



Norsk institutt for vannforskning

NOTAT

Vurderinger knyttet til planlagt utfylling av sulfidholdig stein i sjø ved Fluet brygge, Arendal kommune



Av: Øyvind Kaste

Dato: 21.02.2022

Journalnummer: 0100/22

Prosjekt: O-220011-02

Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	3
1.1	Bakgrunn	3
1.2	Mål	3
2	Planlagt håndtering av utsprengt sulfidstein	3
2.1	Fylling på land	3
2.2	Utfylling i sjø.....	7
3	Analyser av svovelinnhold i stein fra området	7
4	Generelt om forurensningsfare ved deponering av sulfidholdig stein i sjøvann	10
5	Vurdering av forurensningsfare og mulige tiltak ved planlagt utfylling ved Fluet Brygge.	10
6	Referanser	12

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Apoteket Eiendom AS planlegger å bygge ut et område ved Fluet Brygge i Arendal til boligformål. Området ligger i Tromøysund, rett øst for sentrum av byen (**Figur 1-3**).

Utbyggingen vil i full skala (her kalt alternativ A) innebære utsprenging av om lag 35 000 m³ stein. Massene planlegges delvis fylt ut i sjøen på utsiden av utbyggingsområdet og delvis på land som underlag for en midlertidig vei som skal gå gjennom byggegropa i anleggsperioden. Det er oppdaget sulfidholdig stein i området, og prøver fra ulike dyp i til sammen fem borehull er analysert for svovelinnhold og en hydrogenperoksidtest for å dokumentere steinmassenes syredannende evne (**Figur 4 og 5**).

Det foreligger også et redusert utbyggingsalternativ (her kalt alternativ B) som innebærer betydelig mindre utsprengt fjell, begrenset til området mellom den ytre kystveien og sjøen. Utfyllingen i sjø blir ved dette alternativet begrenset til en utvidelse av landområdet ut mot et planlagt bryggeanlegg i forkant av utbyggingsområdet.

I forbindelse med at det er oppdaget sulfidholdig berggrunn i utbyggingsområdet, har Apoteket Eiendom AS tatt kontakt med NIVA for en vurdering av forurensningsfare i forbindelse med deponering av steinmassene og hvordan fyllinger på land og i sjø eventuelt kan anlegges for å redusere risikoen for forurensning.

1.2 Mål

NIVA har tidligere gjennomført sediment-undersøkelser i sjøen utenfor det planlagte tiltaksområdet (Håvardstun 2021). Dette notatet omhandler derfor kun en vurdering av forurensningsfare og mulige forurensningsbegrensende tiltak i forbindelse med deponering av sulfidholdig stein.

2 Planlagt håndtering av utsprengt sulfidstein

2.1 Fylling på land

Om lag 6000 m³ av steinmassene er planlagt brukt som fundament for en midlertidig vei gjennom utbyggingsområdet. Veien er markert på kartet i **Figur 2**. Basert på tverrsnitt vist i **Figur 3**, vil den midlertidige veien ligge på ca. kote 11. Etter at den midlertidige veien er fjernet ca. 6 mnd. ut i anleggsperioden, planlegges det å fordele steinmassene på land og i sjøen ut mot et bryggeanlegg som planlegges i forkant av utbyggingsområdet. Det ferdig opparbeidete området ut mot sjøen vil ligge på kote 1.5 (**Figur 3**). Dette tiltaket vil gjelde både ved utbyggingsalternativ A og B.



Figur 1. Lokalisering av det planlagte tiltaksområdet markert med rød sirkel i to kartutsnitt med ulike målestokk. Mer detaljert avgrensning er vist i Figur 2. Kartgrunnlag: www.norgeskart.no.

2.2 Utfylling i sjø

Ved utbyggingsalternativ A planlegges om lag 17000 m³ av de utsprengte steinmassene deponert i sjøen på utsiden av utbyggingsområdet. Fyllingen i sjø vil dekke et horisontalt areal på ca. 1800 m² (mørkt blått område i **Figur 2**, øverst). Toppen av denne fyllingen vil ligge på dybdekote 3.

