

PM Geoteknik

Rambøll Norge AS

Muddring Fredrikstad

Kvicklereutredning och skredrisikanalys Fuglevikbukta

Boden 2016-03-21

Muddring Fredrikstad

Kvicklereutredning och skredrisikanalys Fuglevikbukta

Datum 2016-03-21
Uppdragsnummer 1110438-014
Utgåva/Status

Tom Jahren
Uppdragsledare

Lajla Sjaunja
Handläggare

Andreas Gjaerum
Granskare

Ramböll Sverige AB
Kungsgatan 17
961 61 Boden

Telefon 010-615 60 00
Fax 0921- 34 28 20
www.ramboll.se

Unr 1110438-014

Organisationsnummer 556133-0506

Innehållsförteckning

1.	Uppdrag	3
2.	Syfte	3
3.	Objektbeskrivning	3
4.	Underlag	5
5.	Geotekniska förhållanden	5
5.1	Allmänt.....	5
5.2	Topografi och jordartsförhållanden	5
5.3	Jordlagerföljd.....	6
6.	Skredriskanalys.....	8
6.1	Utredningens omfattning	8
6.2	Område under marina gränsen	8
6.3	Marina avsättningar	8
6.4	Tidigare skredhändelser.....	9
6.5	Avgränsning av skredriskområden till terräng med förutsättningar för områdesskred	9
6.6	Platsbesök och geotekniska undersökningar samt värdering av underlag.....	10
6.7	Ytterligare avgränsning av skredriskområden	13
6.8	Värdering och avgränsning av sannolika utloppsområden för skredmassor	14
6.9	Riskvärdering av skredriskområden	14
6.10	Stabilitetsvärdering, dokumentation av tillfredställande säkerhet.....	14
7.	Stabilitet	16
7.1	Allmänt.....	16
7.2	Beräkningsförutsättningar.....	16
7.3	Beräkningssektion	16
7.3.1	Jordprofil	17
7.3.2	Materialegenskaper.....	17
7.3.3	Vattennivå och portryck.....	19
7.4	Resultat.....	19
8.	Slutsats och rekommendationer.....	19
9.	Referenser	20

Bilagor

Bilaga 1	Geoteknisk plan
Bilaga 2	Enskilda borrhål
Bilaga 3	Jordartskarta
Bilaga 4	Rutinanalyser
Bilaga 5	Terrängkarta
Bilaga 6	Marin gräns
Bilaga 7	Bedömt skredriskområde
Bilaga 8	Släntstabilitetsberäkningar
Bilaga 9	Vald c-profil

Kvicklereutredning och skredrisikanalys Fuglevikbukta PM Geoteknik

1. Uppdrag

Kystverket planerar utdjuning och breddning av farleden in till Fredrikstads hamn i Fredrikstads kommun. Längst upp vid hamnen i Fuglevikbukta ska en vändplats för fartyg anläggas vilket medför en utdjuning under vatten till nivån -11,3.

Rambøll Sverige AB fungerar som rådgivande ingenjör i geoteknik och har utfört geotekniska undersökningar inför projekteringen av utdjuningen. Vid sonderingarna hittades förekomst av kvicklera på land i norra delen av Fuglevikbukta vilket föranledde kompletterande geotekniska undersökningar och analys av skredrisken i området.

2. Syfte

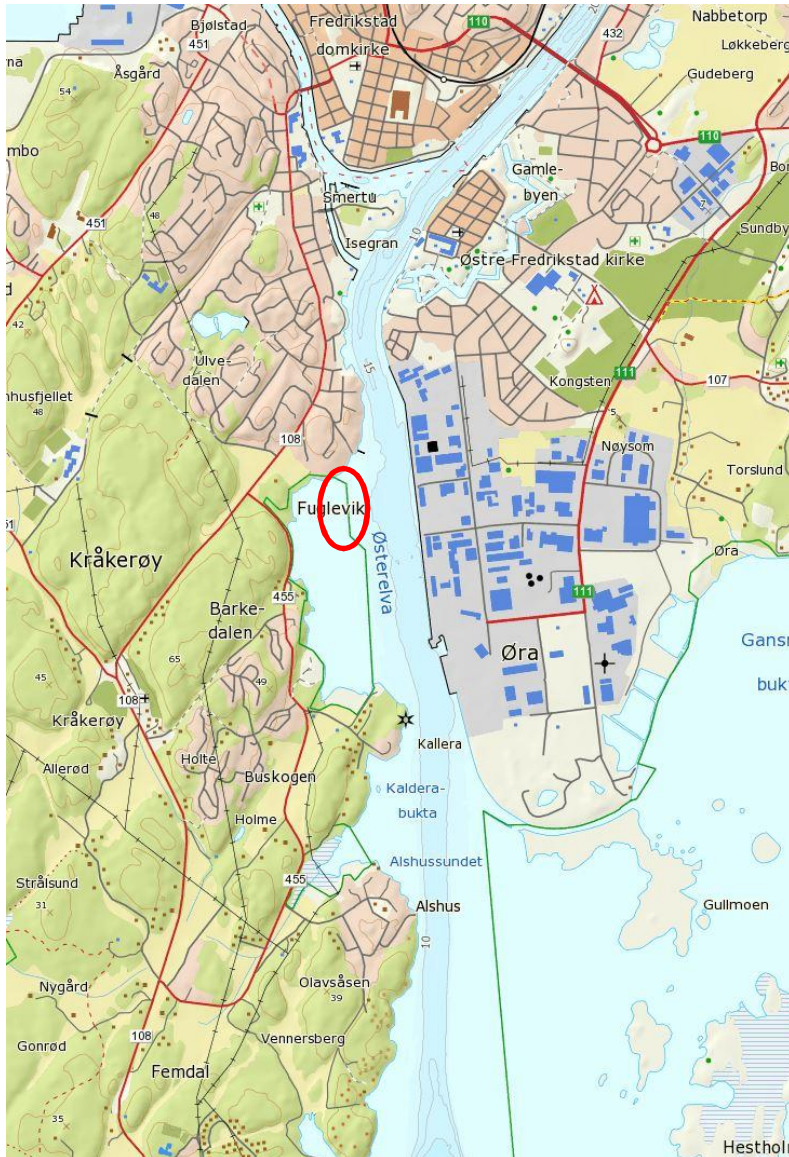
Ändamålet med denna rapport är att bedöma områdesstabiliteten enligt NVEs kvikkleireveileder med hänsyn till de planerade åtgärderna. Detta utförs för att uppfylla krav enligt §7-3 i TEK10 angående säkerheten mot skred.

