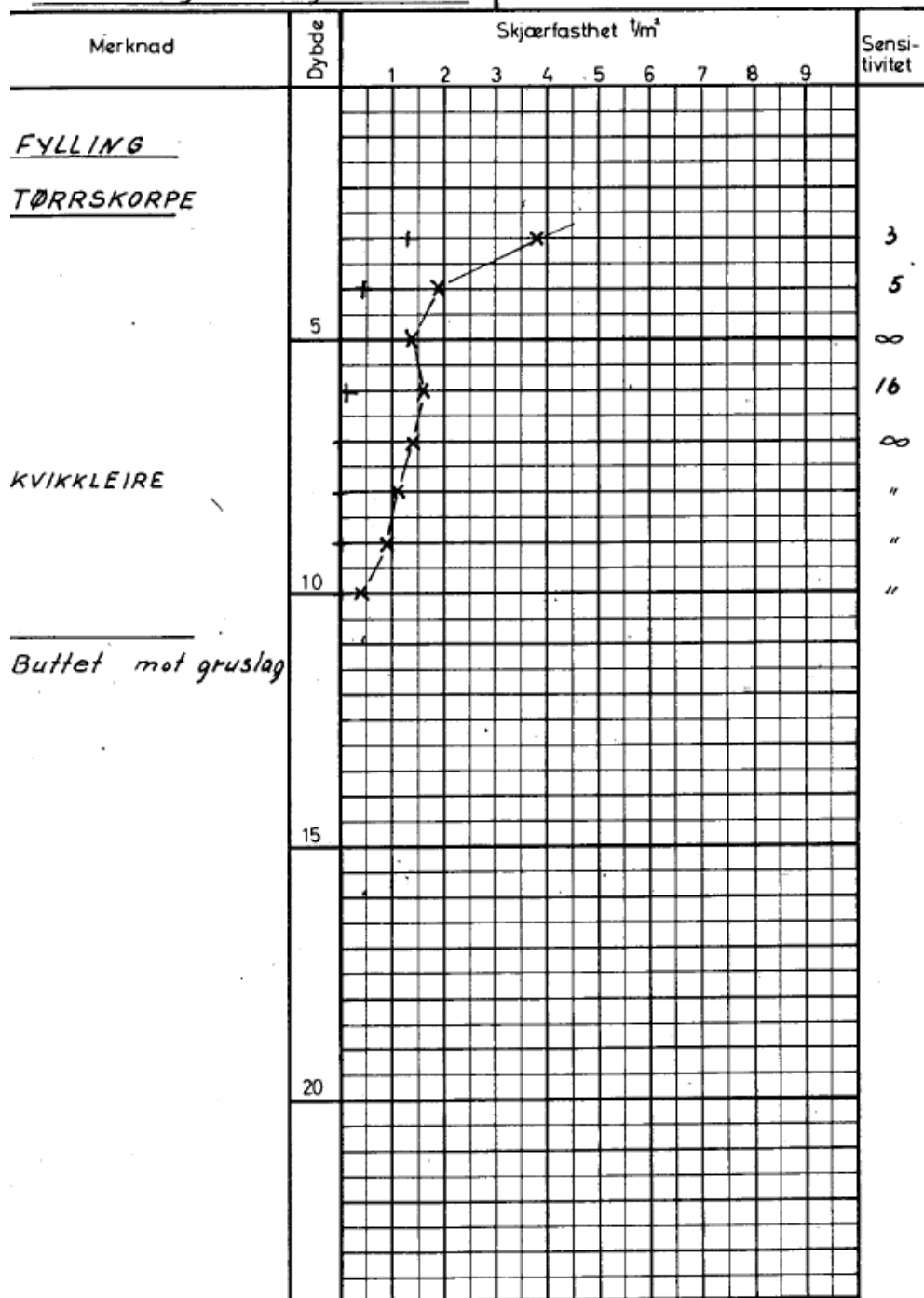
Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 64 av 71
Skjerming: Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN	
Jfr.: N/A		