Havbunnen i dette området skråner fra ca. 5 til omkring 15 meters dyp. Hvis en antar en gjennomsnittlig fyllingshøyde på 10 meter, vil deponiet kunne romme 18000 m³ stein.

Ved både utbyggingsalternativ A og B vil et areal i sjø på innsiden (lys grønt område), ca. 800 m², bli fylt opp til kote 1,5 (over havnivå). Havbunnen i dette området ligger i dag stort sett mellom 0 og 5 meters dyp. Hvis en her antar en gjennomsnittlig vertikal fyllingshøyde på 4 meter (2,5 m i sjø + 1,5 m over havnivå), vil denne fyllingen grovt sett kunne romme ca. 3200 m³ stein.

3 Analyser av svovelinnhold i stein fra området

Multiconsult har stått for de miljøtekniske undersøkelsene av berggrunnen i området og resultatene er rapportert av (Erga 2022). Det er vurdert forvittringsgrad, analysert svovelinnhold og reaktivitet (temperaturøkning ved hydrogenperoksidtest) og foretatt utlekkingsforsøk på steinprøver fra 5 borehull i området (**Figur 4**).

På grunn av bratt terreng er de øverste borehullene, P1-3, lokalisert ovenfor og utenfor selve byggegropa. Borehull 4 og 5 er lokalisert i det nedre, sør-østre hjørnet av byggegropa (på hver sin side av den ytre kystveien). De øverste borehullene (P1-P3) starter på omkring kote 43 og går ned til omkring kote 1 (P3 noe grunnere, ned til kote 6). De to nederste borehullene (P4 og P5) starter på ca. kote 11 og går ned til kote 1.

Forvittringsgraden er av Multiconsult vurdert til å være lav ved borehull 2-5 og middels ved borehull 1. Resultatene fra utlekkingsforsøkene er vurdert og rapportert av Erga (2022). En oppsummering av resultatene for svovelinnhold og reaktivitet (temperaturøkning) for de fem borehullene er gitt i **Tabell 1**. Disse parameterne gir til sammen grunnlag for å klassifisere om bergarten er syredannende eller ikke syredannende (jf. «Lillesand veileder», Prosjektgruppen for kontroll på svovelholdig avrenning i Agder, 2021).

Resultatene viser at borehullene P1-P3 har den høyeste andelen av prøver med syredannende gneis (63-88%). Selv om alle de tre borehullene har sjikt som kan klassifiseres som ikke-syredannende, er det ikke noe godt sammenfall mellom dybdene av disse sjiktene i de respektive borehullene (**Figur 4**). Det betyr at det er vanskelig å «friskmelde» spesifikke dybdesjikt eller soner i den undersøkte fjellformasjonen ut fra de tilgjengelige dataene.

