RAPPORT

Utfylling i Gunneklevfjorden

GEOTEKNISK PROSJEKTERING AV UTFYLLING

DOK.NR. 20150807-01-R
REV.NR. 5 / 2022-02-15

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT
NGI.NO

Ved elektronisk overføring kan ikke konfidensialiteten eller autentisiteten av dette dokumentet garanteres. Adressaten bør vurdere denne risikoen og ta fullt ansvar for bruk av dette dokumentet.

Dokumentet skal ikke benyttes i utdrag eller til andre formål enn det dokumentet omhandler. Dokumentet må ikke reproduseres eller leveres til tredjemann uten eiers samtykke. Dokumentet må ikke endres uten samtykke fra NGI.

Neither the confidentiality nor the integrity of this document can be guaranteed following electronic transmission. The addressee should consider this risk and take full responsibility for use of this document.

This document shall not be used in parts, or for other purposes than the document was prepared for. The document shall not be copied, in parts or in whole, or be given to a third party without the owner's consent. No changes to the document shall be made without consent from NGI.

Prosjekt

Prosjekttittel:	Utfylling i Gunneklevfjorden
Dokumenttittel:	Geoteknisk prosjektering av utfylling
Dokumentnr.:	20150807-01-R
Dato:	2016-02-10
Rev.nr. / Rev.dato:	5 / 2022-02-15

Oppdragsgiver

Oppdragsgiver:	HIP Eiendom AS
Kontaktperson:	Kristian Solberg
Kontraktreferanse:	Innkjøpsordre 500379, datert 01.12.2017, Prosjekt: 60007

for NGI

Prosjektleder:	Arne Pettersen
Utarbeidet av:	Ørjan Nerland, Laura Henderson, Gunvor Baardvik, Aleksander Worren og Marit Skaug Løyland
Kontrollert av:	Ørjan Nerland og Espen Eek

Sammendrag

NGI har fått i oppdrag av Herøya Industripark AS å vurdere metode for utfyllingen i Gunneklevfjorden. Denne rapporten omhandler geoteknisk og miljøteknisk prosjektering av utfyllingen.

Prosjektet faller i pålitelighetsklasse CC/RC 2. Geoteknisk kategori vurderes til 2. Dette medfører krav om *normal* prosjekterings- og utførelseskontroll.

Grunnen i utfyllingsområdet består av normalkonsolidert silt og leire, noe som medfører stabilitets- og setningsutfordringer i forbindelse med utfyllingen.

For stabilitetsberegninger kreves Eurokode 7 at det dokumenteres minimum sikkerhetsfaktor mot grunnbrudd (partialfaktor) på 1,4. For å oppnå dette, må det etableres en motfylling på utsiden av formålsgrensen, samt at utfyllingen må legges ut stegvis og delvis fra lekter.

Det kan forventes totalsetninger på opp til 2,0 m i forbindelse med utfyllingen.

Arbeidene vil bli gjenstand for flere krav fra miljømyndighetene på grunn av det høye innholdet av miljøgifter som dioksiner og kvikksølv. Det må påregnes overvåkning som omfatter måling av turbiditet, kvikksølv og nitrogenholdige næringssalter. Videre må det påregnes at det stilles krav til stans i arbeider ved overskridelse av grenseverdi for turbiditet, samt bruk av siltgardin for å hindre spredning av partikler ut fra anleggsområdet. Siden utfylling vil inngå som del av samlet miljøtiltak i Gunneklevfjorden, vil det stilles renhetskrav til toppsjiktet av flatene som er gjenfylt.

Innhold

1 Innledning 7
2 Krav til prosjektering 9
2.1 Regelverk 9
2.2 Pålitelighetsklasse og geoteknisk kategori 9
3 Prosjekteringsforutsetninger 9
3.1 Grunnlagsdata 9
3.2 Lastforutsetninger 10
3.3 Partialfaktorer 10
3.4 Utfyllingsmateriale 11
4 Valg av jordparametere 11
4.1 Topografi og grunnforhold 11
4.2 Poretrykk 12
4.3 Indeksparametere 12
4.4 Styrkeparametere 13
4.5 Deformasjonsparametere 14
5 Stabilitet 15
5.1 Geometri 16
5.2 Vannstand 16
5.3 Mellomlagring av masser 16
5.4 Beregningsgang 16
5.5 Beregningsresultater 16
5.6 Vurdering av stabilitet 17
6 Setninger 17
6.1 Beregningsresultater 17
6.2 Vurdering av setninger 18
6.3 Geoteknisk tiltak mot setninger 19
7 Miljøtekniske forhold 19
7.1 Forurensning i sjøbunnen 19
7.2 Utfyllingsmassenes miljøtilstand 20
7.3 Miljøtekniske krav til utfylling 20
7.4 Spredning før tiltak 21
7.5 Spredning under utfylling av stein 21
7.6 Spredning etter fullført motfylling 23
7.7 Spredning etter fullført utfylling 24
7.8 Spredning av plastavfall 25
7.9 Næringssalter fra sprengstoff 25
7.10 Avbøtende tiltak 27
8 Anleggsteknikk 27
8.1 Utfyllingsrekkefølge 28
8.2 Utfylling fra land 29
8.3 Bruk av flere områder 29
9 Mengdeberegninger 30
9.1 Fylling til kote +2,5 30
9.2 Etterfylling 30

10 Risikovurdering **31**
10.1 Høy risiko 31
10.2 Middels-høy risiko 32
10.3 Middels risiko 32
11 Videre arbeid **32**
11.1 Sjøbunn 32
11.2 Geotekniske parametere 32
11.3 Prøvefyllinger 33
11.4 Poretrykksmålere 33
11.5 Annet 33
12 Konklusjoner **33**
13 Referanser **34**

Tegninger

Tegning nr. 010	Borplan
Tegning nr. 011	Plan utfylling og lokasjoner poretrykksmålere

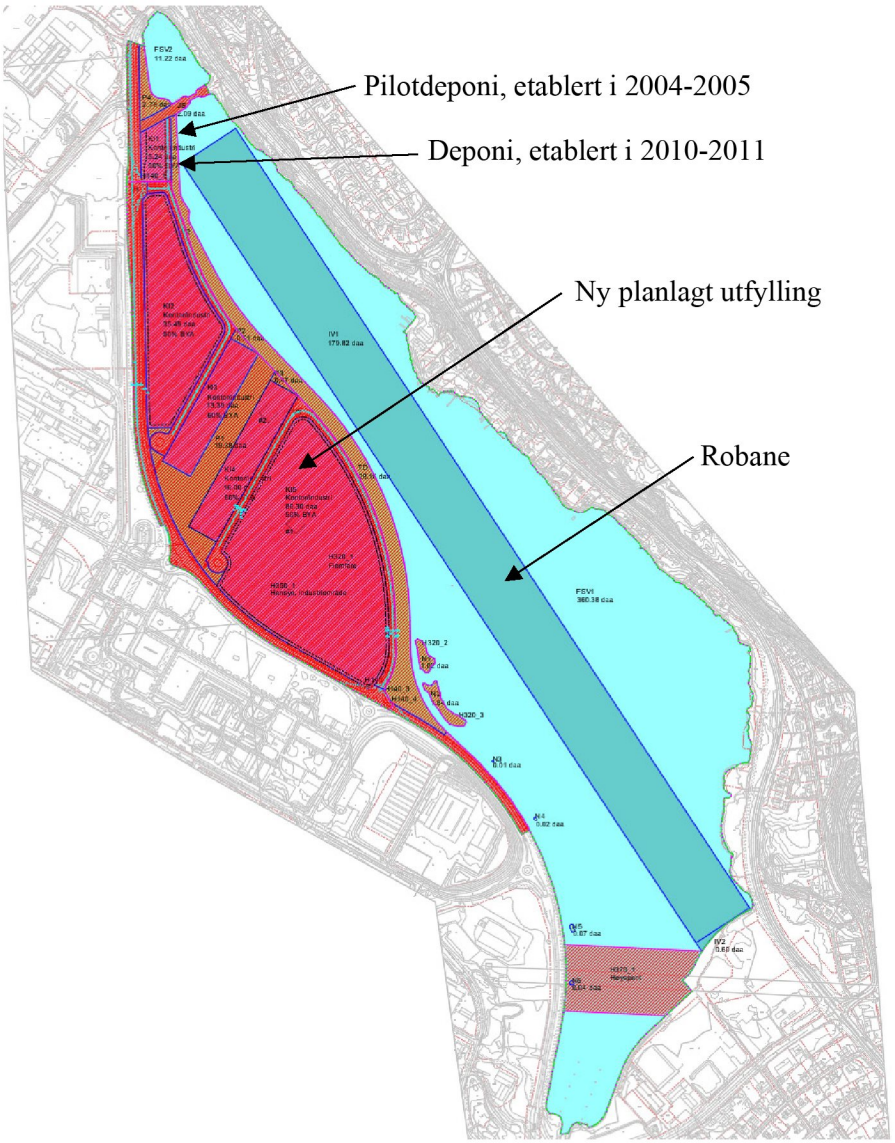
Vedlegg

Vedlegg A	Tolking av CPTU-sonderinger
Vedlegg B	Stabilitetsberegninger
Vedlegg C	Risikoidentifikasjon, Risikoanalyse og Risikoevaluering

Kontroll- og referanseside

1 Innledning

NGI har fått i oppdrag av Herøya Industripark AS (HIP) å vurdere metode for utfyllingen like sør for eksisterende strandkantdeponi i Gunneklevfjorden, se Figur 1.1.



Figur 1.1 Oversikt over tidligere og planlagt utfylling i Gunneklevfjorden /36/

I henhold til reguleringsplanen /1/ er planlagt arealbruk for den nye utfyllingen kontor/industri, vei, park, turdrag og friluftsområde. Utfyllingen forventes i all hovedsak å bestå av sprengstein.

Denne rapporten omfatter geoteknisk og miljøteknisk prosjektering av den planlagte utfyllingen.
Utfyllingen vil, foruten landgjenvinning, også være et av tiltakene mot forurensede sedimenter.

Denne rapporten er revidert fem ganger. Første gangs revisjon er utført med følgende endringer:

- Fyllingshøyden er senket fra kote +3,0 til kote +2,0.
- Det legges opp til en tett oppfølging av fyllingsarbeidene i regi av HIP.
- Det er ikke lenger like strenge krav til at utfyllingen skal kunne skje uten stopp på grunn av målte poretrykk eller turbiditet.
- Det er utført overslagsberegninger av steinstørrelser for å sikre synk for "grov stein" gjennom slamlaget.
- Det er vurdert en revidert utfyllingsrekkefølge med redusert bruk av grov stein. Dette samtidig som stabilitet av slamlaget sikres, og spredningen av forurensing holdes innenfor det som er akseptert av Miljødirektoratet.

Andre og tredje gangs revisjon er utført med følgende endringer:

- Maksimal fyllingsbredde er 30 m fra formålsgrensen.
- Alle stabilitetsberegninger er utført med sammensatte glideflater, i tillegg til sirkulærsylindriske og plane glideflater.

Fjerde gangs revisjon er utført med følgende endringer:

- Revidert bunnkotekart basert på sjøkartlegging med multistrålesonar /33/.
- Revidert tykkelse på slamlaget basert på bunnkartlegging /34/.

Femte gangs revisjon er utført med følgende endringer:

- Revidert reguleringsplan /36/.
- Dimensjonerende terrenglast økt fra 13 kPa til 20 kPa for veier og plasser benyttet i stabilitetsberegningene iht. revidert utgave av Statens vegvesen Vegnormal N200 /37/.
- Dimensjonerende terrenglast på 10 kPa er benyttet for grøntbeltet som er planlagt på de ytterste 25 m.
- Fyllingshøyden er økt fra +2,0 til +2,5.

Opplodding av sjøbunnen og bunnkartlegging av tykkelsen av slamlaget er utført av Geophysix AS/Geonord AS i 2018 for Hydro Energy AS. Arbeidet er utført i forbindelse med tildekkingsprosjektet /35/.

2 Krav til prosjektering

2.1 Regelverk

For geoteknisk prosjektering er følgende Eurokoder relevante:

- NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016 Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner /4/
- NS-EN 1997-1:2004+A1:2013+NA:2020 Geoteknisk prosjektering - Del 1: Allmenne regler /5/
- NS-EN 1997-2:2007+NA:2008 Geoteknisk prosjektering - Del 2: Regler basert på grunnundersøkelser og laboratorieprøver /6/
- NS-EN 1998-1:2004+A1:2013+NA:2021 Prosjektering av konstruksjoner for seismisk påvirkning - Del 1: Allmenne regler, seismiske laster og regler for bygninger /7/

2.2 Pålitelighetsklasse og geoteknisk kategori

I henhold til NS-EN 1990:2002 faller fremtid bruk av området (næringsvirksomhet) i pålitelighetsklasse CC/RC2. Dette medfører krav om *normal* prosjekterings- og utførelseskontroll.

I henhold til NS-EN 1997-1:2004 vurderes tiltaket å falle inn under Geoteknisk kategori 2 (GK2), "*Konvensjonelle typer konstruksjoner og fundamenter uten unormale risikoer eller vanskelige grunn- eller belastningsforhold*".

3 Prosjekteringsforutsetninger

3.1 Grunnlagsdata

3.1.1 Terrengdata

Terrengdata på land er basert på digitalt kart mottatt fra Børve Borchsenius Arkitekter AS den 1. februar 2022: *Kart 3D_Gunnekleiv UTM.dwg*.

I tidligere versjoner av rapporten har sjøbunnskotene vært basert på dybdekart fra lodding utført i 1988 /8/. De siste to revisjonene av rapporten er basert på nye opploddinger utført med multistrålesonar i 2018 /33/.

Det er brukt referansesystem UTM32 og høydesystem NN1954 i prosjektet.

Det er utført stabilitetsberegninger for oppfylling til kote +2,5.

3.1.2 Grunnforhold

Følgende geotekniske datarapporter er brukt som grunnlag i prosjekteringen:

- Sweco (2013) i sjøen og i området som skal utfylles /9/
- NGI (2015) vurdering styrke av slam /10/
- NGI (2003) i sjøen før pilotdeponi /11/
- NGI (1977) i sjøen /12/
- NGI (1965) på land /13/
- NGI (1963) i sjøen (før området var utfylt) /14/

Borpunktene er vist i Tegning 011.

Se kapittel 4 for beskrivelse av grunnforholdene.

3.1.3 Vannstand

Tidevannstabellen for Helgeroa /15/ viser at den laveste observerte vannstand (målt 26.01.2014) var 92 cm under referansenivået eller 0-nivå for landkart av typen NN1954.

3.1.4 Formålsområde

Reguleringsgrensen ligger der fylling bryter vannlinjen. Lokasjon av grensen er tatt fra tegningen: *Gunneklev RP.dwg,* mottatt fra Børve Borchsenius den 27. januar 2022.