Detta dokument är upprättat av Lajla Sjaunja, Rambøll Sverige AB och är granskat av Andreas Gjaerum, Rambøll Norge AS.

3. Objektbeskrivning

För underlättning av sjöfart in och ut från Fredrikstads hamn ska den östra farleden breddas och utdjupas. Utdjuningen kommer att ske genom muddring av farleden och, på något ställe där berg förekommer inom nivå för utdjuning, sprängning.

Som del i projektet ska vändplats för fartyg anläggas i Glommas mynning, högst upp i Fuglevikbukta, se översiktskarta i figur 1.



Figur 1 Översiktskarta med markerat läge på utdjuning för vändplats(© Kartverket <http://www.norgeskart.no/>)

För vändplatsen krävs en utdjuning till nivån -11,3 vilket medför en betydande muddring in mot den västra sidans strandkant. Den muddrade schaktslätten som blir under vattenytan blir ca 10 m hög.

Med påvisad förekomst av kvicklera och sprödbrottsmaterial i närheten av planlagt område är det krav på att utreda områdesstabiliteten i enlighet med NVEs rapport. Utredningen har utförts enligt proceduren i NVEs rapport "Veileder nr 7 – 2014, Sikkerhet mot kvikkleireskred", ref [1]

4. Underlag

Underlag som legat till grund för skredriskanalysen är befintligt kartmaterial samt de geotekniska undersökningar och den inmätning som utförts i detta projekt.

Befintligt kartmaterial har inhämtats från Kartverket, NGU samt Skrednett.

5. Geotekniska förhållanden

5.1 Allmänt

Ramböll har utfört geotekniska undersökningar i Fuglevikbukta under 2014 – 2015. Utförda undersökningar består av CPTU-sondering, vingborrning och ostörd provtagning med kolvprovtagare (STII) samt rutinanalyser på lab. Se bilaga 1 för översikt över sonderings- och provtagningspunkter och bilaga 2 för redovisning av enskilda sonderingar/provtagningar.

Generellt består de avlagrade sedimenten i bukten av siltig lera med mycket låg till låg relativ fasthet som mot större djup övergår i medelhög relativ fasthet. Lerans tekniska egenskaper har bestämts utifrån utvärderade sonderingar och laboratorieanalyser på upptagna jordprover. Bestämning av skjuvhållfasthet på lab utfördes med konförsök.

Förekomsten av sprödbrottsmaterial och kvicklera definieras baserat på följande kriterier i enlighet med norskt regelverk:

Kvicklera: Lera som i omrört tillstånd har en omrörd skjuvhållfasthet $c_{u,r} \leq 0,5$ kPa.

Sprödbrottsmaterial: Jordmaterial med utpräglade sprödbrottsegenskaper vilka kan påverka områdesstabiliteten och utvecklingen av områdesskred. Som sprödbrottsmaterial definieras lera och silt med en omrörd skjuvhållfasthet, $c_{u,r} < 2$ och sensitiviteten $S_t > 15$.

5.2 Topografi och jordartsförhållanden

Hela området ligger under marina gränsen i ett tidigare havstäckt område. Kvartärgeologisk karta från NGU visar att dalområdet norr om bukten till stor del utgörs av mäktiga havsavsättningar och till mindre del av tunnare lager havsavsättningar eller fyllmassor, se jordartskarta i bilaga 3.

Dalgången har en jämnt sluttande yta mot vattnet i bukten. Höjdskillnaden är 10 m på en sträcka av ca 250 m, vilket ger en lutning av 1:25, bedömt från terrängkarta, se bilaga 5. Dalen omges av berg på alla sidor förutom mot vattnet i bukten. Bottenytan i bukten är i princip plan och ligger på nivån 0 till -1.

5.3 Jordlagerföljd

Nedan följer beskrivning av jordlagerföljd och lerans tekniska egenskaper uppdelat i landområde och vattenområde.

Landområde, nivå ca +2,5

Jordlagerföljden består av siltig lera som under en ca 2 m torrskorpa har en låg relativ fasthet och som övergår till mycket låg relativ fasthet på djupet.

Rutinförsök på ostörda kolvprover har tagits på djupen 2,35, 4,35, 6,35 och 8,35 i 2 punkter. Enligt laboratorieanalyserna är leran kvick i alla upptagna jordprover förutom proven tagna på 2,35 m djup, se tabell 1. Leran är lågplastisk med sensitiviteten varierande från 84-270 och en omrörd skjuvhållfasthet 0,06-0,17 kPa. Se kompletta resultat från rutinförsök i bilaga 4.

Tabell 1 Verifierad kvicklera och sprödbrottsmaterial i landområde

Borrpunkt	Nivå		Djup [m]	Omrörd sjuvh [kPa]	Sensitivitet St	Bedömd kvicklera/sprödbrottsmaterial	
	[m]	[m]				Kvicklera cu,r ≤ 0,5 kPa	Sprödbrottsmaterial cu,r < 2 och sensitivitet St > 15
Kv-RA1500	0,05	2,35	9,19	3			
	+2,4	-1,95	4,35	0,17	92	X	X
		-3,95	6,35	0,13	153	X	X
		-5,95	8,35	0,11	84	X	X
Kv-RA1502	0,05	2,35	1,63	12			
	+2,4	-1,95	4,35	0,13	143	X	X
		-3,95	6,35	0,06	270	X	X
		-5,95	8,35	0,06	214	X	X

Kvicklerans mäktighet bedöms utifrån labresultaten och utförda CPT-sonderingar vara som minst 6-7 m med start på nivån ca - 0,5. Vid djup motsvarande nivån ca -7, har samtliga sonderingar avbrutits utan att stopp erhållits.