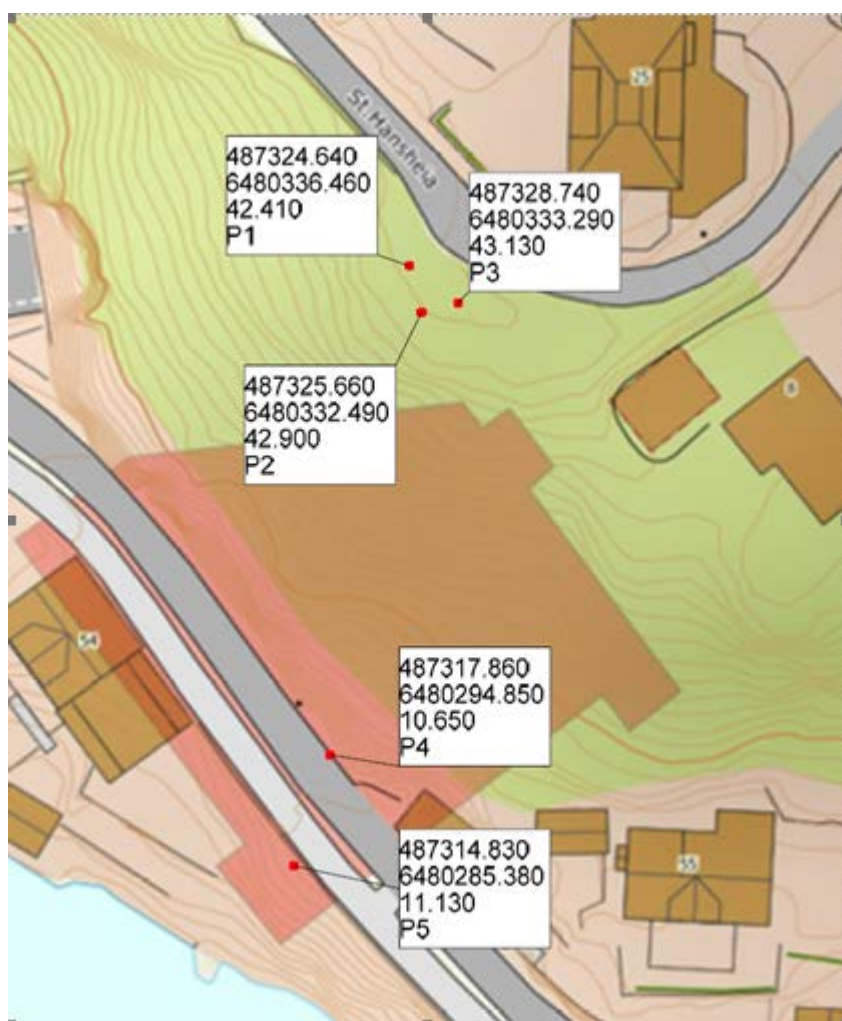
De to nederste borehullene (P4 og P5) viser litt avvikende resultater på tross av at de ligger bare ca. 10 meter fra hverandre og representerer de samme dybdelagene. Ved P5 er 4 av 7 prøver karakterisert som syredannende, mens alle prøvene fra P4 er karakterisert som ikke-syredannende. På tross av at resultatene fra P4 synes å være greie, er det vanskelig å friskmelde denne delen av byggegropa så lenge nesten halvparten av dypene ved P5 er karakterisert som syredannende.

Basert på borehullene som det er analysert prøver fra, må hele fjellformasjonen som er planlagt utsprengt karakteriseres som potensielt syredannende (Erga 2022). Steinmasser som klassifiseres som syredannende må behandles som forurenset grunn og må deponeres eller lagres innenfor tiltaksområdet på en måte som ikke kan føre til spredning av forurensning (Pabst mfl. 2015).

Som kartet i **Figur 5** viser, dekker ikke borehull P1-P5 alle deler av den planlagte byggegropa. Dersom det er ønske om å undersøke om andre deler av byggegropa kan inneholde mindre problematisk fjell, må det bores flere prøvehull for å dokumentere dette. En geolog vil sannsynligvis kunne vurdere om det kan være verdt å bore flere prøvehull, eller om fjellformasjonen er såpass homogen at prøvehull P1-P5 til sammen vil danne et representativt bilde av den planlagte byggegropa.

Tabell 1. Svovelinnehold og resultater for temperaturøkning i hydrogenperoksidtest. Oppsummering av resultatene for de fem borehullene, aggregert fra enkeltprøvene vist i **Figur 4**. Fargekoding er i hht. «Lillesand veileder» (Prosjektgruppen for kontroll på svovelholdig avrenning i Agder, 2021).

Borehull	Ant. prøver	Dyp (m)	Svovelinnehold (ant. prøver i hver kategori)			Temperaturøkning (ant. prøver i hver kategori)			Syredannende? (ant. pr. i hver kategori)	
			Lav	Middels	Høy	Lav	Middels	Høy	Nei	Ja
P1	15	1-43	7	8	0	2	5	8	4	11 (73%)
P2	16	1-42	1	15	0	2	9	5	2	14 (88%)
P3	16	1-37	1	15	0	5	8	3	6	10 (63%)
P4	6	1-11	1	5	0	5	1	0	6	0 (0%)
P5	7	2-12	0	7	0	4	3	0	4	3 (43%)



Figur 5. Lokalisering av de fem borehullene (P1-P5) for uttak av steinprøver.