3.2 Lastforutsetninger

I stabilitetsberegningene er det benyttet en dimensjonerende terrenglast på 20 kPa i henhold til Statens vegvesen Vegnormal N200 /37/, samt en terrenglast på 10 kPa de ytterste 25 m hvor det er planlagt grøntbelte.

$$F_{d,\,trafikk} = \gamma_Q \cdot F_{rep} = 1{,}3 * 15 = 19{,}5 \text{ kPa}$$

Fremtidig bruk av området er næringsvirksomhet. Lastene fra bygningene er ikke kjent per dagens dato, men tyngre og setningsømfintlige bygg og konstruksjoner må trolig pelefundamenteres.

3.3 Partialfaktorer

Eurokode 7 (NS-EN 1997-1) setter krav til at geotekniske beregninger for fyllinger skal utføres iht. Dimensjoneringsmetode 3, noe som innebærer at det skal benyttes partialfaktor på påvirkninger/laster og geotekniske parametere.

Sett M2 i Tabell NA.A.4 setter krav til partialfaktor for jordparametere /5/. Kravet for udrenert skjærfasthet er $\gamma_M = 1{,}4$ for ikke sensitive leirer.

Partialfaktor for motstand for stabilitet er satt til $\gamma_{R;e}$ = 1,0 iht. sett R3 i tabell NA.A.14 /5/.

Dette gir en "summert sikkerhetsfaktoren" for stabilitetsberegninger:

$S_f = \gamma_M \cdot \gamma_{R;e} = 1{,}4 \cdot 1{,}0 = 1{,}4$

3.4 Utfyllingsmateriale

Prosjekteringen forutsetter at fyllmassene består av sprengstein av god geoteknisk kvalitet. Med god geoteknisk kvalitet menes sprengstein med tilfredsstillende steinkvalitet og med lite finstoffinnhold.

Eksempel på stein av god kvalitet er granitt, gabbro og gneiss, mens eksempel på stein av dårlig kvalitet er fyllitt, glimmerskifer og andre sterkt forvitrede og skifrige bergarter.

4 Valg av jordparametere

4.1 Topografi og grunnforhold

Utfyllingen er planlagt utført i et område av Gunneklevfjorden hvor sjøbunnskotene varierer fra ca. kote -2 til -7, se /33/.

I forbindelse med planlagt utfylling har Sweco laget en borplan og utført grunnundersøkelser i utfyllingsområdet /9/. Grunnundersøkelsene består av seks totalsonderinger, to CPTU-sonderinger og en ϕ54 mm prøveserie.

Erfaring fra tidligere prosjekter i Gunneklevfjorden /10/ tilsier at det står et lag av slam over sjøbunnen. Slammet har svært lav egenvekt med antatt skjærfasthet på 0,5 kPa. Det antas at sonderingene ikke har registrert slamlaget, fordi det har så lav fasthet og gir tilnærmet ingen motstand under sondering. I forbindelse med tildekkingsprosjektet /35/ er tykkelsen på slamlaget målt, og viser en variasjon fra ca. 0,5 til 2,0 m /34/. Toppen av slamlaget antas å være ved sjøbunnskotene som vist i /33/.

Grunnundersøkelsene indikerer et øvre løsmasselag som består hovedsakelig av leirig silt til ca. 12 m dyp. Under her øker innholdet av leire, og jorda klassifiseres som siltig leire som fortsetter ned til 21 - 27 m dybde. Prøvedata (/12/ til /14/) tyder på små silt/sandlommer i det siltig leirelaget. Totalsonderingene indikerer at det ligger morene under silt-/leirelaget. Det er boret opp til 16 m ned i morene (dvs. til kote -42) uten å treffe berg. Det er ingen bergpåvisning i de nye totalsonderingene, men det er tidligere påvist berg på mellom kote -31 og -36 i borpunkter utført for pilotdeponiet /11/.

Store deler av området vest for Gunneklevfjorden er gjenvunnet/reetablert land, som er fylt ut på 60- og 70-tallet med materialer av varierende kvalitet (kan inneholde bl.a. søppel).

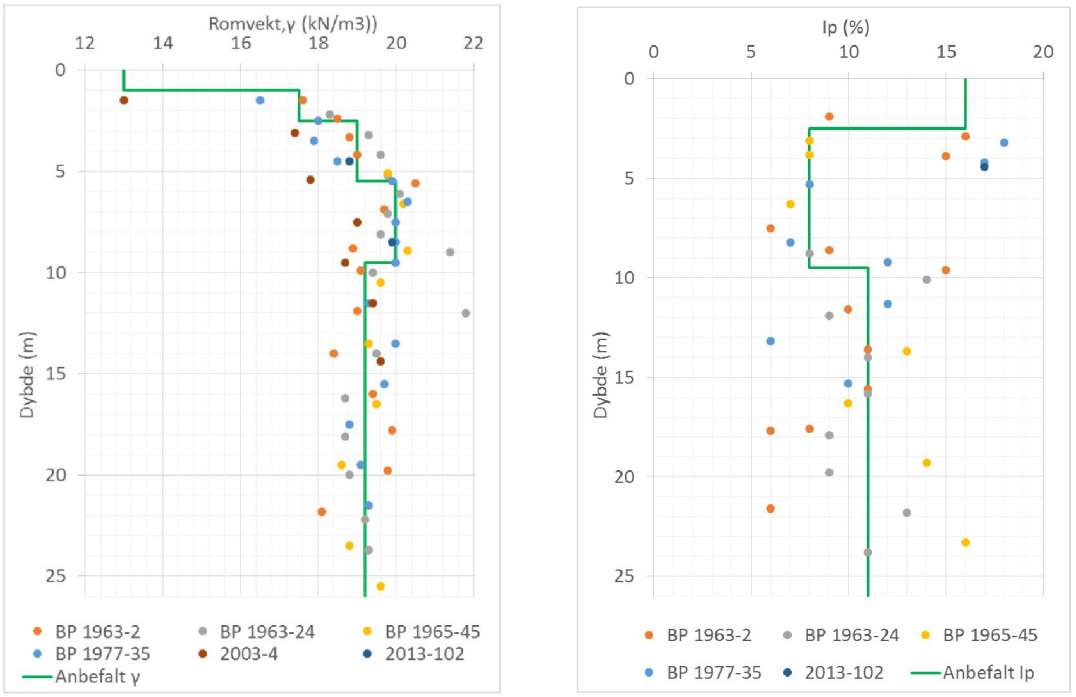
4.2 Poretrykk

Ingen poretrykksmålere er installerte i utfyllingsområdet, men poretrykkforholdet antas hydrostatisk med dybden.

4.3 Indeksparametere

Det ble kun tatt opp to prøvesylindere fra grunnundersøkelsene utført i 2013 (borpunkt 102 i /9/). Målt vanninnhold varierer mellom 24-37 %. Prøven fra 4 m dybde har høyere vanninnhold enn prøven fra 8 m, og det tolkes som at toppmassene består av (geologisk) relativt nylig sedimentert jordmateriale som har høyere vann- og humusinnhold. Plastisistetsindeks (I_p) på 17 % er målt i 4,4 m dybde (middels plastisk). Det er kun utført konus- og trykkforsøk på en prøve. Enaksialt trykkforsøk har deformasjon ved brudd på ca. 8 %, og prøven tolkes derfor som forstyrret, og in-situ udrenert skjærfasthet er derfor sannsynligvis noe høyere en rapporterte 10 kPa.

For å få et bedre grunnlag for bestemmelse av indeksparameterne i beregningene er grunnundersøkelsene fra en rekke gamle datarapporter også vurdert, se Figur 4.1. Anbefalte romvekt og plastisistetsindeks, som vist på Figur 4.1, er brukt videre i stabilitets- og setningsberegningene.



Figur 4.1 Samlet resultater fra /9//14/

4.4 Styrkeparametere

4.4.1 Treaksialforsøk

Det er utført to treaksialforsøk /9/:

- Borpunkt 102 ved 4,4 m dybde (tilsvarer kote -10,3)
- Borpunkt 102 ved 8,4 m dybde (tilsvarer kote -14,3)

Begge treaksforsøkene er av dårlig kvalitet, og derfor er ikke brukt videre i tolkningen av skjærstyrke.

4.4.2 Kohesjonsmateriale

Karakteristisk aktiv udrenert skjærfasthet av leire (s_{uA}) er bestemt på grunnlag av to CPTU-sonderinger som er utført i det planlagte utfyllingsområdet. CPTU-tolkningene er basert på /17/ med verdier for plastisistetsindeks (I_p), romvekt (γ) og poretrykk (u) som beskrevet ovenfor. Tolkning av s_{uA} CPTU-sonderingene er vist i vedlegg A. Merk at CPTU-sonderingene kun er utført til 9 m og 10 m under sjøbunnen, og at skjærfastheten under dette nivået må antas. Det er for øvrig også utført grunnundersøkelser flere ganger tidligere i fjorden, noe som gir grunnlag for å velge styrkeparametere, se /3/, /11/, /13/ og /14/.

På grunnlag av erfaringsdata basert på forsøk på blokkprøver, se /18/, er det lagt til grunn følgende anisotropiforhold:

- $s_{uD} / s_{uA} = 0,70$
- $s_{uP} / s_{uA} = 0,40$

4.4.3 Friksjonsmateriale

Det er benyttet erfaringsparametere for drenert skjærfasthet av steinfylling (også for blandingen av stein og slam):

- Effektiv friksjonsvinkel (ϕ') 42°
- Kohesjon (c') 0 kPa
- Total romvekt, over vann (γ_{tot}) 19 kN/m^2
- Total romvekt, under vann (γ_{tot}) 22 kN/m^2

4.5 Deformasjonsparametere

4.5.1 Ødometerforsøk

Det er utført fem ødometerforsøk:

- To forsøk ved borpunkt 102-2013 /9/
- Tre forsøk ved borpunkt 4-2003 /11/

Resultater av tolkningen av ødometerforsøkene vises i Tabell 4.1.

Tabell 4.1 Jordparametere tolket fra ødometerforsøk

Borhull	Dybde (m)	C_v (m^2/år)	k (m/år)	m (-)	p_r' (kPa)	Jordart (fra kornfordeling)
2013-102	4,4	24	0,075	22	12	Leirig silt
2013-102	8,3	340	0,25	75	0	Grov silt, litt sandig og leirig
2003-4	5,4	32	0,10	17	0	Leirig silt
2003-4	7,4	158	0,25	29	-25	Leirig silt
2003-4	11,2	95	0,19	28	-25	Siltig, sandig leire

Merknader:

- Ikke mulig å tolke p_c', pga. store prøveforstyrrelser.
- Tolkning av C_v er basert på effektivspenningsnivå på p_0' + 130 kPa, altså forventet spenningsnivå etter at massene er ferdig oppfylt.

4.5.2 Materialparametere til beregninger

De benyttede materialparameterne for setningsberegningene er basert på tolking av resultater fra ødometerforsøk. På grunn av usikkerheten i valg av permeabilitets-parameterne (variasjon i grunnforholdene), er det kjørt to beregninger med litt forskjellige antagelser (se Sett 1 og Sett 2). Beregningene antar at jorda er normalkonsolidert, dvs. at $p_c' \approx p_0'$. Benyttede materialparametere er oppsummert i Tabell 4.2.

Tabell 4.2 Materialparametere brukt i setningsberegninger

Lag	Dybde (m)	Romvekt, γ (kN/m³)	m_{nc} (-)	a (-)	p_c' (kPa)	p_{ref}' (kPa)	Sett 1		Sett 2	
							k_{init} (m/år)	B_k (-)	k_{init} (m/år)	B_k (-)
Organisk silt	0	17,5	12	-	20	0	0,075	0,03	0,01	0
	1,5	17,5	12	-	20	0	0,075	0,03	0,01	0
Leirig silt	1,5	19	22	-	20	0	0,25	0,03	0,10	0
	4,5	19	22	-	43	0	0,25	0,03	0,10	0
Leirig silt2	4,5	20	22	-	43	0	0,25	0,03	0,25	0
	8	20	22	-	78	0	0,25	0,03	0,25	0
Sand	8	20	200	0,4	78	-	1000	0,03	1000	0
	8,5	20	200	0,4	83	-	1000	0,03	1000	0
Leirig silt3	8,5	19,2	29	-	83	-25	0,25	0,03	0,25	0
	10	19,2	29	-	97	-25	0,25	0,03	0,25	0
Siltig leire	10	19,2	29	-	97	-25	0,19	0,03	0,07	0
	20	19,2	29	-	189	-25	0,15	0,03	0,07	0

4.5.3 Su-profil

Det er i stabilitetsberegningene antatt at man venter med oppfylling fra kote +0,5 til kote +2,5 inntil grunnen er ca. 80% konsolidert for oppfyllingen til kote +0,5. Det er antatt en økt skjærstyrke i de øverste 13 meterne av leiren etter konsolideringen, derav de øverste 8 meterne er konsolidert 80%, mens fra 8-13 meter går konsolideringen fra 60 til 0%. Økt skjærstyrke er beregnet etter SHANSEP:

$\Delta S_{uA} = 0.3 * \Delta p' = 0.3(p'_{etter} - p'_{før})$
hvor p' = effektiv overlagringstrykk

5 Stabilitet

Stabilitetsberegningene er utført i programmet GeoSuite Stability /19/. Programmet beregner etter grenselikevektsmetoden, noe som vil si at materialfaktoren

(sikkerhetsfaktor S_f) bestemmes ut fra kravet om horisontal-, vertikal- og moment-likevekt for et gitt antall vertikale lameller i den geometriske beregningsmodellen.

Krav til sikkerhetsfaktoren ligger på $S_f = 1,4$ (se kap. 3.3), og må i utgangspunktet tilfredsstilles for både anleggsfaser og for ferdig utfylling i endelig brukssituasjon. Beregningene er utført for både sirkulære, plane og sammensatte glideflater for å finne mest kritiske glideflate.

5.1 Geometri

Beregningsprofilene som er vurdert er valgt slik at de ligger tilnærmet normalt på den planlagte fyllings- og sjøbunnsskråningen. Det er beregnet stabilitet langs tre profiler (A–C) i utfyllingsområdet, alle med varierende sjøbunnsdybder. Beliggenhet av profilene er vist på Tegning 010 og 011.

Lagdeling i beregningsmodellene er basert på resultater fra dreietrykk- og CPTU-sonderinger, samt laboratorieundersøkelser på prøvesylindre i borpunkt 2013-102 /9/.

5.2 Vannstand

For stabilitetsvurderingene vil den ugunstige situasjon oppstå når det er lavvann. I alle beregningsprofilene er det derfor valgt å legge havnivå på kote -1,0 med hydrostatisk trykkfordeling med dybden. Dette tilsvarer den laveste observerte vannstand for Helgeroa, se avsnitt 3.1.3.

5.3 Mellomlagring av masser

Områder som eventuelt skal brukes til mellomlagring av stein må vurderes nærmere av geotekniker i en senere fase. Ukontrollert lagring/oppfylling av masser kan føre til utglidninger.