Lerans densitet ligger i snitt på 1,7 ton/m³.

Vattenområde, nivå ca +0,0 till -10

Jordlagerföljden består i huvudsak av sulfidfläckig siltig lera, ställvis med sandskikt, med en mycket låg till låg relativ fasthet till ett djup ca 14 m varefter den övergår i medelhög relativ fasthet. Vid sektion 4 och 5, se bilaga 1, har jordlagren en mer sandig och siltig karaktär, dock med en mycket låg till låg relativ fasthet. Den odränerade skjuvhållfastheten är generellt ca 4 kPa i ytan med en tillväxt på djupet av 1,6 kPa/m.

De översta ca 10-12 m av jorden är generellt av sprödbrottskaraktär med omrörda skjuvhållfastheter, $c_{u,r} < 2$ och sensitivitet $S_t > 15$, se tabell 2.

Tabell 2 Verifierad kvicklera och sprödbrottsmaterial i vattenområde

Borrpunkt	Nivå	Djup	Omrörd sjuvh	Sensitivitet	Bedömd kvicklera/sprödbrottsmaterial	
	[m]	[m]	$c_{u,r}$ [kPa]	St	Kvicklera $c_{u,r} \leq 0,5$ kPa	Sprödbrottsmaterial $c_{u,r} < 2$ och sensitivitet $St > 15$
Kv-RA1506						
+0	-6,00	6,00	0,81	25		X
	-8,00	8,00	1,11	16		X
	-10,00	10,00	1,11	18		X
Kv-RA1510	-10,00	10,00	1,82	11		
+0	-12,00	12,00	2,30	11		
Kv-RA1511	-2,00	2,00	0,81	16		X
+0	-3,00	3,00	0,87	18		X
	-4,00	4,00	1,11	16		X
Kv-RA1512	-15,00	15,00	2,04	12		
+0	-17,00	17,00	3,00	11		
	-19,00	19,00	4,09	9		
	-21,00	21,00	4,09	10		
Kv-RA1513	-7,50	7,50	1,11	18		X
+0	-15,00	15,00	1,82	13		
	-17,00	17,00	2,30	15		
	-19,00	19,00	3,00	11		
Kv-RA1514	-4,00	4,00	0,87	16		X
+0	-6,00	6,00	1,02	15		X
	-8,00	8,00	1,22	15		X
	-10,00	10,00	1,47	16		X
	-20,00	20,00	3,00	14		
Kv-RA1515	-4,00	4,00	0,81	11		
+0	-6,00	6,00	1,47	12,0		
	-8,00	8,00	0,87	20,0		X
	-10,00	10,00	1,02	20		X
	-20,00	20,00	3,00	16		
Kv-RA1516	-4,00	4,00	0,70	21		X
+0	-6,00	6,00	1,02	19		X
	-8,00	8,00	1,02	20		X
	-10,00	10,00	1,22	20		X
	-20,00	20,00	3,00	14		
Kv-RA1517	-4,00	4,00	0,75	22		X
+0	-6,00	6,00	1,06	20		X
	-8,00	8,00	1,07	21		X
	-10,00	10,00	1,23	22		X
	-20,00	20,00	2,99	16		
Kv-RA1425	-6,00	6,00	0,94	16		X
+0	-8,00	8,00	1,63	12		
	-10,00	10,00	1,47	13		
	-12,00	12,00	1,63	17		X
Kv-RA1427	-4,00	4,00	0,75	19		X
+0	-6,00	6,00	0,94	19		X
	-8,00	8,00	1,33	15		X
	-10,00	10,00	1,82	13		
	-12,00	12,00	1,82	16		X
Kv-RA1431	-2,00	2,00	0,45	28	X	X
+0	-4,00	4,00	1,02	18		X
	-6,00	6,00	1,22	13		
	-9,00	9,00	1,47	14		
	-12,00	12,00	1,82	22		X
Kv-RA1432	-9,00	9,00	0,87	22		X
+0	-12,00	12,00	1,33	18		X
Kv-RA1434	-4,00	4,00				
+0	-6,00	6,00				
	-9,00	9,00	1,33	14		
	-12,00	12,00	1,82	13		
Kv-RA1437	-4,00	4,00				
+0	-6,00	6,00	0,81	19		X
	-8,00	8,00	1,02	20		X
	-11,00	11,00	1,63	12		

Den djupare lagrade leran bedöms ej vara av sprödbrottskaraktär. Provtagningar utförda till 21 m djup bekräftar siltig lera även på dessa djup. Sonderingar utförda till stopp erhållits har utförts till mellan ca 4 m till 38 m djup.

Djupaste stopp (38 m) erhöles i sonderingspunkt RA1514 och grundaste stopp (4,2 m) erhöles i RA1511 vilken är den punkten som är belägen närmast land.

Lerans densitet ligger generellt kring 1,8 ton/m³, något högre för den ytligt lagrade leran. Den, för lera, ganska höga densiteten beror på lerans innehåll av sand och silt. Ner till 12 m djup kan leran bedömas vara lågplastisk till mellanplastisk. I den djupare lagrade leran sker en övergång från mellanplastisk till högplastisk. Leran klassificeras som mellansensitiv från ytan och ner, se kompletta resultat från rutinförsök i bilaga 4.

6. Skredriskanalys

I NVEs handledning anges 10 steg för identifiering och avgränsning av kvicklereområden med potentiell skredrisk. En första bedömning av förutsättningar för kvickleraskred görs genom att studera befintligt kartmaterial avseende geologiska och topografiska förhållanden, därefter kan möjliga skredriskområden avgränsas mer exakt genom bland annat sondering och provtagning samt stabilitetsberäkningar.

6.1 Utredningens omfattning

I detta projekt avgränsas utredningen till den planerade åtgärden för utdjupningen i Fuglevikbukta som innebär att man anlägger en muddrad slänt närmare land och därmed närmare den konstaterade kvickleran. Lokaliseringen för den planerade muddringsslänten kan ses i bilaga 1.