Foreløpige analyseresultater, Fluet brygge, Arendal.

Prøvenummer	Innhold av svovel (ppm)	Innhold av svovel (%)	Hydrogenperoksidtest (°C)	Klassifisering	Kote (+)
P1-1	169	0,017	0,4	I. syredannede	43-42
P1-2	148	0,015	0,2	I. syredannede	42-41
P1-4	1464	0,146	0,7	I. syredannede	40-39
P1-7	1764	0,176	6,0	Syredannede	37-36
P1-10	1739	0,174	6,6	Syredannede	34-33
P1-12	2429	0,243	3,3	Syredannede	32-31
P1-15	1283	0,128	4,2	Syredannede	29-28
P1-19	1265	0,127	5,9	Syredannede	25-24
P1-21	1137	0,114	3,0	Syredannede	23-22
P1-26	1616	0,162	2,1	Syredannede	18-17
P1-29	1475	0,148	0,9	I. syredannede	15-14
P1-33	2439	0,244	1,4	Syredannede	11-10
P1-39	2384	0,238	1,2	Syredannede	5-4
P1-42	2531	0,253	0,9	Syredannede	2-1
P1-43	1970	0,197	1,0	Syredannede	1-1
P2-1	1882	0,188	1,0	Syredannede	43-42
P2-2	1912	0,191	1,0	Syredannede	42-41
P2-5	1191	0,119	3,2	Syredannede	39-38
P2-9	1744	0,174	1,9	Syredannede	35-34
P2-11	2131	0,213	2,8	Syredannede	33-32
P2-13	2690	0,269	2,6	Syredannede	31-30
P2-15	1687	0,169	1,2	Syredannede	29-28
P2-17	1868	0,187	1,1	Syredannede	27-26
P2-19	2510	0,251	1,0	Syredannede	25-24
P2-22	2836	0,284	1,1	Syredannede	22-21
P2-24	2995	0,300	1,1	Syredannede	20-19
P2-30	1698	0,170	1,4	Syredannede	14-13
P2-32	1615	0,162	1,2	Syredannede	12-11
P2-34	2978	0,298	0,6	I. syredannede	10-9
P2-39	3910	0,391	0,6	I. syredannede	5-4
P2-42	3250	0,325	1,2	Syredannede	2-1
P3-1	3524	0,352	0,4	I. syredannede	43-42
P3-2	2262	0,226	1,0	Syredannede	42-41
P3-6	1592	0,159	1,8	Syredannede	38-37
P3-8	1544	0,154	1,1	Syredannede	36-35
P3-12	1951	0,195	1,3	Syredannede	32-31
P3-14	2145	0,215	1,1	Syredannede	30-29
P3-16	2299	0,230	0,8	Syredannede	28-27
P3-18	2253	0,225	0,3	I. syredannede	26-25
P3-19	2259	0,226	0,3	I. syredannede	25-24
P3-23	5590	0,559	1,5	Syredannede	21-20
P3-25	4843	0,484	1,1	Syredannede	19-18
P3-27	3812	0,381	0,8	Syredannede	17-16
P3-29	2118	0,212	0,6	I. syredannede	15-14
P3-31	1903	0,190	0,7	Syredannede	13-12
P3-35	1421	0,142	0,7	I. syredannede	9-8
P3-37	1696	0,170	0,5	I. syredannede	7-6
P4-1	1433	0,143	1,0	I. syredannede	10,7-10
P4-2	1781	0,178	0,6	I. syredannede	10-9
P4-4	1671	0,167	0,4	I. syredannede	8-7
P4-6	2483	0,248	0,6	I. syredannede	6-5
P4-8	1918	0,192	0,2	I. syredannede	4-3
P4-11	2108	0,211	0,3	I. syredannede	1-1
P5-2	2067	0,207	0,4	I. syredannede	11-10
P5-3	1975	0,198	0,8	Syredannede	10-9
P5-4	1679	0,168	0,6	I. syredannede	9-8
P5-6	1632	0,163	0,5	I. syredannede	7-6
P5-8	1817	0,182	0,9	Syredannede	5-4
P5-11	2117	0,212	0,4	I. syredannede	2-1
P5-12	2001	0,200	0,9	Syredannede	1-1

n.d. = ikke påvist
I. syredannede = ikke syredannede

Fargekodet iht. Lillesands veileder ver. 2,4 "Retningslinjer for tiltak i områder med syredannede gneis"