5.4 Beregningsgang

Det er i beregningene forutsatt at oppfyllingen fra kote +0.5 til +2.5 ikke skjer før deler av grunnen er konsolidert for oppfylling til kote +0.5 (se kap. 4.5.3)

Med utgangspunkt i gitt geometri og utstrekning for den planlagte masseoppfyllingen, er både lokal og global stabilitet vurdert for alle profiler.

5.5 Beregningsresultater

Resultatene fra stabilitetsberegningene for utfylling til kote +2,5 er presentert i vedlegg B tegn. B01–B03.

Siden stabiliteten for planlagt oppfylling viser seg å være for dårlig ($S_f < 1,0$), er det nødvendig å legge inn betydelige motfyllinger for å oppnå minstekravet. Størrelsen av motfyllingen er avhengig av dybden til sjøbunn (ved formålsgrensen). Sjøbunnskartet viser at dybden langs formålsgrensen avtar mot sør, og dermed reduseres størrelsen og utstrekningen av motfyllingen noe.

5.6 Vurdering av stabilitet

Det lagt til grunn platåer på kote -1,5 og -5,0. Utstrekningen på platåene og helningen mellom dem er vist for de forskjellige snittene på tegningene. Med denne løsningen er det oppnådd sikkerhetsfaktor på 1,4 for sammensatt glideflater, mens de sirkulære glideflatene gir noe høyere sikkerhetsfaktor. Stabiliteten av fyllingen er dermed ivaretatt i alle snitt.

6 Setninger

En masseoppfylling i den størrelsesorden som er planlagt vil føre til betydelige konsolideringssetninger i underliggende silt/leire. Størrelse og tidsforløp på setningene som følge av utfyllingen er vurdert nedenfor.

Slamlaget er ikke inkludert i setningsberegningene, fordi slammet vil trolig presses opp i steinmassene under utfylling.

Det er for setningsberegninger brukt programmet GeoSuite Settlement /20/ med følgende beregningsmetoder:

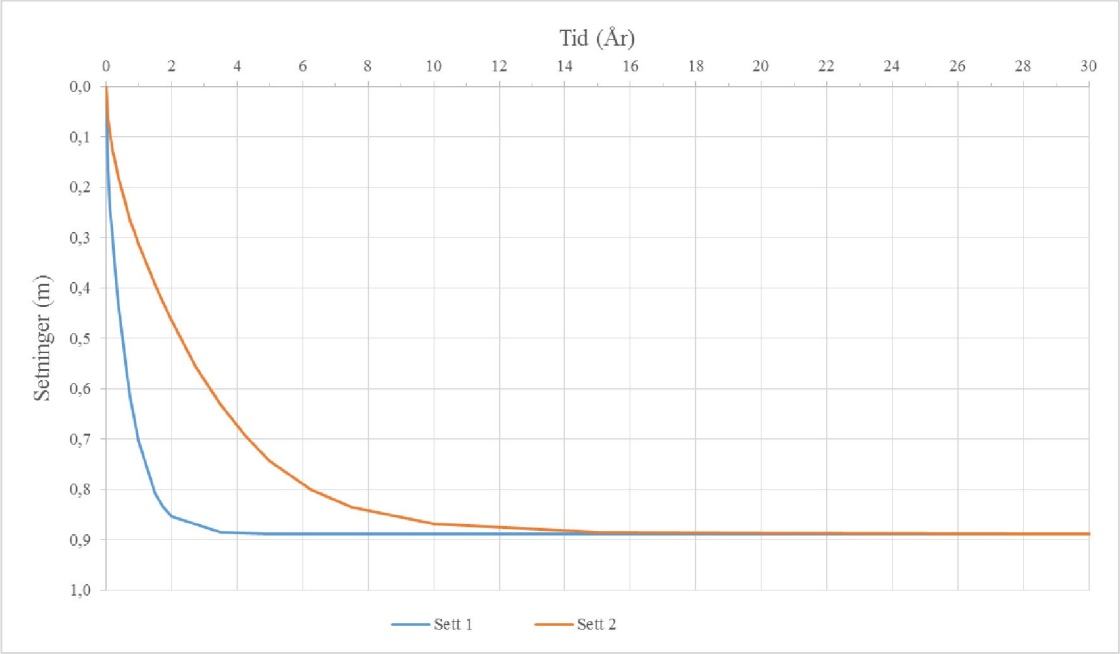
- Jordmodell: "Janbu" for silt og leire. "Janbu, sand" for sand.
- Permeabilitetsmodell: "log based (strain)".

Det er ikke er tatt hensyn til krypsetninger i beregningene, og det understrekes at oppfyllingen vil føre til betydelige krypsetninger.

En oppfylling på 9 m (midt i fyllingsområdet i Profil A og konservativt antatt opp til kote +3,0) vil gi en netto tilleggsspenning på rundt 130 kPa. Grunnet oppfyllingens store utbredelse antas tilleggsspenningen som tilnærmet uendret med dybden.

6.1 Beregningsresultater

Resultater med beregnede primærsetninger er vist i Figur 6.1.



Figur 6.1 Beregnede primærsetninger for Sett 1 og Sett 2, se kap. 4.5.2.

6.2 Vurdering av setninger

Størrelsesorden på primærsetningene er ca. 90 cm. Setningsutviklingen er noe forskjellig mellom Sett 1 og Sett 2 (pga. forskjellig permeabilitet), se kap. 4.5.2.

Sett 1

- 0,5 m setninger i første 6 måneder
- 0,85 m setninger i første 2 år
- Nesten 100 % av setningene vil være unna i løpet av 5 år

Sett 2

- 0,2 m setninger i første 6 måneder
- 0,5 m setninger i første 2 år
- Ca. 85 % av setningene vil være unna i løpet av 5 år

Krypsetninger og egensetninger i fyllingen kommer i tillegg. Det er vanskelig å si hvor store krypsetningene kan bli, men et grovt anslag av forventede krypsetninger vil være ca. 5-8 mm per år. Egensetninger i fyllingen er vanskelig å tallfeste, men erfaringer fra lignende prosjekt har vist at setningene kan bli opp mot 5 % av fyllingshøyde. Det vil i så fall kunne utgjøre ca. 0,5 m i dette tilfellet.

Det er viktig å presisere at oppfyllingshøyden varierer. Fyllingshøyden nærmest dagens vannkanten og i søndre delen av utfyllingen bli noe mindre enn i presenterte setnings-beregninger.

Avhengig av hvor lang tid oppfyllingen vil ta, vil en del av setningene allerede være unnagjort under anleggsperioden. Dersom det er ønskelig å fremskynde konsolideringssetningene er det mulig å installere vertikaldren ned i sjøbunnen. Man vil da redusere behovet for etterfylling av området over tid, se kapittel under.

6.3 Geoteknisk tiltak mot setninger

Aktuelle tiltak for å fremskynde setningene i det underliggende silt/leire kan være installasjon av vertikaldrenering og utførelse av forbelastning.

6.3.1 Vertikaldrenering

Vertikaldrenering benyttes til å fremskynde setningsforløpet i impermeable løsmasser (leire og siltig leirig). Metoden går ut på å forhåndsinstallere prefabrikerte plastdren til typisk 15-30 m under sjøbunnen. Plastdrenene fører til redusert drensvei for porevannet i leira/silten og dermed betydelig raskere konsolideringstid ved pålastning.

6.3.2 Forbelastning

Forbelastning går ut på å belaste grunnen slik at den konsolideres for en spenning tilsvarende eller større enn senere planlagte belastningen av grunnen. Forbelastning fremskynder setningsforløpet og gir økning i grunnens skjærstyrke. Det mest vanlige er å forbelaste ved hjelp av løsmasser. Metoden er relativt rimelig dersom tilgangen på løsmasser er god. Ulempen med metoden er at den er tidkrevende dersom grunnen består av lite permeable masser (leire og leirig silt) til stor dybde, og det ikke er forhånds-installert vertikaldren.

7 Miljøtekniske forhold

7.1 Forurensning i sjøbunnen

Sedimentene i Gunneklevfjorden inneholder høye konsentrasjoner av en rekke miljøgifter, og størst risiko er det forbundet med nivåene av kvikksølv (Hg) og klorerte organiske stoffer, som dioksiner og heksaklorbensen (HCB). Forurensningssituasjonen er kartlagt over flere år, og parallelt med utfyllingsprosjektet foregår det arbeid med å planlegge tiltak for å dekke til forurenset sjøbunn i Gunneklevfjorden. Denne planleggingen styres av Hydro og gjøres i henhold til pålegg fra Miljødirektoratet.

Det forurensede sedimentet ligger over naturlig avsatt leire. Det har lav styrke og stabilitet, og det skilles i det som beskrives videre på geoteknisk stabilitet av sedimentet og geoteknisk stabilitet av underliggende leire. For spredning av forurensning vil lav stabilitet være en risikofaktor i begge tilfeller, mens glidning i sedimentene ikke anses som kritisk i ren geoteknisk sammenheng, med unntak av for eventuell volumøkning.

7.2 Utfyllingsmassenes miljøtilstand

Utfyllingen vil skje med masser av sprengstein som i utgangspunktet består av rene masser. Massene forventes å komme fra utsprenging av skjæringer og tunneler, og er i prinsippet uten andre tilsettingsstoffer enn eventuelt rester av uomsatt sprengstoff, sprøytebetong, og fiberarmering.

Geoteknisk og miljøteknisk kvalitet skal dokumenteres for massene som benyttes til utfylling i Gunneklevfjorden. Det skal utarbeides en prosedyre for kontroll av masser som benyttes i utfyllingen. Dette vil hovedsakelig være for å kontrollere at det ikke benyttes forurensede masser, svartskifer eller annen reaktiv stein.

7.3 Miljøtekniske krav til utfylling

Utfyllingen av sprengsteinen vil skje på forurenset sediment og for å hindre spredning av forurensning til omkringliggende områder i Gunneklevfjorden og utenfor, stilles det en del krav til utfyllingsmetode og avbøtende tiltak. Dette gjøres for å minimere spredning til vannmassene og sedimentet utenfor fyllingsområdet mens utfyllingen pågår samt å hindre spredning fra området på lang sikt.

For å sikre stabilitet av både sediment og underliggende leire, er en mulig løsning å legge ut etter følgende prinsipp:

- Etablere motfylling som skal sikre totalstabilitet av hele utfyllingen
- En stabilisering av forurenset slam lokalt i motfyllingen, ved at det fylles grov stein i en bredde lik 15 m og tykkelse 1,5 m langs hele motfyllingens fot.
- Den grove steinen overfylles av motfyllingsmasser av tunnelstein.
- Alt arbeid utføres innenfor siltgardin.
- Det måles turbiditet på utsiden av siltgardinen. Det må også forventes krav fra miljømyndighet om dokumentasjon av vannkvalitet med hensyn på kvikksølv og nitrogenholdige næringssalter.
- Det må foretas inspeksjon og ev. tas prøves av overflaten på fyllingen for å sikre at det ikke ligger eksponert slam for nær overflaten.
- Dersom det ikke er tilstrekkelig tildekking av forurensningen i overflaten, må det gjøres ytterligere tildekking til resultatet er tilfredsstillende.

7.4 Spredning før tiltak

Spredningen før tiltak er den spredningen som foregår fra det forurensede sedimentet i Gunneklevfjorden slik situasjonen er i dag, se figur 7.1. Det er flere mekanismer som fører til spredning fra sedimentet.

Oppvirvling

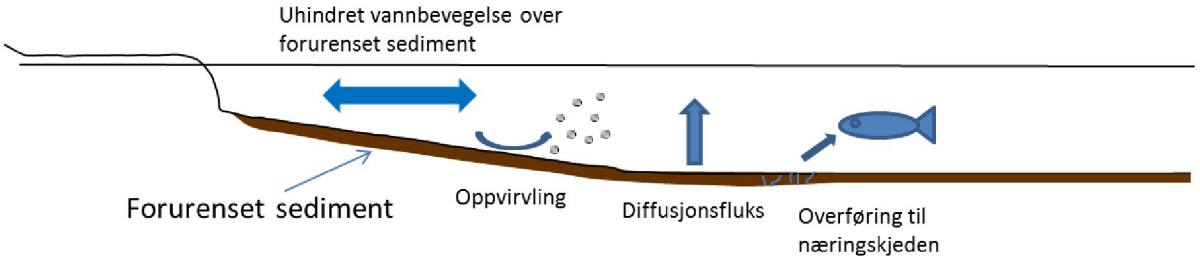
Oppvirvling kommer av vannstrømmer over sedimentet som tar med seg forurensede partikler. Siden det er uhindret vannbevegelse over sedimentet, kan de oppvirvlede sedimentene føres til andre områder i fjorden eller ut av fjorden.

Diffusjon

Grunnet høye konsentrasjoner av miljøgifter i sedimentene, vil det være en diffusjons-fluks fra porevannet i sedimentet og ut i vannsøylen.

Overføring til næringskjeden

Miljøgiftene i porevannet i sedimentet vil bli tatt opp av eventuelle sedimentlevende organismer i Gunneklevfjorden. Miljøgiftene kan da overføres til andre organismer oppover i næringskjeden.

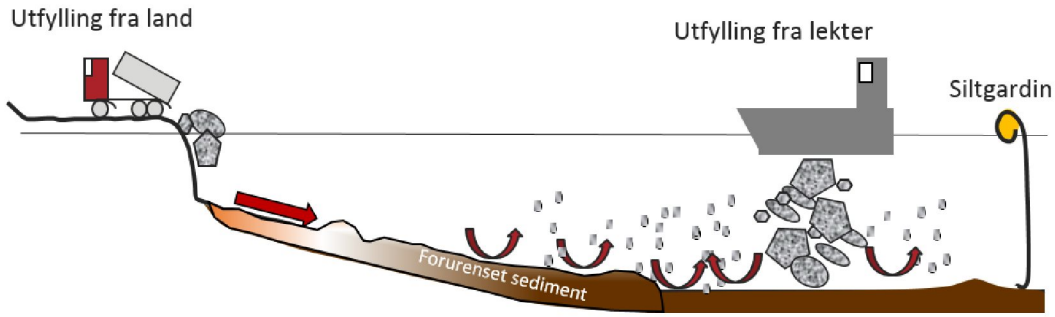


Figur 7.1 Spredningsmekanismer i Gunneklevfjorden i dag

Pågående studier i forbindelse med vurdering av tiltak viser at det fortsatt er høye konsentrasjoner i sediment og porevann i fjorden. Undersøkelsene har likevel vist at konsentrasjonen i overflatesedimentet er i forbedring. Dette kommer av at sedimenterende partikler er betydelig renere enn sjøbunnen.