6.2 Område under marina gränsen

Hela det aktuella området ligger under marina gränsen. Marina gränsen definieras som den högsta nivå havet nådde efter sista istiden och är en viktig geologisk gräns med avseende på jordarternas avsättningshistorik. Under marina gränsen har vattnet möjliggjort transport och sedimentation av finkornigt material och det är i dessa områden det finns förutsättningar för marina leror som kvicklera och sprödbrottsmaterial. Se bilaga 6 för karta som visar marina gränsen.

6.3 Marina avsättningar

Enligt den kvartärgeologiska kartan från NGU, bilaga 3, består jorden i dalgången av havsavsättningar med i huvudsak mkt stor mäktighet vilket stämmer överens med upptagna prover från land. Området med marina avsättningar utgörs av en dal som avgränsas av berg i eller nära dagen på alla sidor.

6.4 Tidigare skredhändelser

Inga tidigare skredhändelser har skett i området kring Fuglevikbukta och det aktuella området har inte klassificerats som skredriskområde i den nationella kartläggningen som finns att se på www.skrednett.no.

6.5 Avgränsning av skredriskområden till terräng med förutsättningar för områdesskred

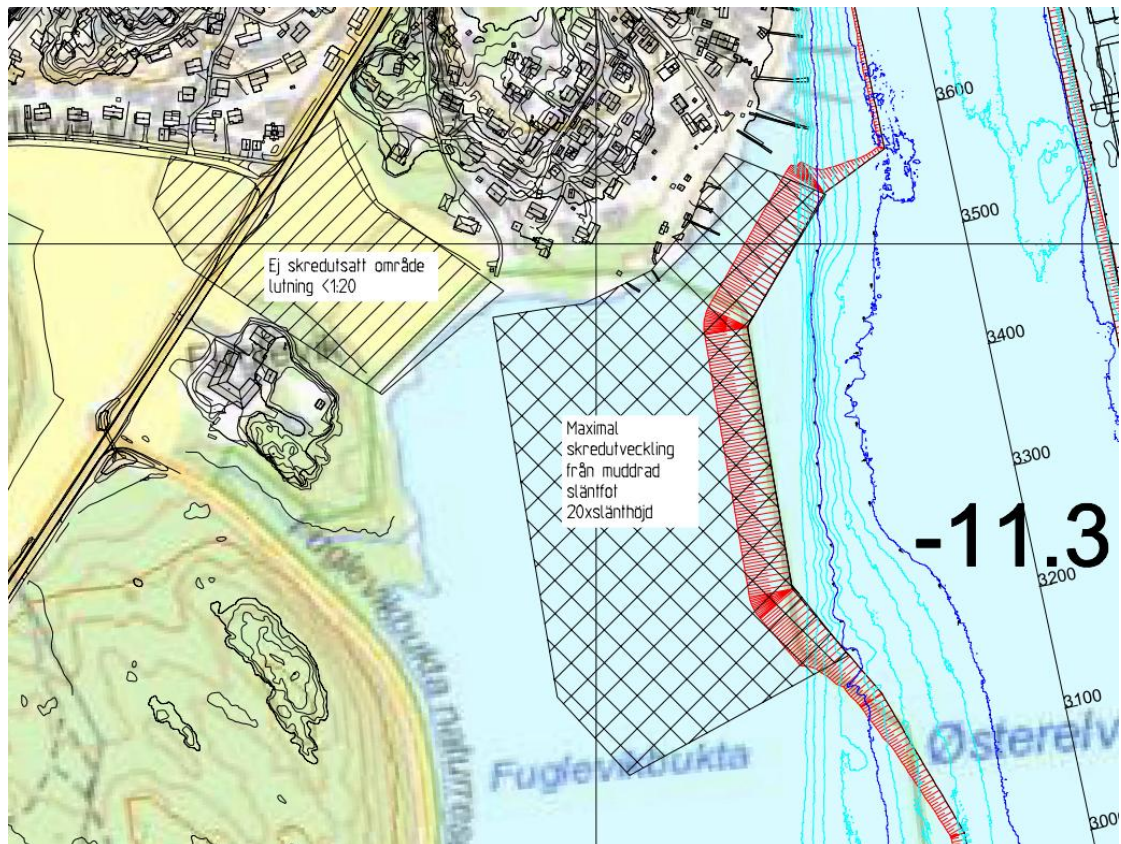
Områden med förutsättningar för områdesskred bör konservativt uppfylla något av följande terrängkriterier enligt handledningen:

- Jämnt sluttande terräng brantare än 1:20 och total slänthöjd > ca 5m
- I platåterräng: höjdskillnader på 5 m och mer, inklusive djup till älvbotten
- Maximal bakåtövergripande skredutbredelse = 20 x slänthöjd, mätt från släntfot.

Befintlig bottenyta i vattenområdet ligger på nivå +0 till - 1 från strandkanten och 260-350 m ut i farleden där bottenytan släntar av mot befintlig utdjupning med nivån ca -10. Den befintliga ca 9-10 m höga slänten under vatten har en lutning ca 1:2 som brantast. Den planerade fördjupningen och breddningen för vändplatsen medför att släntkrönet flyttas som mest nästan 80 m närmare stranden (se sektion 2 i bilaga 1) räknad med ny släntlutning av 1:3. Lutningen från släntkrön på muddringen till strandkant är i princip helt flack (höjdskillnad 1 m). Enligt terrängförhållandena i botten på bukten finns en skredrisk som sträcker sig ca 200 m inåt land från den planerade muddringsläntens fot.

Markytan i dalgången ovan vattenytan har en jämnt sluttande yta mot vattnet, höjdskillnaden är 10 m på en sträcka av ca 250 m, vilket ger en lutning av 1:25, bedömt från topografisk karta, se bilaga 5. Enligt detta anses inte dalgången vara utsatt för skredrisk då lutningen < 1:20.

Figur 2 visar möjligt skredriskområde med rutad skraffering bedömt enligt ovanstående kriterier. Det bedömda skredriskområdet avgränsas av berg mot nordväst.