Forvittringsgrad	S-total		Tmp.øk. (hydrogenperoksidtest)		Klassifisering
Lav	<0,015 %	Lavt svovelinhold.	<0,7 (°C)	Lavt syredanningspotens	Ikke syredannede
Middels	0,15-0,8 %	Middels svovelinhold	0,7 - 1,2 (°C)	Middels syredanningspo	Syredannede
Høy	>0,8 %	Høyt svovelinhold	>1,2 (°C)	Høyt syredanningspoten	

Figur 4. Analyseresultater av steinprøver fra området, utført av Vannlaboratoriet AS på oppdrag for Multiconsult (Erga 2022). Prøvenummer angir nummer på borehull (P1-P5) og dybde i meter. Lokalisering av borehullene er vist i **Figur 5**.

4 Generelt om forurensningsfare ved deponering av sulfidholdig stein i sjøvann

Det er etter hvert samlet en god del kunnskap om effekter av eksponert sulfidberggrunn på vannkvalitet (Kaste mfl. 1995, Hindar og Lydersen 2002, Hindar og Roseth 2003, Hindar og Iversen 2006, Hindar mfl. 2009, Hindar 2010, Pabst mfl. 2015, Teien mfl. 2017). De fleste av arbeidene er knyttet til avrenning fra sprengt sulfidstein som er deponert på land.

I forbindelse med byggingen av ny E18 mellom Kristiansand og Grimstad ble det imidlertid også foretatt en utredning av sjødeponi i Kaldvellfjorden ved Lillesand, som et alternativ til å samle sulfidholdig stein i deponier på land (Hindar mfl. 2009). En oppsummering av de viktigste resultatene fra prosjektet er gjengitt nedenfor:

- To prosjekter ble satt i gang i 2007, ett for å undersøke metallutlekking fra sulfidholdig sprengstein i sjøvann og ett for å karakterisere sedimentet under det planlagte sjødeponiet. Utlekkingsforsøket var todelt. En del ble gjennomført i selve fjorden ved at det ble lagt ut et minideponi av 34 m³ sulfidholdig stein i vannkanten. Den andre delen ble gjennomført i et laboratorium ved at nedknust masse ble nedsenket i vann med ulik saltholdighet. Metallutlekkingen ble deretter målt over tid i begge forsøkene.
- Forsøkene med minideponi viste at det foregår kjemiske reaksjoner i sulfidholdige sprengsteinmasser i sjøvann. Det ble løst ut jern, mangan, aluminium og diverse tungmetaller fra sulfidsteinen til det omkringliggende vannet, men en del ble også felt ut og samlet seg som slam inne i deponiet. Det ble antatt at jernutfellingen var langt mer omfattende enn utfellingen av andre metaller og at jern derfor utgjorde hoveddelen av slammet. Forsøket pågikk i 160 dager.
- Resultatene fra laboratorieforsøket viste ingen forurensning i form av redusert pH. Konduktiviteten økte i alle prøvene, i likhet med konsentrasjonene av kalsium, magnesium og sulfat, og situasjonen syntes ikke å ha stabilisert seg da forsøket ble avsluttet etter 144 døgn. Utlekkingen av noen av metallene syntes å øke med økende salinitet. Dette gjaldt spesielt kobber, nikkel, sink og kadmium. Utlekkingen av disse metallene ble beregnet til hhv. 0.1, 1.9, 1.9 og 0.035 mg per m² (steinoverflate) per døgn. For praktiske formål anslo Hindar mfl. (2009) den totale overflaten for hver m³ sprengt fjell til 12 m², slik at det var mulig å estimere utlekkingspotensialet for en gitt mengde sprengt sulfidstein fritt eksponert til sjøvann.