7.5 Spredning under utfylling av stein

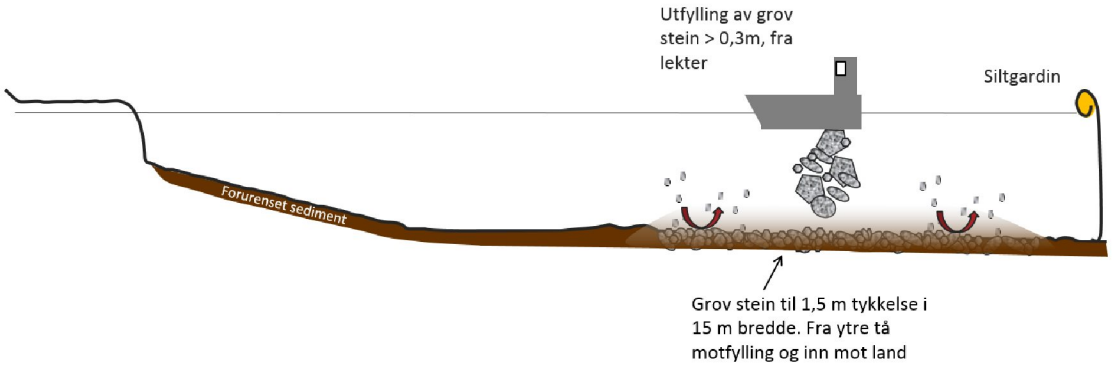
Utfylling med sprengsteinsmasser direkte på forurenset sediment (slamlaget) kan føre til oppvirvling av eller utglidning i forurensede sedimenter, som illustrert i figur 7.2.



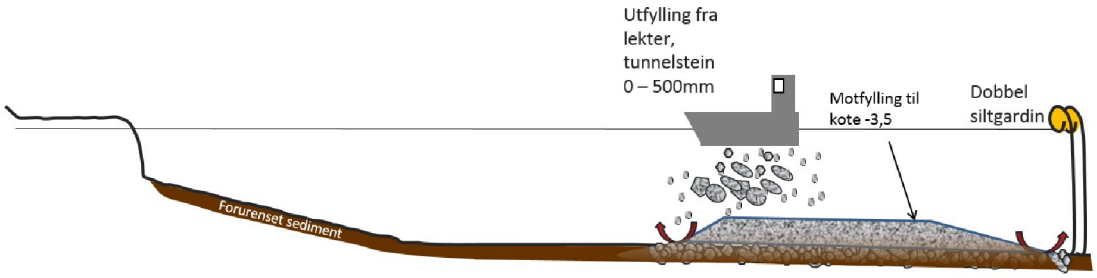
Figur 7.2 Prinsippskisse for mulig spredning av forurensing ved utfylling av stein

Utfyllingen må gjennomføres på en slik måte at utglidninger hindres, da en eventuell utglidning vil føre til betydelig risiko for spredning av forurensede sedimenter. De geotekniske beregningene viser at motfylling gir god sikkerhet mot brudd i underliggende leire. Beregningene viser at slammet vil gå til brudd når det dumpes stein på det. For å stabilisere slammet mot utglidning, er det valgt å foreslå å dumpe grov sprengstein i nedre del av motfyllingen, se figur 7.3. Den grove steinen skal sikre kontakt mellom fyllmasser og underliggende leire, slik at det ikke oppstår et glidesjikt av slam mellom finsprengte fyllmasser og leire, der sjøbunnen heller. Dette vil ikke forhindre oppvirvling, men antas å sikre at slammet og utfylt stein blir liggende innenfor tiltaksområdet. Over den grove steinen er det planlagt å fylle med usortert tunnelstein, se figur 7.4. Det vil også bli benyttet fylling med tunnelstein innenfor båndet med grov stein.

Litteratursøk og forsøk fra Ormen Lange-utbyggingen viser at dumping av stein i rør, uavhengig av steinstørrelse, men mindre enn rørets tverrsnitt, danner en jetbølge foran steinen som fjerner finstoff og slam på sjøbunnen, der steinen treffer (Bemsterboer, 2013), se /22/.



Figur 7.3 Prinsippskisse for stabilisering av forurenset slam med grov sprengstein i dypeste del av motfyllingssonen



Figur 7.4 Utlegging av tunnelstein over grov sprengstein i ytre del av motfylling

Oppvirvlingen av forurenset sediment vil skje simultant med frigjøring av rent finstoff fra utfyllingsmassen. Det rene finstoffet fra sprengsteinen vil suspenderes øverst i vannmassene mens oppvirvling av forurensede partiklene skjer ved bunnen. Dette betyr at det er sannsynlig at det rene finstoffet i betydelig grad vil fortynne eller legge seg over det som virvles opp av forurensede sedimenter.

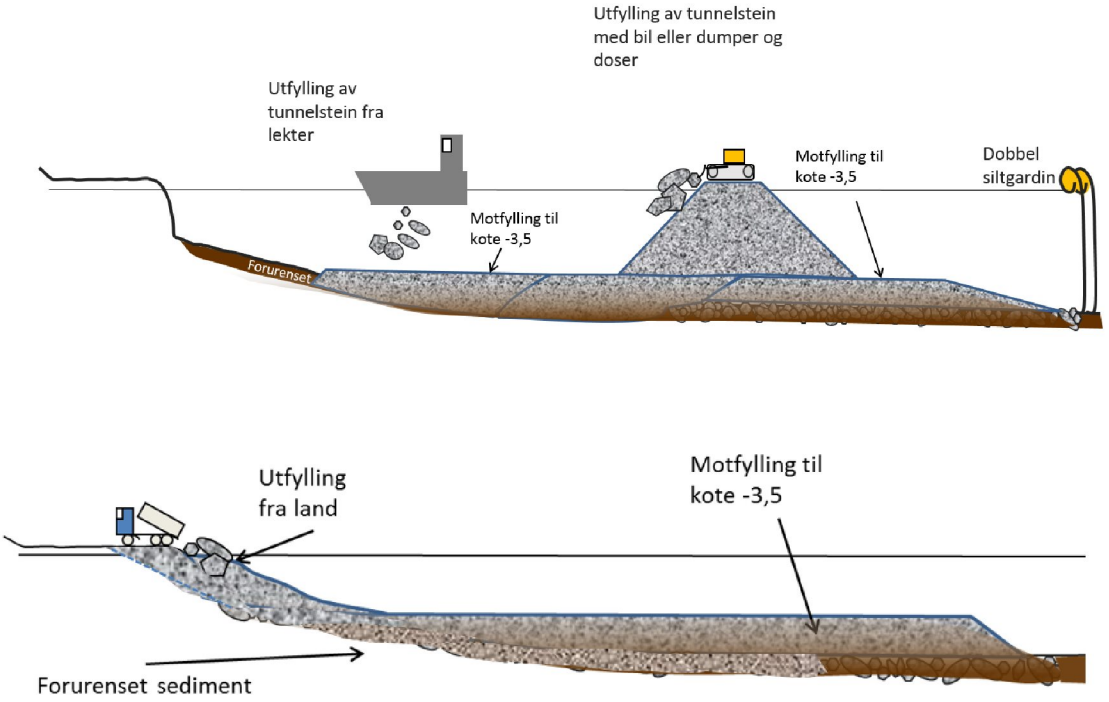
Oppvirvling fra bunnen og oppvalking av masse er størst under utlegging av den første steinen, men antas å dempes raskt når det første laget med grov stein er lagt ut. Spredning til områder utenfor selve utfyllingsområdet vil være en kombinasjon av rent finstoff fra fyllmasser og forurenset sediment, og dette vil i sum gi renere sediment i områdene rundt, siden disse områdene også er svært forurensede. Etterhvert som rene masser i større grad dominerer overflaten av sjøbunnen der oppvirvling av forurensede partikler kan skje, er det vurdert at det rene finstoffet fra sprengsteinen i større grad vil dominere de massene som spres utenfor utfyllingsområdet.

Det vil iverksettes avbøtende tiltak i form av siltgardin utenfor utfyllingsområde for å hindre spredning til resten av Gunneklevfjorden og ut av denne. Spredning ut av Gunneklevfjorden vil uansett være sterkt begrenset siden utstrømming kun skjer gjennom to kanaler med begrenset tverrsnitts areal. Dersom overvåkningen i starten av prosjektet viser betydelig spredning slik at arbeidet ikke kan gjennomføres som planlagt, kan det være aktuelt å sette opp enda en siltgardin for å hindre spredning.

7.6 Spredning etter fullført motfylling

Når motfyllingen er fullført, er de forurensede sedimentene i området for utfyllingen tildekket med ren sprengstein, og oppvirvling av forurenset sediment antas å opphøre. Oppnådd ren overflate kan dokumenteres med prøvetaking. Dersom det ikke er oppnådd forventet miljøtilstand i overflaten på fyllingen, må det dekkes til ytterligere til forholdene er tilfredsstillende.

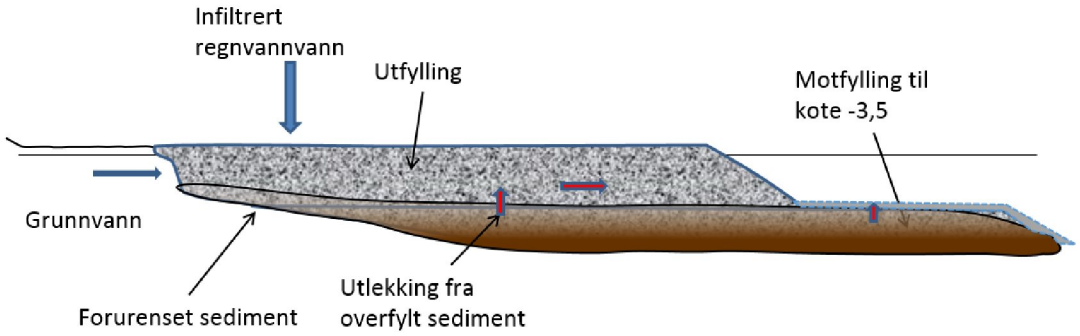
Spredning fra de forurensede sedimentene vil i denne fasen skje gjennom utpressing av porevann fra sedimentene, se figur 7.4. Porevannet inneholder løste forurensnings-komponenter.



Figur 7.5 Prinsippskisse av utfylling fra land eller fra sjete etter fullført motfylling, kotenivå vil avvike og avhenge av detaljprosjekteringen

7.7 Spredning etter fullført utfylling

Spredningsmekanismene fra det forurensede sedimentet etter fullført utfylling er vist i figur 7.6. Det forurensede sedimentet under utfyllingen er dekket av ren sprengstein, og partikulær spredning fra området er stanset. Spredning foregår nå som utlekking fra overfylt sediment til grunnvann som transporteres gjennom fyllingen.



Figur 7.6 Spredningsmekanismer etter fullført utfylling, kotenivå kan avvike noe etter detalj-prosjektering

7.8 Spredning av plastavfall

Sprøytebetongen benyttes til sikringsarbeidene i tunneler, og blir dermed med berg-massene som skal lastes ut. Det er ikke kjent om leverandøren til utfyllingsmassene vil benytte stålfiber eller plastfiber som fiberarmering av sprøytebetongen. Det kan i tillegg følge med plastbiter fra emballasje og skyteledninger. Hovedmengden av dette materialet vil følge med steinmassene når disse deponeres og bli en del av fyllingen. Det må påregnes at miljømyndighetene vil kunne stille krav om at dette plastmaterialet må samles for å forhindre spredning til sjø.

Som en del av fyllingen vil eventuelle plastfibre og skyteledninger utgjøre en mindre mengde organisk materiale med lav nedbrytningshastighet og vil her utgjøre liten miljørisiko. Den andelen av plasten som måtte skilles fra steinmassene under utfylling i Gunneklevfjorden, vil holdes tilbake av siltgardinen som skal brukes rundt utfyllingen forutsatt normale vær- og bølgeforhold. Plastfibrene som ikke bindes i mørtelen vil flyte, men hindres i å spre seg av siltgardinen.

Det må til enhver tid være en fysisk barriere som hindrer spredning av plastavfallet. Dersom siltgardinen ikke skal stå oppe gjennom hele perioden når det dumpes stein til sjø, må en annen barriere vurderes. Avfallet må jevnlig samles opp innenfor den fysiske barrieren og leveres til et godkjent mottak for slikt avfall.

7.9 Næringssalter fra sprengstoff

Sprengsteinen inneholder noe udetonert sprengstoff. Sprengstoff består vanligvis av en stor andel nitrogenforbindelser (blant annet ammoniumnitrat og natriumnitrat). Disse forbindelsene er lettløselige i vann, og de vil dermed overføres til vann så snart steinen dumpes. Bækken (1998) refererer til studier utført i Sverige som viser en utlekking av 18 % av nitrogenet som benyttes i sprenging, se /23/. Forsøk som Bækken har utført på

tunnelstein i samarbeid med Statens Vegvesen viser resultater i samme størrelsesorden (Bækken, 1998).

Nitrogenforbindelsene vil foreligge som nitrat og ammonium/ammoniakk i vann. Ved naturlig pH for sjøvann (rundt pH 8), vil ammonium (NH_4^+) være dominerende (Ystenes, 2009) /24/. Ammoniakk (NH_3) er toksisk for fisk (Stumm og Morgan, 1996) /25/, og fisk kan reagere på konsentrasjoner ned til 10 µg/L (Bækken, 2001) /26/.

Nitrogenholdige næringssalter er nødvendige for marin primærproduksjon, men dersom det blir tilført i for store mengder i et akvatisk økosystem, kan det føre til en oppblomstring av alger (eutrofiering). Nitrogen er et begrensede element for plantevekst i sjøvann, så tilførsel vil i mange tilfeller føre til økt algevekst (Kjensmo, 2011) /27/. Dette vil gi en økning av biomasse, men samtidig en nedgang i biomangfold, da mange arter foretrekker næringsfattige omgivelser (Meteorologisk institutt, 2015) /28/. I tillegg kan eutrofiering føre med seg oppblomstring av giftige alger (Meteorologisk institutt, 2015). En økning av biomasse til fører til økt oksygenbehov for nedbryting, som igjen kan føre til mangel på oksygen i økosystemet (Kjensmo, 2011).

For klassifisering av næringssalter i kystvann, gjelder Veileder 02:2018 *Klassifisering av miljøtilstand i vann* (Direktoratsgruppen vanndirektivet, 2018) /29/. Konsentrasjoner av total nitrogen, nitrat og ammonium blir klassifisert etter verdier vist i tabellen under.

Tabell 7.1 Klassifisering av nitrogenforbindelser i kystvann. Konsentrasjoner er i µg/L

Parameter		Tilstandsklasser				
		I Meget god	II God	III Mindre god	IV Dårlig	V Meget dårlig
Overflatelag sommer (jun – aug)	Total nitrogen	<250	250-330	330-500	500-800	>800
	Nitrat	<12	12-23	23-65	65-250	>250
	Ammonium	19	19-50	50-200	200-325	>325
Overflatelag vinter (des – feb)	Total nitrogen	<291	291-380	380-560	560-800	>800
	Nitrat	<97	97-125	125-225	225-350	>350
	Ammonium	<33	33-75	75-155	155-325	>325

Konsentrasjonene bør ikke være i tilstandsklasse IV eller V i prøvepunktene utenfor siltgardinen.