Vedlegg 2: 401U

401U NVD2

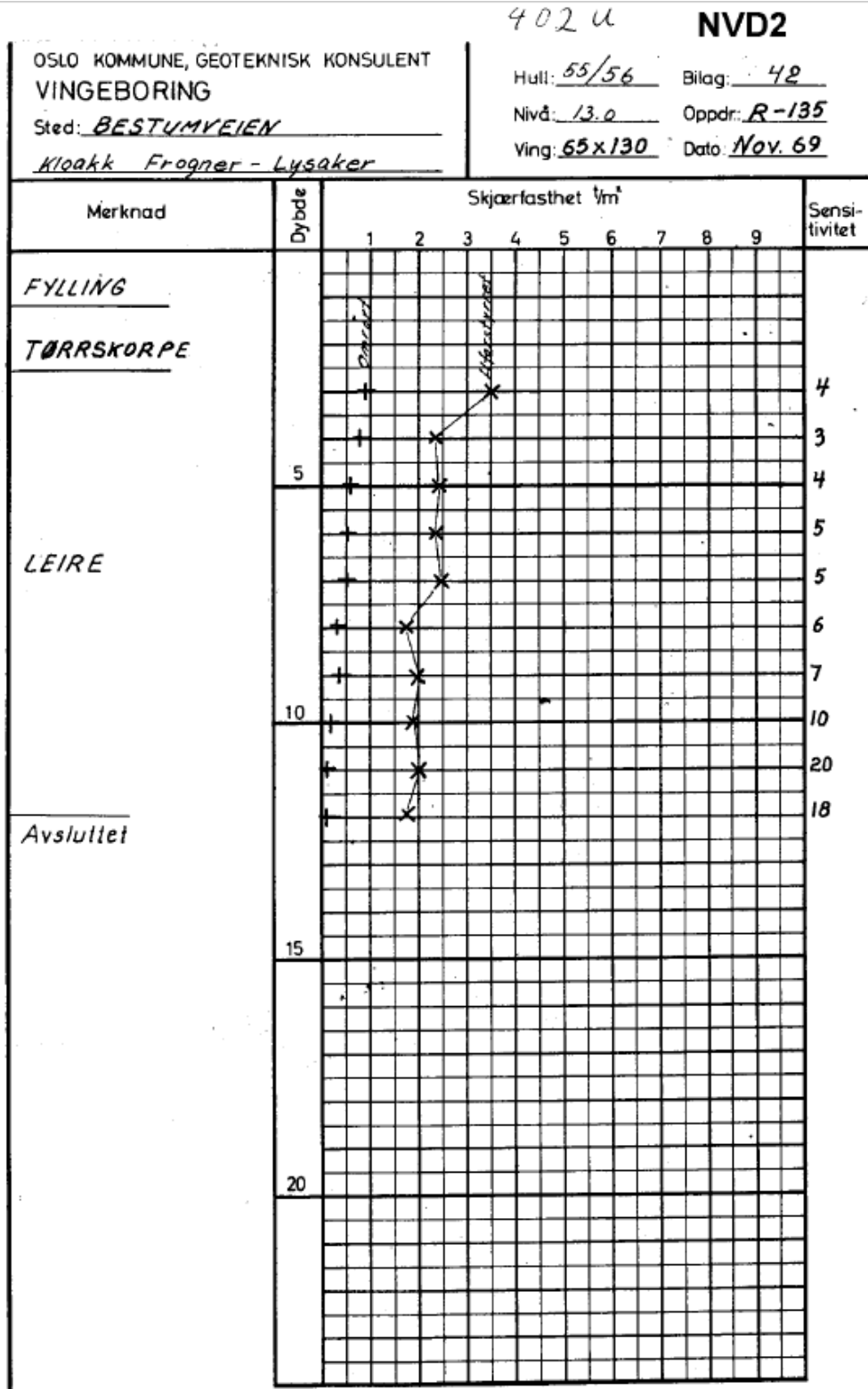
OSLO KOMMUNE, GEOTEKNISK KONSULENT
 VINGEBORING
 Sted: BESTUMVEIEN
Kloakk Frogner - Lysaker