5 Vurdering av forurensningsfare og mulige tiltak ved planlagt utfylling ved Fluett Brygge.

Basert på resultatene fra forsøkene gav Hindar mfl. (2009) følgende anbefalinger mht. sjødeponi av sulfidstein:

- Riktig plassering og oppbygging av sjødeponier kan redusere omfanget av de kjemiske reaksjonene og de problemene det kan medføre. Jo mindre tilgang på oksygen det er i det området deponiet legges, jo saktere vil de kjemiske prosessene gå. Det er derfor bedre å legge et deponi i oksygenfattige vannmasser på dypt vann enn i strandkanten.

- Hvis deponiet skal anlegges i eller nær overflaten er det viktig å hindre vannbevegelser som kan transportere vann/oksygen inn i deponiet og slam fra deponiet og ut i de frie vannmassene. Påvirkning av bølgeslagsbevegelser og gjennomstrømming knyttet til tidevannsvariasjon eller lokale strømforhold bør unngås. Deponioverflaten bør utformes slik at det seinere kan tildekkes med duk, og deretter dekkes av et 2-3 meters topplag med rene masser.
- Før eventuell utlegging av sulfidstein bør det etableres et siltskjørt rundt anleggsområdet for å hindre partikkelspredning fra steinmassene og fra sedimentet i fjorden.

Forsøkene til Hindar mfl. (2009) er per i dag de eneste dokumenterte undersøkelsene av potensiell utlekking fra sulfidstein deponert i sjøvann. Det er derfor naturlig å legge anbefalingene i kulepunktene over til grunn i forbindelse med planlegging av en utfylling ved Fluet Brygge.

Sjøvann har stor evne til å nøytralisere sure forbindelser, og utlekkingen av sulfat og hydrogen-ioner (svovelsyre) fra steinmassene forventes derfor ikke å påvirke surheten i vannet. Heller ikke utlekking av ioner som kalsium, magnesium, natrium og kalium vil ha noen betydning for vannkvaliteten i sjøen. De største potensielle negative effektene er derfor knyttet til utlekking av metaller, som også visuelt kan gi seg uttrykk av i form av rustfarget, jernholdig slam i og rundt fyllingen og hvitt belegg av utfelt aluminium på steiner og svaberg rundt deponiområdet.

Basert på det ovenstående foreslås det følgende praktiske tiltak for å redusere / minimere forurensningsfaren fra den planlagte utfyllingen ved Fluet Brygge:

Ved utbyggingsalternativ A:

- a) Overflaten av deponiet med sulfidstein bør utformes slik at det kan tildekkes med duk, og deretter dekkes av et 2-3 meters topplag med rene steinmasser. Duken vil kunne hindre slam som dannes inne i deponiet å transporteres ut i de frie vannmassene og kan også bidra til å redusere inntrenging av oksygenrikt vann inn i fyllingen. For å fylle sprekker i deponiet og oppnå en jevnere overflate før tildekking med duk kan det også være aktuelt å fylle på med ren sand eller skjellsand.
- b) Det må anlegges en støttefylling med rene steinmasser i ytterkant av utfyllingsområdet. Støttefyllingen må være så høy at det vil være tilstrekkelig volum på innsiden til å romme den angitte mengden sulfidstein, samtidig som det kan etableres et topplag med rene steinmasser som ikke stikker høyere enn dybdekote 3.
- c) Overgangen mellom deponiet under vann (kote -3) og deponiet over havnivå (kote 1,5), dvs. den framtidige sjøfronten, må plastres med rene masser, evt. beskyttes med betongmur, for å forhindre at sulfidstein blir liggende eksponert i bølgeslagssonen.
- d) Før eventuell deponering i sjø starter, bør det etableres et siltskjørt rundt anleggsområdet for å hindre/reducere partikkelspredning.
- e) Fyllingen på land må overdekkes med et mest mulig impermeabelt toppdekke (f.eks. asfalt) for å hindre at sulfidstein blir eksponert for luft og vann. Før overdekking kan det gjerne fylles ren sand eller skjellsand inn mellom steiner i deponiet.
- f) Overvann fra omkringliggende terreng bør avskjæres slik at minst mulig vann renner gjennom steinfyllingen.
- g) Hvis fyllingen under den midlertidige veien skal deponeres i sjø etter at veien er fjernet, må også disse steinmassene plastres slik som beskrevet i det øverste kulepunktet.