Konsentrasjonene av nitrogenforbindelser må overvåkes under utfylling. Prøver tas både nærme utfylling samt med noe avstand for å se på fortynningen av forbindelsene. En av prøvene bør tas i munningen ut mot elva. Det må også tas prøve ved en referansestasjon, slik at en ser hva den naturlige bakgrunnen i området er. Prøver tas to ganger i året (sommer og vinter).

7.10 Avbøtende tiltak

7.10.1 Siltgardin

Som avbøtende tiltak mot spredning av forurensede partikler vil det bli etablert en siltgardin rundt delområder eller hele området. Siltgardinen vil bestå av en geotekstil flytelegemer festes til den øvre kanten av siltgardinen for å holde denne flytende. Synkelegemer festes i gardinens nedre kant slik at gardinen strekkes ut gjennom vannet ned til sjøbunnen og hindrer partikkeltransport ut av området som den avgrenser.

Lekter til utlegging fra sjø vil ligge innenfor siltgardinen så lenge den er i bruk, slik at det ikke er nødvendig å åpne gardinen for å slippe lekteren ut og inn.

Gunneklevfjorden er lite utsatt for sterke strømmer og er derfor et område som er godt egnet for å bruke siltgardin. Dette gjør også at utfordringene med is om vinteren blir mindre fordi isen i liten grad vil drive ut av område under is smeltingen om våren.

For at siltgardinen skal være en effektiv barriere mot spredning av forurensede partikler, må funksjonalitet sikres i hele perioden utfyllingen pågår. Det etableres en kontrollprosedyre for kontroll av siltgardinen. Denne beskriver daglig visuell inspeksjon av siltgardinen og det lages en beredskapsavtale med dykkertjeneste som kan gjøre utbedringer under vann når det er nødvendig. Det vil også gjøres målinger av turbiditet utenfor siltgardinen.

Når det er dokumentert at hele sjøbunnen innenfor tiltaksområdet er dekket med rene sprengsteinsmasser, er det ikke lenger fare for oppvirvling av forurensede partikler. På dette tidspunktet kan siltgardinen demonteres. En fysisk barriere for oppsamling av plastavfall fra sprengsteinen må opprettholdes.

7.10.2 Overvåkning av turbiditet

Turbiditet overvåkes i to punkter henholdsvis 100 m nord og øst for området der utfyllingen pågår, så lenge det skjer utfylling på forurenset sjøbunn. Det anbefales en grenseverdi for turbiditet på 10 NTU over naturlig bakgrunnsverdi.

Overvåkning av turbiditet kan avsluttes etter at sjøbunnen i utfyllingsområdet er dekket med rene masser. Da er det ikke lenger er risiko for spredning av forurensede partikler på grunn av oppvirvling.

8 Anleggsteknikk

Steinmassene forventes i utgangspunktet å komme fra nærliggende vegprosjekter. Det har vært et viktig prinsipp fra oppdragsgiver at massene kan legges ut kontinuerlig og ikke påvirke framdriften på vegprosjektene.

Det gjøres oppmerksom på at det er innført strengere krav til sikkerhet (Eurokode 7) ved utførelse av geotekniske arbeider. Dette gir en endret utførelse i forhold til de eldre utfyllingene i fjorden.

8.1 Utfyllingsrekkefølge

For å ivareta stabiliteten må entreprenøren utføre utfyllingen i rekkefølgen som beskrevet nedenfor.

Det må brukes forskjellige metoder for utfyllingen, avhengig av sjøbunnsdybden.

- Sjøbunn under kote -3,5: fra lekter
- Sjøbunn mellom kote -1,5 og kote -3,5: kreves sidetipping fra lekter eller at lekterne ikke er lastet full
- Sjøbunn over kote -1,5: fylles fra land

Et alternativ til bruk av sidetipping lekter er bruk av flyttbare flåter, for fylling mellom kote -3,5 og kote -1,5, ev. andre metoder som utførende entreprenør finner hensiktsmessig.

De forskjellige områder er illustrert i Tegning 011.

8.1.1 Utfylling av grov stein

Slamlaget i bunnen av Gunneklevfjorden må tildekkes for å hindre spredning av miljøgifter. Bruk av "grov" stein er både geoteknisk og miljøteknisk hensiktsmessig for dette prosjektet /3/. Det er antatt at de grove steinene trenger ned til bunnen av slamlaget, og at slammet blir kapslet imellom steinene. Endelig valg av steinstørrelse skal bestemmes etter utførelse av pilotforsøk (se avsnitt 11.3).

Grov stein må legges ut lagvis inntil slamlaget er dekket, dette antas å måtte legge ut et ca. 1,5 m tykt lag av grov stein for å dekke slammet. Dette gjøres i en bredde på 15 m i den ytterste delen av motfyllingen, se kapittel 7.

8.1.2 Utfylling til kote -1,5 med lekter

Utfylling opp til kote -1,5 må utføres fra lekter.

8.1.3 Utfylling til kote +0,5

Utfylling direkte fra tipp fra kote -1,5 og opp til kote +0,5 blir utført fra land. Dette kan ikke utføres før punkt 8.1.1 og 8.1.2 er gjennomført, og poretrykksmålere indikerer at grunnen er ca. 80 % konsolidert for fylling opp til kote -3,5.

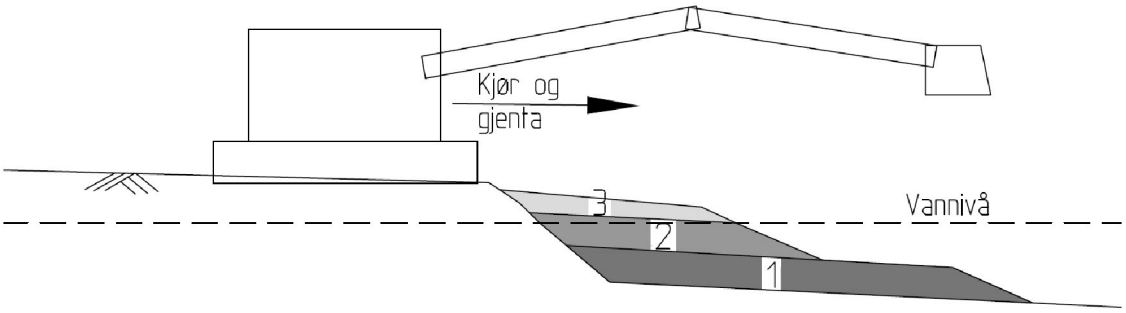
8.1.4 Utfylling til kote +2,5

Utfylling direkte fra tipp fra kote +0,5 til kote +2,5 blir naturlig nok også utført fra land, men kan ikke utføres før grunnen er ca. 80% konsolidert for fylling opp til kote +0,5.

For å kunne vurdere konsolideringsforløpet må det før oppstart av utfyllingen installeres poretrykksmålere i grunnen. Forslag til plassering av poretrykksmålere er vist på tegning 010.

8.2 Utfylling fra land

På grunn av fare for grunnbrudd når det fylles fra land, kan det ikke doses direkte ut i sjøen fra dagens strandkant. Det må brukes en gravemaskin med lang arm for å plassere stein på sjøbunn slik at det etableres en stabil "rampe" inn mot land, se Figur 8.2.



Figur 8.1 Utfylling fra land: rekkefølge 1, 2, 3

8.3 Bruk av flere områder

Det er mulig å etablere flere områder/angrepspunkt samtidig innenfor utfyllingsområdet, slik at masser kan kjøres ut flere steder parallelt. Dette kan gjøres mens man venter på utligning av målt poreovertrykk i et område. Utfylling flere steder kan også være aktuelt dersom partikkelspredningen blir for stor i et område.

I forbindelse med etablering av alternative utfyllingsområder kan det bli aktuelt å fylle ut masser til over vannoverflaten (i en sjetè) for å bruke sjetèen som kjørevei, slik at tipping av masser kan gjøres flere steder samtidig.

Utfyllingen må uansett forholde seg til kravene ovenfor (kapittel 8).

9 Mengdeberegninger

9.1 Fylling til kote +2,5

Med utgangspunkt i foreslått løsning for utfylling som presentert i Vedlegg B, er det gjort et overslag over hvor stort det totale fyllingsvolumet blir. Det er antatt at fyllmassene vil trenge ned i det øvre laget med slam, og at det trenges ca. 1,5 m tykt lag av "grov" stein /3/ på de ytterste 15 m av motfyllingen. Volumberegningen er for øvrig dokumentert i et eget teknisk notat, se /38/.

Fyllingsarealet som opparbeides opp til kote +2,5 utgjør 203.750 m^2, mens skråningsutslag og motfyllinger utgjør 70.185 m^2, noe som samlet gir et areal på 273.935 m^2.

En oversikt over samlet fyllingsvolum (fast anbrakte/komprimerte masser) er vist i Tabell 9.1. Etterfylling på grunn av setninger er også inkludert i tabellen, se kap. 9.2 nedenfor. Volumberegninger viser at det vil være behov for ca. 2,2 millioner m^3 med fast anbrakte/ferdig komprimerte masser.

Tabell 9.1 Oversikt fyllingsvolumer, fylling til kote +2,5

Utfyllingstrinn	**Volum (m^3)**
Tykkelse slamlag/fortrengning av slamlag. Volumet er beregnet fra uk slamlag og til sjøbunn. Oppfylling med lekter.	205.950
Oppfylling fra sjøbunnen og opp til kote -3,5 med lekter (inkl. motfylling). Volumet er beregnet fra topp slamlag.	340.450
Oppfylling fra kote -3,5 til kote -1,5 med halvfull lekter/sidetipp (inkl. motfylling).	423.840
Oppfylling fra kote -1,5 til kote +0,5 fra land.	428.640
Oppfylling fra kote +0,5 til kote +2,5 fra land.	416.330
Etterfylling i 2 m tykkelse pga. setninger	407.500
Sum sprengstein	**2.222.710**

9.2 Etterfylling

Underveis, og i lang tid etter at oppfyllingen er ferdigstilt, vil det som nevnt påløpe terrengsetninger. Det betyr at det vil bli behov for å etterfylle området for å opprettholde ønsket terrengnivå. Det kan medføre behov for drøye 400.000 m^3 med ekstra masser med tiden ved etterfylling i 2 m tykkelse. Størrelsen vil avhenge av dybden til berg eller faste lag. Den ekstra oppfyllingen pga. setninger gjelder kun landarealene, altså arealene som ligger på kote +2,5.

10 Risikovurdering

Det er utført en risikovurdering av utfyllingsprosessen, med bruk av metode utviklet for FoU-prosjektet BegrensSkade /31/

Risikovurderingen er delt i fem faser:

- Fase 1: Etablere grunnlag
- Fase 2: Risikoidentifikasjon
- Fase 3: Semikvantitativ risikoanalyse
- Fase 4: Risikoevaluering
- Fase 5: Risikoreduserende tiltak

Resultatet av risikoanalysen er vist i risikomatrisen i Figur 10.1, mens inngangsdata er vist i Vedlegg C.

Sannsynlighet	1	2	3	4	5
5	4:3-HM			4:3-FØ	
4	3:1-H 4:4-HM	4:4-FØ 6:1-M	1:1-MF 3:1-FØ 6:1-F	1:1-HØ 3:1-M 6:1-HØ	
3	2:1-HM 3:2-H 5:1-M, 4-H	5:1-HFØ, 4-MFØ	2:1-FØ 3:2-FØ	3:2-M	
2	3:3-H 4:1-HM 5:2-M, 3-HMØ	5:2-F, 3-F	1:2-MF 3:3-FØ 5:2-Ø	1:2-HØ 3:3-M 5:2-H	4:1-FØ
1	4:2-HM		4:2-FØ		

Figur 10.1 Fargekodene illustrerer risikonivå fra meget lav (grønn) til meget høy (rød).

Risikomatrisen indikerer at 1 prosjektprosess ligger i *høy* risiko (rød), 8 prosjektprosesser ligger i risikonivå *middels-høy* (oransje), og at 8 prosjektprosesser ligger i risikonivå *middels* (gul).

Merk: denne risikovurderingen bør oppdateres underveis i prosjektet, for eksempel etter at hvert tiltak settes i gang.

10.1 Høy risiko

For høy risiko prosesser må tiltak iverksettes.

Prosessen "Vertikaldren - redusert effekt av dren pga. slamlag" er vurdert som *høy* risiko, og derfor er en prøveinstallasjon av vertikaldren sterkt anbefalt.

10.2 Middels-høy risiko

Det anbefales også utført tiltak for *middels-høy* risiko. Tabell 10.1 har oversikt over prosessene og relevante tiltak.

10.3 Middels risiko

For prosesser på middels risiko er nærmere analyse nødvendig for å vurdere om tiltak er nødvendig. Se på Vedlegg C.

Tabell 10.1 Tiltak for redusering av risiko. Se Vedlegg C for mer detaljer.

Nr.	Prosjektprosess	Årsak til uønsket hendelse / kilde til usikkerhet	Tiltak
1:1	Prosjektering og planlegging	Feil i prosjekteringsgrunnlag	• Supplerende grunnundersøkelser • Installasjon av poretrykksmålere • 3. partskontroll av prosjektering
3:1	Siltgardin	Feil i utførelse	• Robust og utprøvd/kjent løsning • Entreprenør med erfaring
3:2	Siltgardin	Feil i materialvalg	• Robust og utprøvd/kjent løsning
4:1	Vertikal dren	Feil i materialvalg	• God kontroll av materialet før det installeres
6:1	Utfylling fra tipp	Feil i utførelse	• Utvidet kontroll under utførelse. • Entreprenør med erfaring

11 Videre arbeid

Ut fra usikkerhetene i prosjektet er det anbefalt å utføre noen forberedende arbeider før prosjektoppstart. Disse kan brukes for å bekrefte antagelsene brukt i prosjekteringen og derfor redusere risikoen i prosjektet.

For øvrig er det, som tidligere nevnt, utført ny kartlegging av sjøbunnskoter og slamtykkelser i forbindelse med tildekkingsprosjektet. Dette har gjort prosjekterings-grunnlaget sikrere og mengdeberegningene mer nøyaktige.

11.1 Sjøbunn

Det anbefales opplodding underveis i prosjektet for kontroll av utfyllingen/stabiliteten.

11.2 Geotekniske parametere

På grunn av begrenset datagrunnlag, ligger det en del usikkerheter i valg av dimensjoneringsparameterne. Supplerende grunnundersøkelser kan redusere usikker-heten noe. Følgende suppleringer kan vurderes:

- Noen CPTU-sonderinger (til 20 m dybde): for tolking av styrke og påvisning av drenerende silt-/sandlag.
- Prøvetaking under utfyllingsområdet.
- Ødometerforsøk av god kvalitet: for bestemmelse av deformasjonsparameterne.