Figur 2 Avgränsning av skredriskområden

6.6 Platsbesök och geotekniska undersökningar samt värdering av underlag

Platsbesök är utfört i samband med de geotekniska undersökningarna. På plats är det tydligt att dalområdet omges av berg på alla sidor förutom mot vattenområdet i sydöst. Detta stämmer väl överens med den kvartärgeologiska kartan. Bilder över området från korsningen Kråkerøyveien och Fuglevik Li kan ses i figur 3-6 nedan. Bilderna är tagna från Google earth.



Figur 3 Riktning väst sett från korsningen Kråkerøyveien och Fuglevik Li



Figur 4 Riktning norr sett från korsningen Kråkerøyveien og Fuglevik Li



Figur 5 Riktning øst sett från korsningen Kråkerøyveien och Fuglevik Li



Figur 6 Riktning syd sett från korsningen Kråkerøyveien och Fuglevik Li

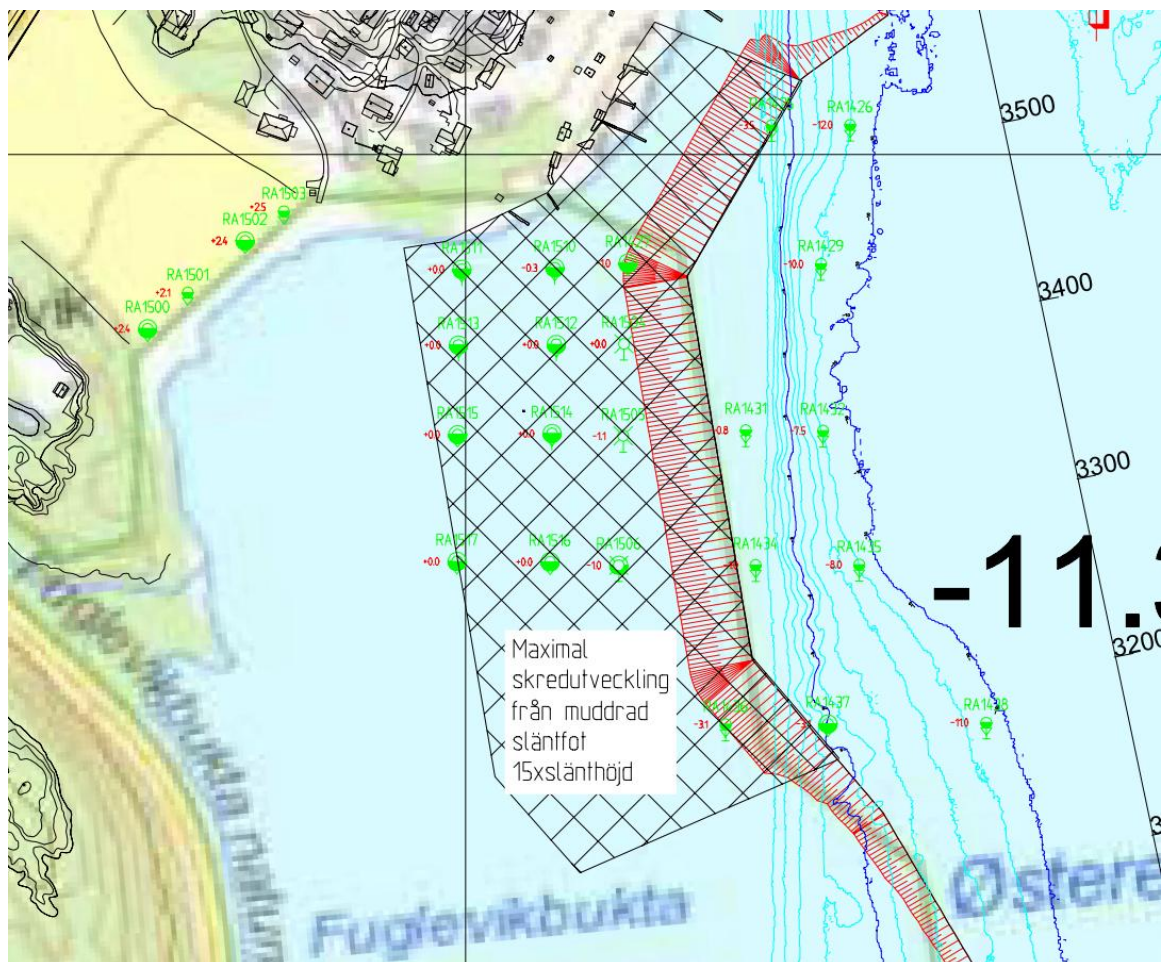
Geotekniska undersökningar har utförts enligt kap 5.

6.7 Ytterligare avgränsning av skredriskområden

Med stöd och vetskap om de lokala förhållandena kan man enligt handledningen snäva in terrängkriterierna något. Baserat på empiri så sker de flesta kvickleraskred vid

- En terränglutning $\geq 1:15$ för jämnt sluttande terräng
- Maximal skredutveckling 15 x slänthöjd, mätt från släntfot.

Inom det aktuella området för utredning har endast den muddrade slänten lutning $> 1:15$. I enlighet med NVEs handledning kan maximal skredutveckling reduceras till 15 x slänthöjden. Eftersom leran i botten på bukten är av sprödbrottskaraktär finns risk för ett bakåtövergripande områdesskred som om det initieras i muddringslänten sträcker sig 150 m från muddringsläntens fot, se ny avgränsning av skredriskområde i figur 7 nedan samt bilaga 7.



Figur 7 Maximal skredutveckling, 150 m från släntfot på muddring

6.8 Värdering och avgränsning av sannolika utloppsområden för skredmassor

Området i dalgången kan anses ligga utanför skredrisk enligt avsnitt 6.5 (lutningen <1:20). Utloppsområdet för ett eventuellt skred är i den muddrade släntens fot i botten på bukten där området som finns inom skredriskområde sträcker sig 150 m inåt land från muddringen enligt 6.7 (maximal skredutbredelse).

6.9 Riskvärdering av skredriskområden

Skredrisken har riskvärderats enligt punkt 9, kap 4.5 i NVEs handledning, se tabell 3 nedan.