Hull: 57 Bilag: 43
 Nivå: 13.9 Oppdr: R-135
 Ving: 65-130 Dato: Des 69



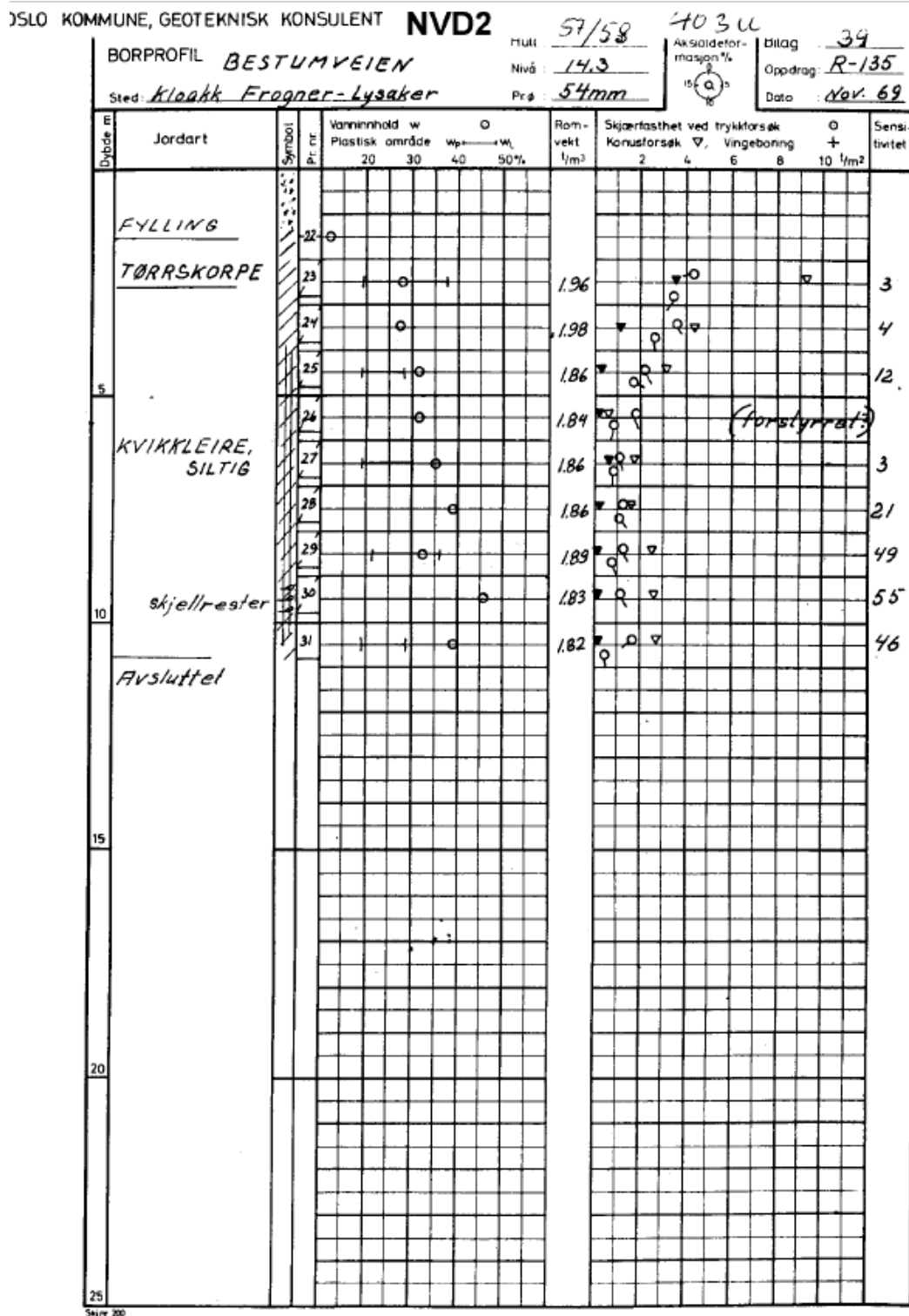
Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 65 av 71
Skjerming: Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN	
Jfr.: N/A		