11.3 Prøvefyllinger

Det anbefales at det i starten av utfyllingen utføres prøvefyllinger i et område av fjorden hvor det er registrert minimum 1,0 m tykt slamlag. Forslag til utførelse og plassering av prøvefyllinger er beskrevet i et eget notat, se /39/. Hensikten med prøvefyllingene er å teste hvordan stein av forskjellige størrelser og gradering oppfører seg i slamlaget. Da kan størrelsen av "grov" stein bestemmes.

Merk at denne rapporten ikke utelukker bruk av andre tildekkingsløsninger (over slamlaget), hvis kostnad eller logistikk av "grov" stein hindrer gjennomføring av prosjektet.

Utleggingsmønster og metode kan trolig optimaliseres avhengig av massene som kommer, og erfaringer man får underveis.

11.4 Poretrykksmålere

Det må installeres poretrykksmålere i grunnen før oppstart av fyllingen. Målere skal brukes underveis i prosjektet for overvåkning av poreovertrykket. Det anbefales installert poretrykksmålere i tre dybder, i minste fire lokasjoner. Se Tegning 011 for foreslåtte lokasjoner.

11.5 Annet

Erfaring fra tidligere prosjekter tilsier at det bør legges merk til følgende punkter:

- Det anbefales bruk av stållunte ved sprengning for å unngå spredning av plast til miljøet under utfyllingen.
- Omlegging av rør/kabel/utløp i fyllingsområdet bør gjøres i god tid før oppstart av utfylling.

12 Konklusjoner

Løsmassene i Gunneklevfjorden består av et slamlag over normalkonsolidert leirig silt og siltig leire. For å fylle opp til kote +2,5 må det etableres motfyllinger på utsiden av formålsgrensen. I tillegg må det dokumenters med poretrykksmålere at leira konsolideres 80 % av overlagringstrykket før det fylles fra +0,5 til +2,5 Oppfyllingen vil gi betydelige setninger over tid.

Arbeidene vil bli gjenstand for flere krav fra miljømyndighetene på grunn av det høye innholdet av miljøgifter som dioksiner og kvikksølv. Det må påregnes overvåkning som omfatter måling av turbiditet, kvikksølv og nitrogenholdige næringssalter. Videre må det påregnes at det stilles krav til stans i arbeider ved overskridelse av grenseverdi for turbiditet samt bruk av siltgardin for å hindre spredning av partikler ut fra anleggsområdet. Siden utfylling vil inngå som del av samlet miljøtiltak i Gunneklevfjorden, vil det stilles renhetskrav til toppsjiktet av flatene som er gjenfylt.

13 Referanser

/1/ Børve Borchsenius (2022)
Detaljregulering for Gunneklev II. PlanID 430, datert 19.01.2022

/2/ NIVA (2015)
Beslutningsgrunnlag og tiltaksplan for forurensede sedimenter i Gunneklevfjorden. Rapport nr. 6922-2015, datert 11. november 2015

/3/ NGI (2015)
Utfylling for innvinning av nytt landareal i Gunneklevfjorden 2015. Geotekniske og miljøtekniske krav til utfylling i Gunneklevfjorden. Rapport nr. 20150170-01-TN, rev. nr. 2, datert 18. mai 2015

/4/ Norsk Standard (2008)
NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016. Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner

/5/ Norsk Standard (2008)
NS-EN 1997-1:2004+A1:2013+NA:2020. Eurokode 7: Geoteknisk prosjektering. Del 1: Allmenne regler

/6/ Norsk Standard (2008)
NS-EN 1997-2:2007+NA:2008.Eurokode 7: Geoteknisk prosjektering. Del 2: Regler basert på grunnundersøkelser og laboratorieprøver

/7/ Norsk Standard (2014)
NS-EN 1998-1:2004+A1:2013+NA:2021. Eurokode 8: Prosjektering av konstruksjoner for seismisk påvirkning. Del 1: Allmenne regler, seismiske laster og regler for bygninger

/8/ Norsk Hydro (1988)
Gunneklevfjorden. Dybdekart, ekv. 1 m, dybde ref. = HPI 0. Loddet i 1988

/9/ Sweco (2013)
Porsgrunn Kommune. Geoteknisk rapport. Utfylling i Gunneklevfjorden. Rapport nr. 616091-1, datert 7. juni 2013

/10/ NGI (2015)
Underlag for beslutning om tiltak mot forurensede sedimenter i Gunneklevfjorden. Platebelastningsforsøk og testtildekking i laboratoriet for vurdering av styrke i forurenset slam. Rapport nr. 20120820-04-R, datert 27. mai 2015

/11/ NGI (2003)
Hydro Porsgrunn Industripark.Deponi i Gunneklevfjorden. Grunnundersøkelser og geotekniske vurderinger. Rapport nr. 20031352-1, datert 27. juli 2003

/12/ NGI (1977)
Norsk Hydro a.s. - Porsgrunn Fabrikker. Grunnundersøkelser og stabilitetsvurderinger for slamsperre i Gunneklevfjorden. NGI rapport 75062-2, datert 20. april 1977

/13/ NGI (1965)
Supplerende grunnundersøkelser i forbindelse med utfylling av Gunneklev-fjorden, Herøya. NGI rapport 62/50-4, datert 15. juli 1965

/14/ NGI (1963)
Herøya. Foreløpig rapport over utførte grunnundersøkelser for fylling i Gunneklevfjorden. NGI rapport 62/50-1, datert 9. mars 1963

/15/ Kartverket (2015)
Tidevannstabeller 2016. For den norske kyst med Svalbard, samt Dover, England

/16/ Statens vegvesen (2018)
Håndbok V220 – Geoteknikk i vegbygging

/17/ Karlsrud, K. Lunne, T. Kort, D.A. Strandvik, S. (2005)
"CPTU correlations for clays". Proc 16th ICSMFE, Osaka, September 2005.

/18/ Karlsrud, K. and Hernandez-Martinez, F.G. (2013).
“Strength and deformation properties of Norwegian clays from high quality block samples”. Can. Geot. J. 50:1-21

/19/ Vianova GeoSuite (2015)
GS Stability, Versjon 15.1.0.0

/20/ Vianova GeoSuite (2016)
GS Settlement Versjon 15.1.0.0

/21/ NGI (2014)
Utfylling i Gunneklevfjorden. Geotekniske vurderinger av utfylling sør for pilotdeponiet. Teknisk notat nr. 20140673-01-TN, 22. september 2014

/22/ Bemsterboer, T.N (2013)
Modelling the immediate penetration of rock particles in soft clay during subsea rock installation, using a flexible fallpipe vessel. Delft University of Technology/Van Oord Marine ingenuity.

/23/ Bækken, T. (1998)
Avrenning av nitrogen fra tunnelmasser. Løpenr. 3920-19. Datert: 1998-10-01

/24/ Ystenes, M. (2009)
Ammonium. I Store norske leksikon. Hentet 29. oktober 2015 fra https://snl.no/ammonium

/25/ Stumm og Morgan (1996)
Aquatic Chemistry – Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters. Environmental Science and Technology. John Wiley and Sons. 1996

/26/ Bækken, T. (2001)
Utfylling av tunnelmasser i nedre del av Drammenselva. Overvåkning av vannkvalitet. Løpenr. 4348-2001. Datert: 2001-02-28

/27/ Kjensmo, J. (2011)
Eutrofiering. I Store norske leksikon. Hentet 29. oktober 2015 fra https://snl.no/eutrofiering.

/28/ Meteorologisk institutt (2015)
Nitrogen som forurensning. Hentet 29. oktober 2015 fra http://met.no/Luftforurensning/Nitrogen_som_forurensning/

/29/ Direktoratsgruppen vanndirektivet (2018)
Veileder 02:2018 Klassifisering av miljøtilstand i vann.

/30/ De Vries m/fl., (2009)
Ormen Lange Gas Field: Immediate Settlements of Offshore Rock Supports. Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering. May 2009, vol. 131/024502-1

/31/ BegrensSkade (2015)
Begrensning av skader som følge av grunnarbeider. Delprosjekt nr. 5, Risikoveiledning. Rapport datert 31. mars 2015.

/32/ NGI (2015)
Underlag for beslutning om tiltak mot forurensede sedimenter i Gunneklevfjorden. Tiltaksalternativer for forurensede sedimenter i Gunneklevfjorden. Rapport nr. 20120820-03-R, 17. desember 2015

/33/ Geophysix AS/Geonord AS (2018)
Bunnkotekart Gunnekleiv. Sjøbunnskartlegging utført med multistrålesonar. RapporttegningSjøbunn.dxf, datert 6. april 2018

/34/ Geophysix AS/Geonord AS (2018)
Isopak-kart Gunnekleiv. Bunnkartlegging av forurensede sedimenter RapporttegningSlamlag.dxf, datert 6. april 2018

/35/ NGI (2018)
Hydro Energy AS. Gunneklevfjorden, tildekking. Geoteknisk rapport. Rapport nr. 20170636-01, datert 25. juni 2018

/36/ Arkitekt Børve Borchsenius AS (2022)
Detaljregulering for Gunneklev II, Planid: 430, datert 19. januar 2022

/37/ Statens vegvesen (2018)
Vegnormal N200 – Vegbygging

/38/ NGI (2022)
HIP Eiendom AS og Norsk Hydro ASA. Utfylling i Gunnklevfjorden. Volumberegninger for utfylling i Gunneklevfjorden. Teknisk notat 20160925-02-TN Rev. 2, datert 15. februar 2022

/39/ NGI (2019)
HIP Eiendom AS. Utfylling i Gunneklevfjorden. Program for utførelse av prøvefylling. Teknisk notat 20160925-01-TN, datert 11. februar 2019

536000
536500
537000
6554500
6554000

Kabel
Idrett/vannsport
A
B
C
-8
-7
-6
-5
-4
-3
-2
-1
-5.00
-1.50
+2.50
25.0m
20.0m
10.0m

FORKLARINGER:

Volum utfylling utk slamlag til sjøbunn	205 950 m3
Volum utfylling fra sjøbunn til kote -3,5	340 450 m3
Volum utfylling fra kote -3,5 til kote -1,5	423 840 m3
Volum utfylling fra kote -1,5 til kote +0,5	428 640 m3
Volum utfylling fra kote +0,5 til kote +2,0	313 900 m3
Volum utfylling fra kote +2,0 til kote 2,5	102 430 m3
Nytt utfylt areal inkl. motfyllinger:	273 935 m2
Nytt utfylt areal på kote +2.0:	205 960 m2
Nytt utfylt areal på kote +2.5:	203 750 m2

Fyllingshøyder

#	Min høyde	Maks høyde	Farge
1	0.0	2.0	
2	2.0	4.0	
3	4.0	6.0	
4	6.0	7.0	
5	7.0	9.5	

HENVISNINGER:

Bunnkotekart fra tegning RapporttegningSjøbunn.dxf, datert 6. april 2018
Tykkelse på slamlaget fra tegning RapporttegningSlamlag.dxf, datert 6. april 2018
Landareal som på tegning mottatt fra HIP den 12. november 2020

Tegningstittel: Plan utfylling. Oppfylling til kote +2,5
Tegningsnr: 010
Rev: 01

Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
01	Ny utforming	10.02.2022	KJA	ON	ON

HIP EIENDOM AS
GEOTEKNISK PROSJEKTERING

Plan utfylling
Oppfylling til kote +2,5

Status:
Original format: A1
Tegningens filnavn: 010_Utfylling kote +2,5.dwg
Målestokk: 1:2000

NGI
Sognsveien 72 - PO Box 3930 Ullevål Stadion
NO-0806 Oslo, Norway
T: (+47) 22 02 30 00 F: (+47) 22 23 04 48
www.ngi.no

Dato	Konstr./Tegnet	Kontrollert	Godkjent
30.11.2020	KJA	ON	ON

Oppdragsnr: 20160925
Tegningsnr: 010
Rev: 01

536000.0000 536500.0000

6554500.0000 6554000.0000

Kabel

Ny poretrykksmåler

Ny poretrykksmåler

Ny poretrykksmåler

Ny poretrykksmåler

Idrett/vannsport

A A B B C C

-5.00 -150 +2.50

FORKLARINGER:

- Dreiesondering
- Enkel sondering
- Trykksondering
- Fjellkontrollboring
- Dreietrykksondering
- Totalsondering
- Prøveserie
- Prøvegrop
- Vingeboring
- Poretrykksmåling
- Fjell i dagen

Borhull nr. Terreng (bunn) kote / Antatt fjellkote Boret dybde + (boret i fjell)

- Utfylling fra sjøbunn og opp til kote -3,5 fra lekter
- Utfylling fra kote -3,5 til kote -1,5 med sidelipping fra lekter eller at lekter ikke er lastet full
- Utfylling fra kote -1,5 fra land

HENVISNINGER:

Bunnkotekart fra tegning RapporttegningSjøbunn.dxf, datert 6. april 2018
Tykkelse på stamlaget fra tegning RapporttegningStamlag.dxf, datert 6. april 2018
Landareal som på tegning mottatt fra HIP den 12. november 2020

Tegningstittel	Tegningsnr.	Rev.
Plan utfylling og anbefalte lokasjoner poretrykksmålere	011	01

Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
01	Ny utforming	10.02.2022	KjA	ON	ON

HIP EIENDOM AS
GEOTEKNISK PROSJEKTERING

Plan utfylling og anbefalte lokasjoner poretrykksmålere

Status
Original format: A1
Tegningens filnavn: 011_Utfylling og anbefalte lokasjoner poretrykksm
Målestokk: 1:2000

NGI
Sognsveien 72 - PO Box 3930 Ullevål Stadion
NO-0806 Oslo, Norway
T: (+47) 22 02 30 00 F: (+47) 22 23 04 48
www.ngi.no