Tabell 3 Riskvärdering för bedömning av risknivå

Faktorer	Viktetal	Riskvärdering, poäng				Värdering	Poäng	Kommentar
		3	2	1	0			
Tidigare skredaktivitet	1	Hög	Mellan	Låg	Ingen	0	0	
Slänthöjd, meter	2	>30	20-30	15-20	<15	0	0	Slänthöjd muddringsslant 10 m
Tidigare/nuvarande terrängnivå, OCR	2	1,0-1,2	1,2-1,5	1,5-2,0	>2,0	3	6	
Poröverttryck	3	>+30	10-30	0-10	hydrostatiskt	0	0	
Porundertryck	-3	>-50	-(20-50)	-(0-20)	hydrostatiskt	0	0	
kvickleremäktighet	2	>H/2	H/2-H/4	<H/4	Tunnt lager	3	6	Mäktighet sprödbrottsmaterial
Sensitivitet	1	>100	30-100	20-30	<20	1	1	
Erosion	3	Aktiv	Någon	Lite	Ingen	0	0	Erosionsskyddad slant
Ingrepp, förvärring	3	Stor	Någon	Lite	Ingen	0	0	
Ingrepp, förbättring	-3	Stor	Någon	Lite	Ingen	0	0	
						Summa	13	
Riskenivåer		Låg 0-17	Medel 18-25	Hög 26-51		Riskenivå	Låg	

Värderingen enligt tabell 3 ger att området har en låg risknivå.

6.10 Stabilitetsvärdering, dokumentation av tillfredställande säkerhet

Enligt värderingen i 6.9 är risken för områdesskred låg. Avgränsning av skredriskområdet i 6.7 och bedömning av möjliga utloppsområden för skredmassor i 6.8 visar att den muddrade släntens stabilitet är avgörande för områdesstabiliteten. Stabiliteten i området bedöms inte påverkas varken till det sämre eller bättre av muddringsarbetena i farleden om man kan säkerställa den muddrade släntens stabilitet både under utförande av muddring och efter muddring.

Stabilitetsberäkningar har härav utförts i en utvald kritisk sektion för den muddrade slänten, där utredning och dimensionering enligt ref [1] har utförts i åtgärdskategori (åtgärdskategori) K2 och för låg risknivå, se tabell 4.

Enligt tabell 4 gäller för detta projekt följande riktvärde på säkerhetsfaktorn, F.

$$F \geq 1,4$$

I åtgärdskategori K2 i kombination med låg eller medel risknivå kan man också uppnå tillfredställande säkerhet genom att visa att åtgärden inte leder till någon försämring. Förutsättningen för att uppnå "ingen försämring" är då att själva åtgärden kompletteras med en stabiliserande åtgärd.

Tabell 4 Krav på sikkerhet for ulike åtgårdskategorier og risknivåer (tabell 5.2 ref [1])

Tabell 5.2 Tiltakskategorier der det er nødvendig å identifisere, avgrense og faregradsevaluere hele faresonen.

Tiltakskategori. Type tiltak som inngår i tiltakskategorien	Hvordan oppnå tilfredsstillende sikkerhet for ulike faregrad		
	Faregrad før utbygging: Lav	Faregrad før utbygging: Middels	Faregrad før utbygging: Høy
<p>K2: Tiltak som er nevnt under kategori K1 når tiltaket vil påvirke stabiliteten negativt dersom det ikke gjennomføres stabiliserende tiltak utenom selve tiltaket.</p> <p>Dersom tiltaket medfører tilflytting av personer skal tiltaket plasseres i tiltakskategori K3 eller K4.</p>	<p>a) Stabilitetsanalyse som dokumenterer sikkerhetsfaktor for områdestabilitet $F \geq 1,4$ eller</p> <p>b) Ikke forverring **</p> <p>Kvalitetssikres av kollega.*</p>		<p>Stabilitetsanalyse som dokumenterer:</p> <p>a) Sikkerhetsfaktor for områdestabilitet $F \geq 1,4$ eller</p> <p>b) Ikke forverring hvis $F > 1,2$, eller</p> <p>c) Forbedring hvis $F \leq 1,2$, se figur 5.1.</p> <p>Kvalitetssikres av uavhengig foretak*</p>
<p>K3: Tiltak som medfører tilflytting av personer med inntil to boenheter, begrenset personopphold eller tiltak med stor verdi (utover tiltak i K0-K2). Ved planlagt større tilflytting/personopphold gjelder K4.</p> <p>Eksempler er bolighus og fritidsbolig med inntil to boenheter, større driftsbygninger i landbruket, mindre utendørs publikumsanlegg, mindre næringsbygg, større VA-anlegg.</p>	<p>a) Stabilitetsanalyse som dokumenterer sikkerhetsfaktor for områdestabilitet $F \geq 1,4$ eller</p> <p>b) Ikke forverring**</p> <p>Kvalitetssikres av uavhengig foretak*</p>	<p>Stabilitetsanalyse som dokumenterer:</p> <p>a) Sikkerhetsfaktor for områdestabilitet $F \geq 1,4$ eller</p> <p>b) Ikke forverring hvis $F \geq 1,2$, eller</p> <p>c) Forbedring hvis $F < 1,2$, se figur 5.1.</p> <p>Kvalitetssikres av uavhengig foretak*</p>	<p>Stabilitetsanalyse som dokumenterer:</p> <p>a) Sikkerhetsfaktor for områdestabilitet $F \geq 1,4$ eller</p> <p>b) Forbedring hvis $F < 1,4$, se figur 5.1.</p> <p>Kvalitetssikres av uavhengig foretak*</p>
<p>K4: Tiltak som medfører større tilflytting/personopphold enn tiltak i K3 samt tiltak som gjelder viktige samfunnsfunksjoner.</p> <p>Eksempler er mer enn to eneboliger/fritidsboliger, rekkehus/boligblokk, bolig- og hyttefelt, skole og barnehage, sykehjem, større næringsbygg, kontorbygg, idretts- og industrianlegg, større utendørs publikumsanlegg, lokale beredskapsinstitusjoner.</p>	<p>Stabilitetsanalyse som dokumenterer:</p> <p>a) Sikkerhetsfaktor for områdestabilitet $F \geq 1,4$ eller</p> <p>b) Forbedring hvis $F < 1,4$, se figur 5.1.</p> <p>Kvalitetssikres av uavhengig foretak*</p>		<p>Stabilitetsanalyse som dokumenterer:</p> <p>a) Sikkerhetsfaktor for områdestabilitet $F \geq 1,4$ eller</p> <p>b) Vesentlig forbedring hvis $F < 1,4$, se figur 5.1.</p> <p>Kvalitetssikres av uavhengig foretak*</p>

* Se kapittel 5.3.