Vedlegg 3: 402U



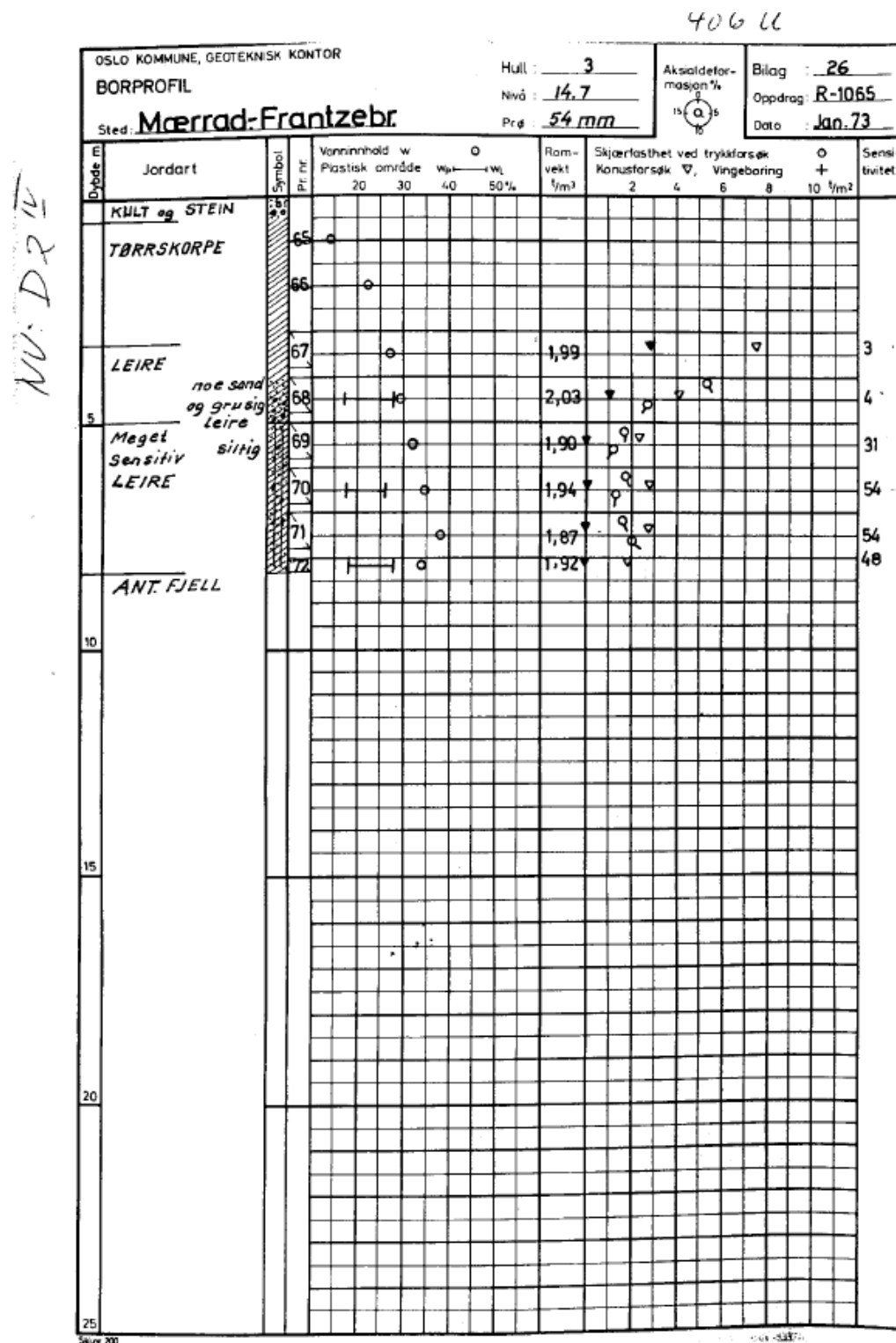
Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 66 av 71
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

Vedlegg 4: 403U



Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 68 av 71
Skjerming: Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN	
Jfr.: N/A		

Vedlegg 6: 406U



Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-U-721-RB-0062
Områdestabilitet - Bestum		Revisjon: 02G
		Dato: 20.01.2023
		Side: 71 av 71
Skjerming: Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN	
Jfr.: N/A		

Vedlegg 9: 410U