Dato	Konstr./Tegnet	Kontrollert	Godkjent
30.11.2020	KjA	ON	ON

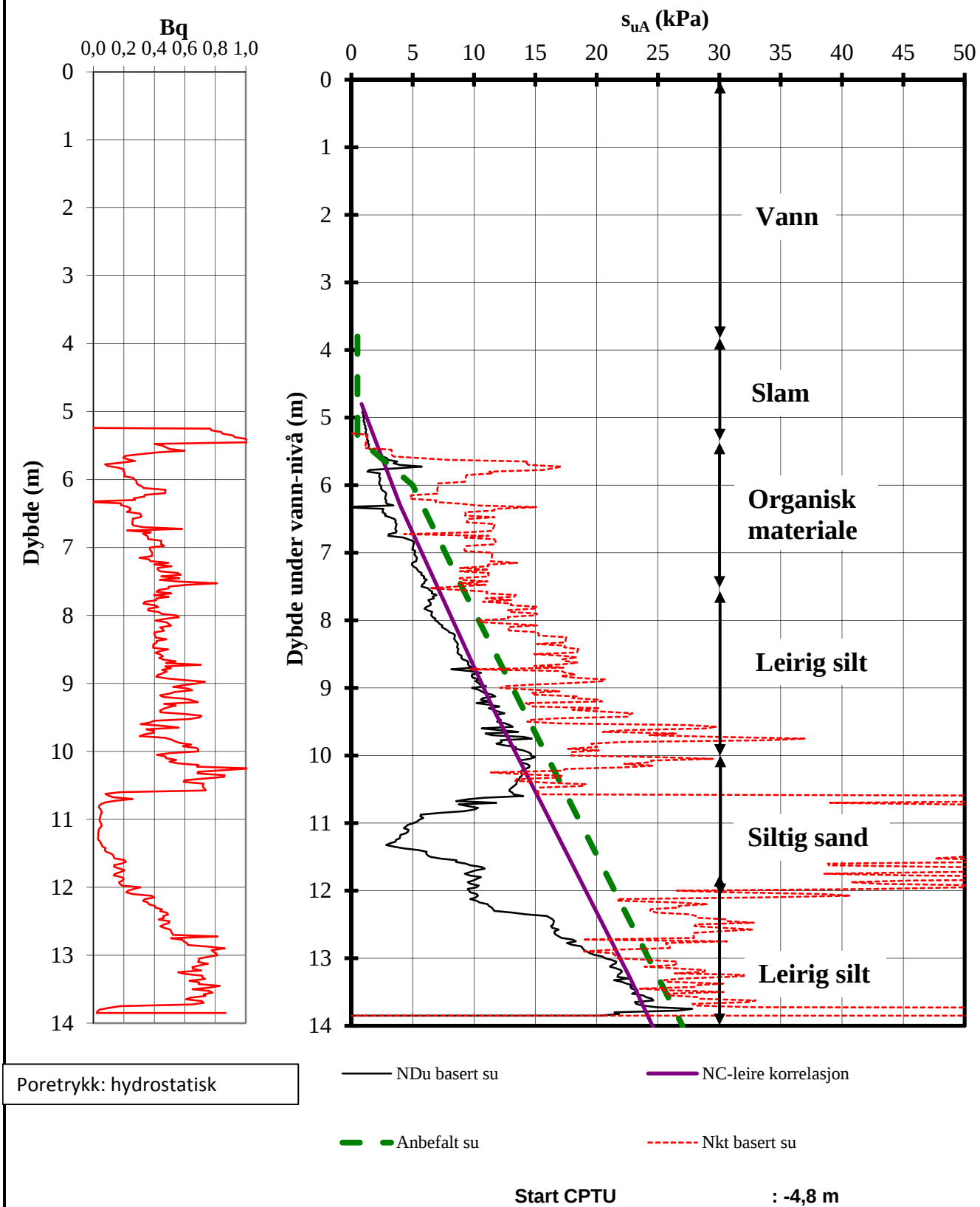
Oppdragsnr.	Tegningsnr.	Rev.
20160925	011	01

Vedlegg A

TOLKING AV CPTU-SONDERINGER

Innhold

Vedlegg A01 Tolking av 2013-100
Vedlegg A02 Tolking av 2013-102

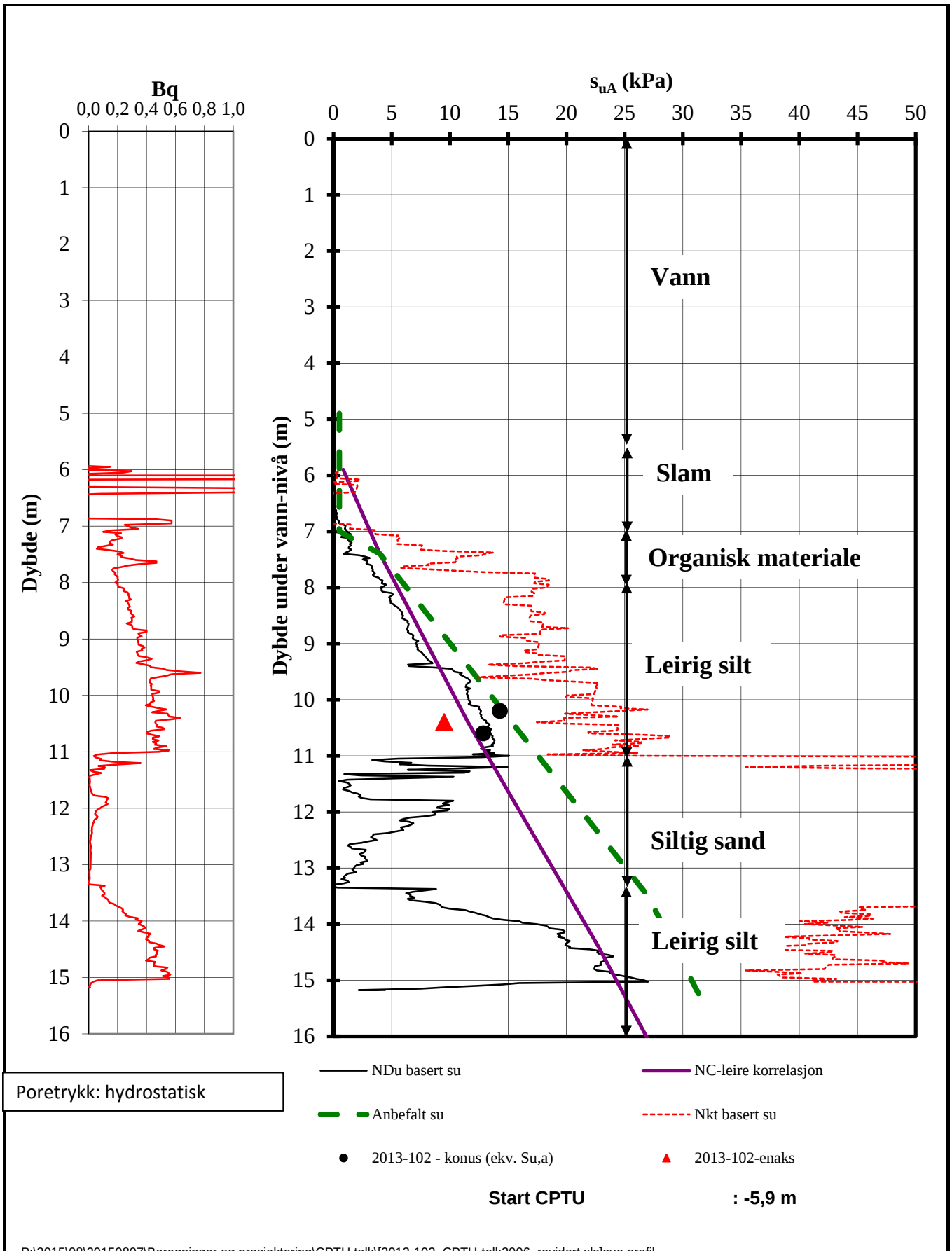


Poretrykk: hydrostatisk

Start CPTU : -4,8 m

P:\2015\08\20150807\Beregninger og prosjektering\CPTU tolk\[2013-100_CPTU-tolk2006_revidert.xls]sua profil

Geoteknisk vurdering av utfylling i Gunneklevfjorden	Rapport nr. 20150807	Figur nr. A01
Aktiv skjærstyrke basert på CPTU-sondering og shanshep. Borhull 2013-100	Tegner LaH	Dato 31.01.2017
	Kontrollert ON	
	Godkjent AP	



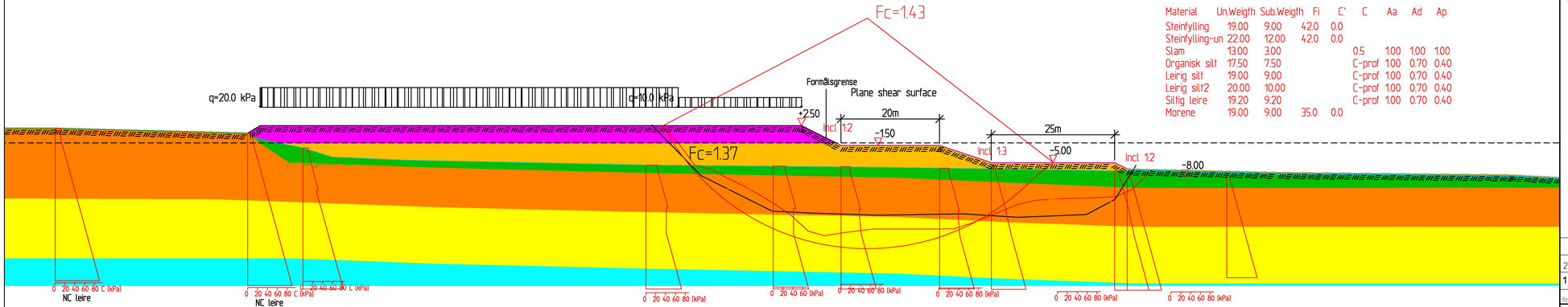
Poretrykk: hydrostatisk

P:\2015\08\20150807\Beregninger og prosjektering\CPTU tolk\[2013-102_CPTU-tolk2006_revidert.xls]sua profil

Geoteknisk vurdering av utfylling i Gunneklevfjorden	Rapport nr. 20150807	Figur nr. A02
Aktiv skjærstyrke basert på CPTU-sondering og shanshep. Borhull 2013-102	Tegner LaH	Dato 31.01.2017
	Kontrollert ON	
	Godkjent AP	NGI

Vedlegg B

STABILITETSBEREGNINGER



Material	Un.Weigth	Sub.Weigth	Fi	C`	C	Aa	Ad	Ap
Steinfylling	19.00	9.00	42.0	0.0				
Steinfylling-un	22.00	12.00	42.0	0.0				
Slam	13.00	3.00			0.5	1.00	1.00	1.00
Organisk silt	17.50	7.50			C-prof	1.00	0.70	0.40
Leirig silt	19.00	9.00			C-prof	1.00	0.70	0.40
Leirig silt2	20.00	10.00			C-prof	1.00	0.70	0.40
Siltig leire	19.20	9.20			C-prof	1.00	0.70	0.40
Morene	19.00	9.00	35.0	0.0				

FORKLARINGER:

- Steinfylling
- Steinfylling under vann
- Slam
- Organisk silt
- Leirig silt
- Leirig silt 2
- Siltig leire
- Morene

Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
2	Ny stabilitetsberegning	14.02.2022	KjA	ØN	ØN
1	Ny Stabilitetsberegning	16.11.2018	TS	ØN	ØN

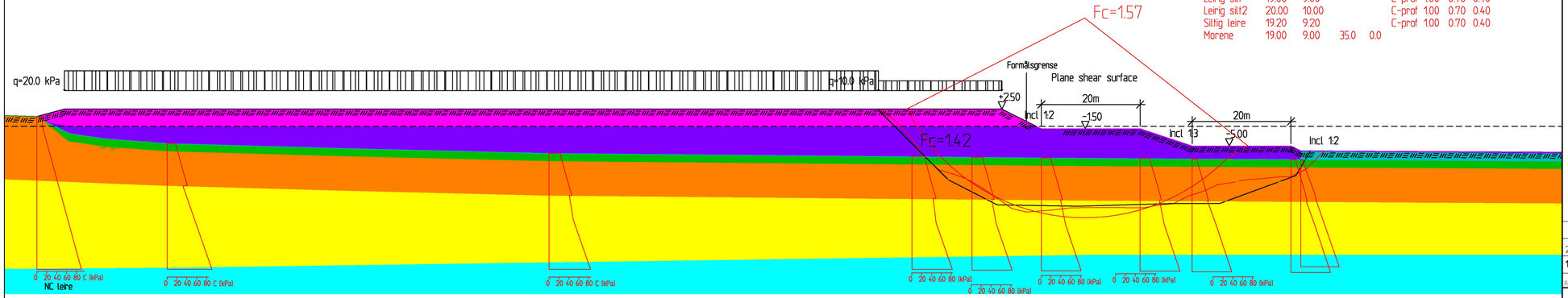
HIP EIENDOM
GEOTEKNISK PROSJEKTERING

Stabilitetsberegning
Profil A, utfylt til kote +2,5

Status:
Original format: A3.1
Tegningens filnavn: _profil a revidert 02.02.22.dwg
Målestokk: 1:500

NGI
Sognsveien 72 - PO Box 3930 Ullevål Stadion
NO-0806 Oslo, Norway
T: (+47) 22 02 30 00 F: (+47) 22 23 04 48
www.ngi.no

Dato	Konstr./Tegnet	Kontrollert	Godkjent
24.01.2018	AW/MLd	ØN	ØN
Oppdragsnr.	Tegningsnr.		Rev.
20150807	B01		2



Material	Un.Weigth	Sub.Weigth	Fi	C`	C	Aa	Ad	Ap
Steinfylling	19.00	9.00	42.0	0.0				
Steinfylling-un	22.00	12.00	42.0	0.0				
Slam	13.00	3.00			0.5	1.00	1.00	1.00
Organisk silt	17.50	7.50			C-prof	1.00	0.70	0.40
Leirig silt	19.00	9.00			C-prof	1.00	0.70	0.40
Leirig silt2	20.00	10.00			C-prof	1.00	0.70	0.40
Siltig leire	19.20	9.20			C-prof	1.00	0.70	0.40
Morene	19.00	9.00	35.0	0.0				

FORKLARINGER:

- Steinfylling
- Steinfylling under vann
- Slam
- Organisk silt
- Leirig silt
- Leirig silt 2
- Siltig leire
- Morene

Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
2	Ny stabilitetsberegning	14.02.2022	KJA	ØN	ØN
1	Ny Stabilitetsberegning	16.11.2018	TS	ØN	ØN

HIP EIENDOM
GEOTEKNISK PROSJEKTERING

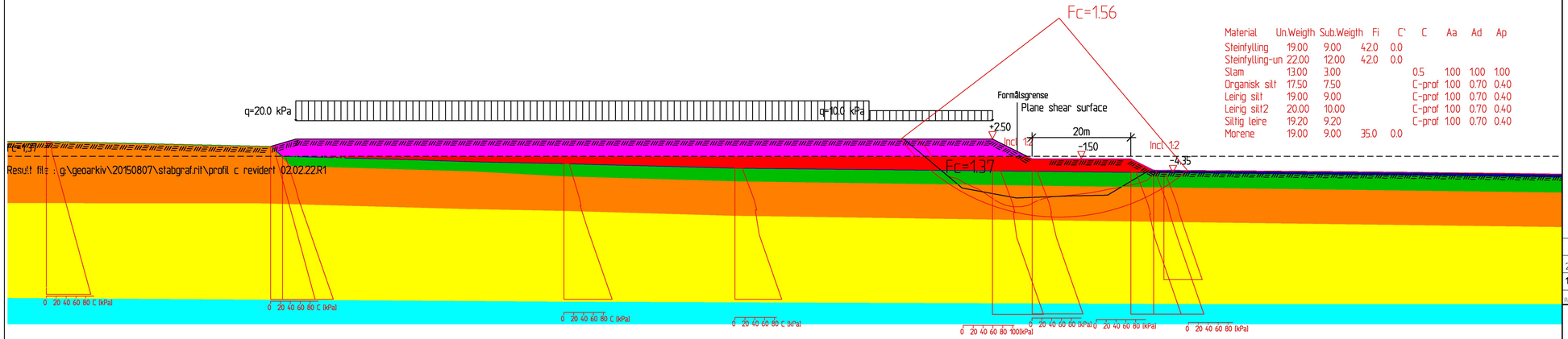
Stabilitetsberegning
Profil B, utfylt til kote +2,5