** Det er ikke nødvendig med fullstendig utredning av sonen. Selve tiltaket kan utføres med et tilhørende stabiliserende tiltak for å oppnå "ikke forverring" av områdestabiliteten.

Stabilitetsberäkningen redovisas under kap. 7. Beräkningen har granskats av kollega i enlighet med kraven på kvalitetssäkring i åtgårdskategori K2.

7. Stabilitet

7.1 Allmänt

Den identifierade risken för att ett område-skred skulle kunna inträffa är att ett lokalt skred i muddringsslänten skulle kunna initiera ett större skred som kan bli bakåttövergripande genom sprödbrottsmaterialet. Därför har stabiliteten kontrollerats för den planerade nya muddringsslänten.

Släntstabilitetsberäkning har utförts med dränerad och odränerad analys i programmet GS Stability 14.1.1.0. Programmet använder jämviktsteorier för att beräkna säkerhetsfaktorer mot skred i jordslänter. Säkerhetsfaktorn har beräknats med cirkulär-cylindriska och plana glidytor med metoden Beast 2003.

Beräkning har utförts i en utvald sektion i bukten, se vidare under 7.3.

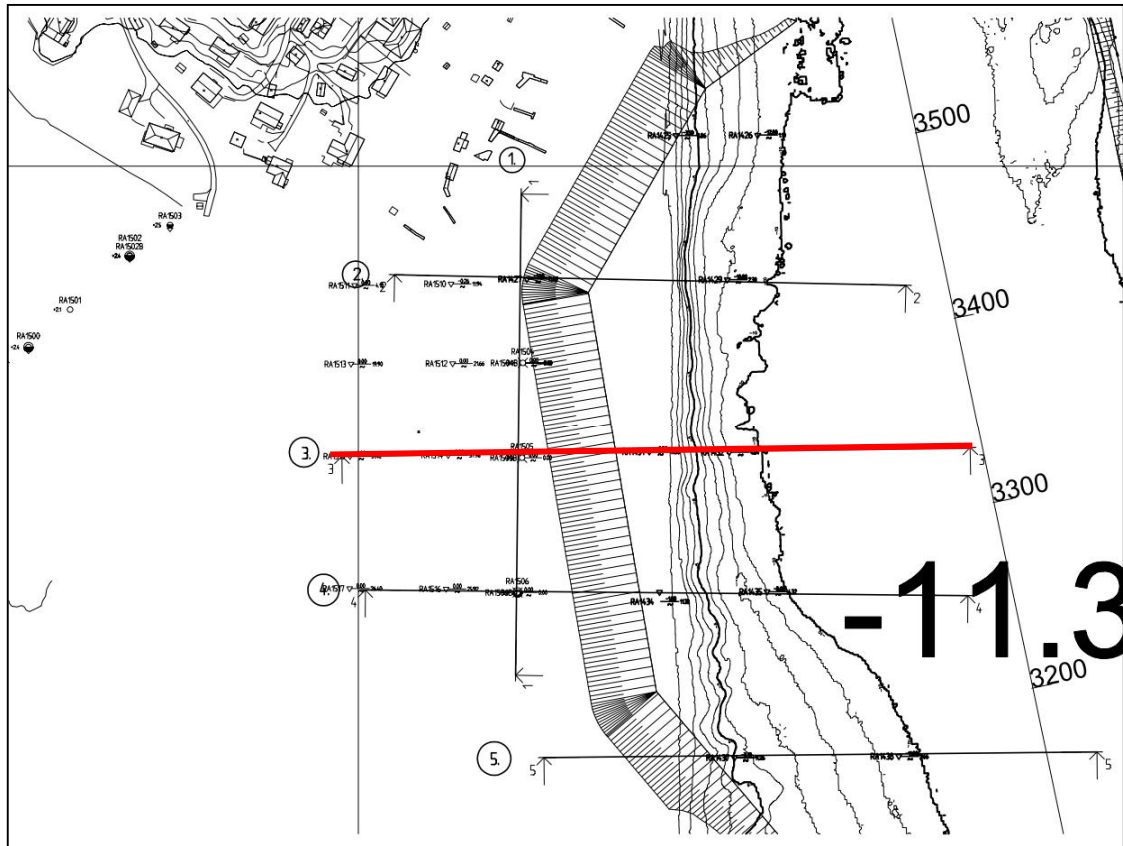
7.2 Beräkningsförutsättningar

Beräkningarna har utförts med totalspänningsanalys och effektivspänningsanalys enligt dimensionering med karaktäristiska värden där osäkerheter avseende jordegenskaper, portrycksförhållanden, terrängmodell och beräkningsmodell läggs på säkerhetsfaktorn F.

Som underlag till stabilitetsberäkningen ligger de geotekniska undersökningar samt den inmätning som utförts i projektet.

7.3 Beräkningssektion

För det aktuella området i Fuglevikbukta har en representativ sektion valts ut för beräkningarna, se sektion 3 i figur 8 och bilaga 1. Sektionen är placerad ungefär mitt i området för vändplatsen och är vald där de geotekniska undersökningarna visar på de största lermäktigheterna. Stabilitetsberäkningen är genomförd för situationen då muddringsslänten är anlagd. Geometrin har genererats från inmätt bottenprofil och anpassats efter den planerade muddringssläntens djup och läge för släntfot och med antagen släntlutning 1:3.