Ved utbyggingsalternativ B utgår punkt a), b) og g) i tiltaksoversikten over. Det vil imidlertid være viktig at de sulfidholdige massene kapsles inne med duk og plastres med rene steinmasser, både i overflaten på land og i ytterkant mot den nye sjøfronten/bølgeslagssonen. Stabilitet av fyllingen som byggegrunn må vurderes av geoteknisk/byggfaglig personell.

Hvis en lykkes med en effektiv overdekking som forhindrer eller sterkt reduserer transporten av vann og oksygen inn i deponiet og likeledes transport av slam fra deponiet og ut i fjorden, bør forurensingspotensialet fra deponiet være lavt. I og med at det er lite eller ingen praktisk erfaring med tiltakene som er foreslått knyttet til det planlagte sjøvannsdeponiet (i forbindelse med alternativ A), kreves det detaljert prosjektering og planlegging å forsikre seg om at særlig operasjonene under vann er mulige å gjennomføre på en tilfredsstillende måte.

6 Referanser

- Erga AS. 2022. Fluett Brygge, Arendal. Miljøtekniske grunnundersøkelser, berggrunn. Multiconsult. Rapport/dokumentkode: 10240094-RIGm-RAP-001.
- Hindar A, Iversen ER, Håvardstun J. 2009. Deponering av sulfidholdig stein i sjø fra ny E18-trasé – forsøk med metallutlekking og karakterisering av sedimentet i Kaldvellfjorden. NIVA-rapport 5769-2009, 26 s.
- Hindar A, Iversen ER. 2006. Utsprengning i sulfidholdig berggrunn på Storemyr i Lillesand – effekter på vannmiljø og forslag til tiltak. NIVA-rapport 5316-2006, 31 s.
- Hindar A, Lydersen E. 2002. Effekt av eksponert og ueksponert sulfidberggrunn på vannkvalitet langs planlagt E18-trasé mellom Lillesand og Kristiansand. NIVA-rapport 4493-2002, 41 s.
- Hindar A, Roseth R. 2003. E18 gjennom sulfidberggrunn i Agder; anbefaling om avbøtende tiltak for å hindre sur avrenning og annen belastning av resipienter. NIVA-rapport 4642-2003, 45 s.
- Hindar A. 2010. Highway E18 Grimstad-Kristiansand; effects and quantification of acid runoff from deposits of sulphide-bearing rock. NIVA-rapport 5947-2010, 39 s.
- Håvardstun J. Ny klassifisering av miljøgifter i sedimenter prøvetatt ved Fluett i Arendal i 2012. NIVA-notat 29.11.2021. J-nr 401/21, 5 s.
- Kaste Ø, Frigstad OF, Hindar A. 1995. Undersøkelser av avrenning fra sulfidholdige bergarter rundt Travparken / Sørlandshallen i Kristiansand kommune. NIVA-rapport 3313-1995,
- Pabst T, Hindar A, Hale S, Garmo Ø, Bækken T, Petersen K, Endre E, Baardvik G. 2015. Bergarters potensielle effekter på vannmiljøet ved anleggsvirksomhet. Statens vegvesens rapporter Nr. 389, 100 s.
- Prosjektgruppen for kontroll på svovelholdig avrenning i Agder. 2021. Retningslinjer for tiltak i områder med syredannende gneis. Felles saksbehandlingsrutiner, krav til prøvetaking, klassifisering av steinmasser og miljøoppfølging. «Lillesands-veileder». Versjon 2.4. Dato: 9.3.2021.
- Teien HC, Pettersen MN, Kassaye YA, Hindar A, Lind OC, Håvardstun J. 2017. Aluminium og spormetaller i Kaldvellfjorden - tilstandsformer og opptak i fisk. – MINA fagrapport 47. 61 s.