Status:
Original format: A3.1
Tegningens filnavn: _profil b r veidert 03.02.22.dwg
Målestokk: 1:500

NGI
Sognsveien 72 - PO Box 3930 Ullevål Stadion
NO-0806 Oslo, Norway
T: (+47) 22 02 30 00 F: (+47) 22 23 04 48
www.ngi.no

Dato	Konstr./Tegnet	Kontrollert	Godkjent
24.01.2018	AW/MLd	ØN	ØN

Oppdragsnr.	Tegningsnr.	Rev.
20150807	B02	2



Material	Un.Weigth	Sub.Weigth	Fi	C`	C	Aa	Ad	Ap
Steinfylling	19.00	9.00	42.0	0.0				
Steinfylling-un	22.00	12.00	42.0	0.0				
Slam	13.00	3.00			0.5	1.00	1.00	1.00
Organisk silt	17.50	7.50			C-prof	1.00	0.70	0.40
Leirig silt	19.00	9.00			C-prof	1.00	0.70	0.40
Leirig silt2	20.00	10.00			C-prof	1.00	0.70	0.40
Siltig leire	19.20	9.20			C-prof	1.00	0.70	0.40
Morene	19.00	9.00	35.0	0.0				

FORKLARINGER:

- Steinfylling
- Steinfylling under vann
- Slam
- Organisk silt
- Leirig silt
- Leirig silt 2
- Siltig leire
- Morene

Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
2	Ny stabilitetsberegning	14.02.2022	KJA	ON	ON
1	Ny Stabilitetsberegning	16.11.2018	TS	ON	ON

HIP EIENDOM
GEOTEKNISK PROSJEKTERING

Stabilitetsvurdering
Profil C, utfylt til kote +2,5

Status
Original format: A3.1
Tegningens filnavn: profil c revidert 02.02.22.dwg
Målestokk: 1:500

NGI
Sognsveien 72 - PO Box 3930 Ullevål Stadion
NO-0806 Oslo, Norway
T: (+47) 22 02 30 00 F: (+47) 22 23 04 48
www.ngi.no

Dato	Konstr./Tegnet	Kontrollert	Godkjent
24.01.2018	AW/MLd	ON	ON

Oppdragsnr.	Tegningsnr.	Rev.
20150807	B03	2

Vedlegg C

RISIKOIDENTIFIKASJON, RISIKOANALYSE
OG RISIKOEVALUERING

Fase 1: Etablering av grunnlag

Usikkerhetstype

Nr	Kode	Beskrivelse
1	M	Material
2	D	Design
3	U	Utførelse
4	N	Naturlaster
5	E	Eksterne faktorer
6		
7		
8		
9		
10		

Konsekvenstyper

Nr	Kode	Beskrivelse
1	H	Liv og helse
2	M	Miljø
3	F	Fremdrift
4	Ø	Økonomi
5		
6		
7		
8		
9		
10		

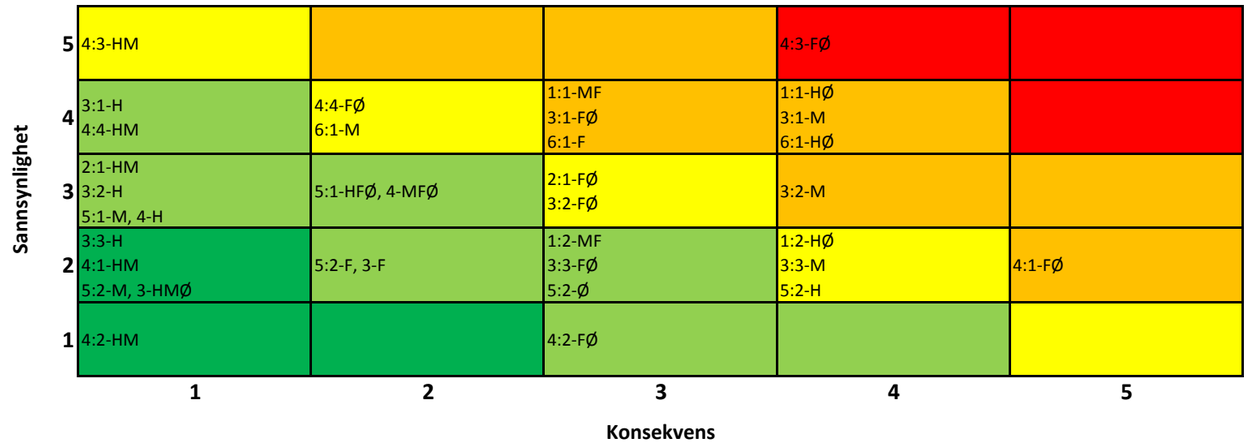
Fase 2: Risikoidentifikasjon

Beskrivelse sannsynlighet
< 0.1% per år
0.1-1% per år
1-3% per år
3-10% per år
> 10% per år

	Beskrivelse konsekvensklasser				
Alvorlighetsklasse	Liv og helse	Miljø	Fremdrift	Økonomi	(NS5815 adjektiver konsekvens)
1	Skader uten fravæ	Små miljøskader	Forsinkelse < 1 uk	<100 000 kr	**(K1 = Ufarlig)**
2	Fravær<10 dager	Miljøskader. Rest.	Forsinkelse på 1 u	100- 500 000 kr	**(K2 = Farlig)**
3	Fravær>10 dager	Betydelig. Rest tid	Forsinkelse på 1 n	500 000 - 5 mill kr	**(K3 = Kritisk)**
4	Alvorlige skader	Alvorlig. Rest tid 3	Forsinkelse på 3 n	5-25 mill kr	**(K4 = Meget kritisk)**
5	Dødsfall	Rest tid > 10 år	Forsinkelse > 1 år	> 25 mill kr	**(K5 = Katastrofal)**

				Usikkerhetstype													
				M	D	U	N	E			Konsekvens	Konsekvens	Konsekvens	Konsekvens		
Nr	Prosjektprosess	Nr	Årsak til uønsket hendelse / kilde til usikkerhet	Material	Design	Utførelse	Naturlaster	Eksterne faktorer	Sannsynlighet	Beskrivelse konsekvens	Liv og helse	Miljø	Fremdrift	Økonomi	Nærmere beskrivelse	Tiltak
1	Prosjektering og planlegging	1	Feil i prosjekteringsgrunnlag		x				4	Grunnbrudd, feil i volum, dyrere	4	3	3	4	Volum endring	Lodding, supplerende GU, installasjon av poretrykksmålere, 3. partskontrol
		2	Feil i prosjektering		x				2	Grunnbrudd, feil i volum, dyrere	4	3	3	4		3. partskontroll
2	Forberedende arbeider	1	Feil i omlegging av eks. rør/kabler/utløp		x	x			3	Brudd i ledninger/kabel. Stopp i utløp	1	1	3	3		Omlegging i god tid før oppstart
3	Siltgardin	1	Feil i utførelse			x			4	Stopp i anlegget	1	4	3	3	Entreprenøravhengig	Robust og utprøvd/kjent løsning. Entreprenør med erfaring.
		2	Feil i materialvalg	x					3	Stopp i anlegget	1	4	3	3		Robust og utprøvd/kjent løsning
		3	Iskrefter/strømningskrefter				x		2	Stopp i anlegget	1	4	3	3		Robust og utprøvd/kjent løsning
4	Vertikal dren	1	Feil i materialvalg	x					2	Mangelfull effekt	1	1	5	5		God kontroll av materialet før det installeres
		2	Feil i utførelse			x			1	Lang konsolideringstid	1	1	3	3	Entreprenøravhengig	Entreprenør med erfaring
		3	Redusert effekt (pga. slam lag)		x				5	Lang konsolideringstid	1	1	4	4		Prøveinstallasjon
		4	Kjører utstyr ned i faste masser/berg			x			4	Redusert framdrift. Brekkasje på utstyr	1	1	2	2		Supplerende grunnundersøkelser (seismikk)
5	Utfylling fra lekter	1	Lekteren treffer bunnen			x			3	Få ikke lagt ut masser. Krevende å få løs	2	1	2	2		Lodding av sjøbunn. Lekter utstyr tilpasset jobben
		2	Problemer med kai for lasting på lekter			x			2	Stopp i utlegging. Maskin i sjøen.	4	1	2	3		Mellomlager. Prosjektering av kai. Ha 2 kaier.
		3	Lekterstopp			x			2	Stopp i utlegging.	1	1	2	1		Mulighet for mobilisering av ekstra lekter.
		4	Feil i utførelse			x			3	Grunnbrudd	1	2	2	2		Kontinuerlig lodding av sjøbunn
6	Utfylling fra tipp	1	Feil i utførelse			x			4	Grunnbrudd med maskin i sjøen	4	2	3	4		Utvidet kontroll under utførelse. Erfarne entreprenør.

Fase 3: Risikoanalyse og Fase 4: Risikoevaluering



Nr	Prosess	Plot = x
1	Prosjektering og planlegging	x
2	Forberedende arbeider	x
3	Siltgardin	x
4	Vertikal dren	x
5	Utfylling fra lekter	x
6	Utfylling fra tipp	x

Kode	Usikkerhetstype	Plot = x	Kode
M	Material	x	H
D	Design	x	M
U	Utførelse	x	F
N	Naturlaster	x	Ø
E	Eksterne faktorer	x	

Konsekvenstype	Plot = x
Liv og helse	x
Miljø	x
Fremdrift	x
Økonomi	x

Risikoevaluering	Valg = x
Trapp	x
Konstant risiko	
Konsekvensaversjon	
Risikoaversjon	**Valg = x**
Lav	
Middels	x
Høy	

Kontroll- og referanseside/ Review and reference page

Dokumentinformasjon/*Document information*		
Dokumenttittel/*Document title* Geoteknisk prosjektering av utfylling		**Dokumentnr./*Document no.*** 20150807-01-R
Dokumenttype/*Type of document* Rapport / Report	**Oppdragsgiver/*Client*** HIP Eiendom AS	**Dato/*Date*** 2016-02-10
Rettigheter til dokumentet iht kontrakt/ *Proprietary rights to the document according to contract* Oppdragsgiver / Client		**Rev.nr.&dato/*Rev.no.&date*** 5 / 2022-02-15
Distribusjon/*Distribution* BEGRENSET: Distribueres til oppdragsgiver og er tilgjengelig for NGIs ansatte / LIMITED: Distributed to client and available for NGI employees		
Emneord/*Keywords* Stabilitet, utfylling		

Stedfesting/*Geographical information*	
Land, fylke/*Country* Norge, Telemark	**Havområde/*Offshore area***
Kommune/*Municipality* Porsgrunn	**Feltnavn/*Field name***
Sted/*Location* Gunneklevfjorden	**Sted/*Location***
Kartblad/*Map* 1713 II Porsgrunn	**Felt, blokknr./*Field, Block No.***
UTM-koordinater/*UTM-coordinates* **Sone:** UTM32 **Øst:** 536141 **Nord:** 6554057	**Koordinater/*Coordinates*** **Projeksjon, datum: Øst: Nord:**

Optplinpline

Dokumentkontroll/*Document control*

Kvalitetssikring i henhold til/*Quality assurance according to NS-EN ISO9001*

Rev/ Rev.	***Revisjonsgrunnlag/Reason for revision***	**Egenkontroll av/ *Self review by:***	**Sidemanns-kontroll av/ *Colleague review by:***	**Uavhengig kontroll av/ Independent review by:**	**Tverrfaglig kontroll av/ *Inter-disciplinary review by:***
0	Originaldokument	2016-02-10 Laura Henderson	2016-02-10 Ørjan Nerland		
1	Fyllingshøyde redusert fra kote +3,0 til kote +2.0 Redusert bruk av "grov" stein	2017-02-28 Laura Henderson	2017-02-28 Ørjan Nerland		
2	Reviderte stabilitetsberegninger	2018-01-19 Aleksander Worren	2018-01-19 Ørjan Nerland		
3	Revisjon av tekst og tegninger	2018-02-19 Aleksander Worren	2018-02-19 Ørjan Nerland		
4	Reviderte stabilitetsberegninger basert på ny opplodding av sjøbunn og måling av slamtykkelse	2018-11-16 Ørjan Nerland	2018-11-16 Aleksander Worren		
5	Revidert reguleringsplan, terrenglaster, oppfyllings-høyde, stabilitets- og volumberegninger	2022-02-10 Ørjan Nerland	2022-02-14 Gunvor Baardvik		2022-02-10 Paul S. Cappelen

Dokument godkjent for utsendelse/ *Document approved for release*	**Dato/*Date***	**Prosjektleder/*Project Manager***
	15. februar 2022	Arne Pettersen

NGI (Norges Geotekniske Institutt) er et internasjonalt ledende senter for forskning og rådgivning innen ingeniørrelaterte geofag. Vi tilbyr ekspertise om jord, berg og snø og deres påvirkning på miljøet, konstruksjoner og anlegg, og hvordan jord og berg kan benyttes som byggegrunn og byggemateriale.

Vi arbeider i følgende markeder: Offshore energi – Bygg, anlegg og samferdsel – Naturfare – Miljøteknologi.

NGI er en privat næringsdrivende stiftelse med kontor og laboratorier i Oslo, avdelingskontor i Trondheim og datterselskaper i Houston, Texas, USA og i Perth, Western Australia.

www.ngi.no

NGI (Norwegian Geotechnical Institute) is a leading international centre for research and consulting within the geosciences. NGI develops optimum solutions for society and offers expertise on the behaviour of soil, rock and snow and their interaction with the natural and built environment.

NGI works within the following sectors: Offshore energy – Building, Construction and Transportation – Natural Hazards – Environmental Engineering.

NGI is a private foundation with office and laboratories in Oslo, a branch office in Trondheim and daughter companies in Houston, Texas, USA and in Perth, Western Australia

www.ngi.no

OSLO
TRONDHEIM
HOUSTON
PERTH

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT
NGI.NO

Hovedkontor Oslo
PB. 3930 Ullevål Stadion
0806 Oslo

Avd. Trondheim
PB. 5687 Torgarden
7485 Trondheim

T 22 02 30 00
F 22 23 04 48
NGI@ngi.no

BANK
KONTO 5096 05 01281
ORG.NR 958 254 318MVA

ISO 9001/14001
CERTIFIED BY BSI
FS 32989/EMS 612006