Figur 8 Beräkningssektion markerad i rött

7.3.1

Jordprofil

Jordprofilen består av lera från ytan. Leran har enligt utförda undersökningar en relativt homogen ökning i skjuvhållfasthet mot djupet. Skjuvhållfastheten i befintlig släntfot är något lägre i ytan och antas så även vara vid den nya släntfoten just under muddringsarbetet då jorden närmast släntytan utsätts för störning.

7.3.2

Materialegenskaper

Hållfasthetsparametrar på leran som använts vid beräkningarna visas i tabell 5 nedan.

Tabell 5 Hållfasthetsparametrar

Nivå	Jordart	Tunghet över GW γ [kN/m ³]	Tunghet under GW γ [kN/m ³]	Skjuvhållfasthet τ_{fu} [kPa]	Friktionsvinkel ϕ [°]
-1 till -35	Lera	18	8	4+1,6 kPa/m	23
-11,3 till -14	Lera släntfot	18	8	2+3,9 kPa/m	23
-14 till -35	Lera släntfot	18	8	12,5 + 2,07 kPa/m	23

Valda c-profiler för beräkningarna kan ses i bilaga 9. C-profilerna är bestämda utifrån utförda CPTU-sonderingar, vingförsök och labanalyser. Odränerad skjuvhållfasthet från CPTU-sonderingarna har utvärderats med programmet CONRAD version 3.1.

Värden på friktionsvinkeln för lera är antaget medelvärde baserat på empiriska värden enligt 2.9.5.1 i Håndbok V220 – Geoteknik i vegbygging.

7.3.2.1 Anisotropi

I beräkningarna med totalspänningsanalys har hänsyn tagits till en anisotropisk jordmodell genom användning av ADP-analys som har följande förhållanden mellan aktiv, passiv och direkt skjuvhållfasthet

$$\frac{c_{uD}}{c_{uC}} = 0,63 + 0,00425 * (I_p - 10)$$

$$\frac{c_{uE}}{c_{uC}} = 0,35 + 0,00375 * (I_p - 10)$$

Dessa värden kommer från NIFS rapport 14/2014, En omförent anbefaling for bruk av anisotropifaktorer i prosjektering i norske leirer, ref [2]. Resultat från CPTU-sondering, vingborring och konförsök ger resultat som motsvarar direkt skjuvhållfasthet. Med medelvärdet 12,6 % för plasticitetsindex i aktuell jordprofil fås följande anisotropifaktorer som har använts vid beräkningarna.

$$A_d = 1$$

$$A_c = 1,56$$

$$A_p = 0,56$$

7.3.3 Vattennivå och portryck

Vattennivån från vilken hydrostatiskt tryck råder är ansatt till 0 i beräkningarna. I Norge förekommer tidsvattenskillnader men dessa är inte så stora i det aktuella området att de påverkar muddringsläntens stabilitet.

7.4 Resultat

Utförda stabilitetsberäkningar presenteras i bilaga 8. En sammanställning av beräknade säkerhetsfaktorer visas i tabell 6 nedan.

Tabell 6 Sammanställning av resultat från stabilitetsberäkning

Ber. sektion	Beräkningsmetod	Analys	Glidyta	Ber. Säkerhetsfaktor
Sektion 3	Beast 2003	Odränerad	Cirkulärcylindrisk	1,80
Sektion 3	Beast 2003	Dränerad	Cirkulärcylindrisk	1,54
Sektion 3	Beast 2003	Odränerad	Plan	2,00
Sektion 3	Beast 2003	Dränerad	Plan	1,94

Säkerheten mot skred efter muddring är alltså tillfredställande stabil i enlighet med krav på säkerhetsfaktorn enligt kap 6.10.

8. Slutsats och rekommendationer

Vid de geotekniska undersökningarna som utfördes inför projekteringen av muddring för utdjupning och breddning av farleden genom Fuglevikbukta hittades förekomst av kvicklera och sprödbrottsmaterial. Skredriskanalysen av området som sedan utförts i syfte att utreda om muddringen för utdjupningen av farleden kan komma att påverka områdesstabiliteten visar att så länge den nya muddringsslänten är stabil och skyddad från erosion kommer inte områdesstabiliteten påverkas av den planerade åtgärden.

Förutsättningarna för skred som ska nå kvickleran är små med hänsyn till terrängen som är mycket flack på botten i bukten och att den planerade utdjupningen ligger förhållandevis långt ifrån den identifierade kvickleran på land. En glidyta som börjar i muddringsslänten skulle kunna få en bakåtövergripande utbredning och det är därför viktigt att säkerställa den muddrade släntens stabilitet. På grund av de lösa massorna bör slänten anläggas i lutning 1:3 samt att den skall skyddas mot erosion. En arbetsberedning för muddringsarbetena bör upprättas för att säkerställa att massorna tas ut på ett sådant sätt att stabiliteten

för slänten kan säkerställas även under utförandet. Utförs detta bedöms inte den planerade muddringen förorsaka några stabilitetsproblem i området.

Denna undersökning och skredriskanalys gäller endast planerad åtgärd för utdjuningen av farleden och föreslagen lokalisering av muddringsslänten. Om muddringsslänten skall flyttas närmare stranden eller vid andra ingrepp och åtgärder i området kan förhållanden bli helt annorlunda och då måste en ny stabilitetsvärdering utföras. Områdesstabiliteten kan exempelvis äventyras om en utdjuning skulle ske närmare stranden eller av ökade belastningar i området för kvickleran som av exempelvis uppfyllnader eller uppförande av byggnader. Vid eventuell sprängning i eller i närheten av området måste tillstånd ges av ingenjörsgéolog eftersom förekommande jordmassor är känsliga för vibrationer.

9. Referenser

[1] NVE, Veileder: Sikkerhet mot kvikkleireskred. Vurdering av områdestabilitet ved arealplanlegging og utbygging i områder med kvikkleire og andre jordarter med sprobruddsegenskaper, 2014

[2] NIFS, Rapport 14/2014: En omforent anbefaling for bruk av anisotropifaktorer i prosjektering i norske leirer, 2014