



RAPPORT

Testprosedyre for sorbenter

DOK.NR. 20180838-02-R

REV.NR. 0 / 2019-04-29

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: Konsulentbistand for Kystverket til utarbeidelse av testprosedyre for sorbenter
Dokumenttittel: Testprosedyre for sorbenter
Dokumentnr.: 20180838-02-R
Dato: 2019-04-29
Rev.nr. / Rev.dato: 0 /

Oppdragsgiver

Oppdragsgiver: Kystverket
Kontaktperson: Torunn Østmann
Kontraktreferanse: Kontrakt signert 2018-10-29

for NGI

Prosjektleder: Christian Totland
Utarbeidet av: Christian Totland og Ingvild Fladvad Størdal
Kontrollert av: Paul Sverdrup Cappelen

Summary / Sammendrag

This report describes test procedures for sorbent materials. Both quantitative lab-scale test procedures, as well as larger scale tests for simulation of realistic conditions, are proposed. The lab-scale tests are intended to give comparable results for evaluation of different sorbent materials, whereas the larger scale tests are intended to evaluate practical aspects for field use.

Existing test procedures are described and reviewed, including standard procedures from American Society for Testing and Materials (ASTM) and British Standard. Test procedures used in the general literature are further discussed.

Denne rapporten beskriver testprosedyrer for sorbentmaterialer til bruk for å begrense oljesøl. Det er utviklet testprosedyrer for både småskala laboratorietesting, samt testing i større skala under forhold som bedre simulerer faktisk bruk. Småskaletester er ment å kunne gi et kvantitativt sammenligningsgrunnlag mellom ulike sorbentmaterialer. De større skala testene er utviklet for å best mulig kunne evaluere hvordan sorbentene vil prestere ved bruk i felt.

Eksisterende litteratur er presentert og vurdert. Dette inkluderer standard testprosedyrer fra American Society for Testing and Materials (ASTM) og British Standard, samt en generell vurdering av ulike testprosedyrer som er benyttet i øvrig litteratur.

Ordforklaring / forkortelser

Absorpsjon	Prosess der et stoff trenger inn i et annet stoff (medfører ekspansjon av absorbentmaterialet).
Adsorpsjon	Prosess der gass eller væske bindes til overflaten av et fast stoff.
Dryppetid	Tiden olje eller vann får renne av sorbentmaterialet før veiing.
Emulgering	Å lage en emulsjon (blanding av to væsker som egentlig ikke er blandbare) kalles emulgering.
Hydrofob	Lav affinitet til vann (apolare stoffer, løses dårlig i vann).
Hydrofil	Høy affinitet til vann.
Kontakttid	Tiden en sorbent er utsatt for olje før sorpsjonskapasitet måles
Oleofil	Affinitet til olje (tiltrekker olje).
Oljelense	Avgrenser oljesøl på vann ved å samle, konsentrere, lede, ringe inn, stoppe eller absorbere olje som flyter.
Porøsitet	Porøsiteten til et materiale er et mål for forholdet mellom volumet av porer i materialet og totalvolumet.
Pyrolyse	Forbrenning uten tilgang på oksygen.
Retensjon	Evne til å holde på noe, f. eks. en sorbents evne til å holde på olje etter opptak / sorpsjon.
Råolje	Naturlig forekommende flytende petroleum som finnes i reservoarer i berggrunnen og utvinnes som råstoff i petroleumsindustrien.
Skimmer	Fjerner fri fase olje fra vannoverflaten.
Sorbent	Samler og separerer olje fra vann gjennom absorpsjon og/eller adsorpsjon.
Sorbentkapasitet	Antall gram olje som kan sorberes per gram sorbent.
Sorpsjonseffektivitet	Andelen tilgjengelig olje som sorberes.
Sorpsjonsrate	Tiden en sorbent tar for å sorbere en gitt mengde olje per mengde sorbent.
Viskositet	Et mål for hvor tykt- eller tyntflytende en væske eller gass er.

Innhold

1	Innledning	7
2	Oversikt over tidligere benyttede testprosedyrer	8
2.1	American Society for Testing and Materials (ASTM), standard testprosedyre for sorbenter	8
2.2	British Standard testprosedyre	10
2.3	US Coast Guard testprosedyrer	13
2.4	Testprosedyrer brukt i øvrig litteratur	14
3	Vurdering av testprosedyrer	15
4	Forslag til testprosedyre for Kystverket	16
4.1	Valg av olje	16
4.2	Sorbentmaterialer	17
4.3	TRINN 1, småskala – Fastsetting av verdier for sorpsjonskapasitet og flyteevne	17
4.4	TRINN 2, storskala – Testing av sorbenten slik den vil være i bruk	22
5	Referanser	26

Kontroll- og referanseside

1 Innledning

Det finnes svært mye litteratur på oljesorbenter. Egenskapene som måles er som oftest sorpsjonskapasitet, og i noen tilfeller også sorpsjonseffektivitet, flyteevne, retensjons- evne og sorpsjonsrate. Til tross for at det er utviklet standard testprosedyrer for sorbenter, brukes imidlertid disse sjelden.¹ Dette bidrar til at studier rapporterer ulike verdier for like sorbenter, noe som ble bekreftet i en tidligere litteraturgjennomgang.²

Ved innkjøp av oljevernustyr er det viktig å kunne etterprøve oppgitte egenskaper, samt å kunne teste viktige egenskaper som ikke oppgis fra produsent. For å gjøre en god vurdering av en sorbent er det derfor viktig å også teste sorbenten slik den vil være i bruk. For lenser til bruk i vann, er det for eksempel viktig å vite hvordan lensens egenskaper endrer seg over tid i vann, og hvor god retensjonskapasiteten er for olje etter at den fjernes fra vannet.

Eksisterende testprosedyrer for sorpsjonskapasitet baserer seg hovedsakelig på lab-skala testing av materialet, og har alle visse likheter. Sorbenten dekkes helt med enten vann, olje eller en blanding i en beholder. Tiden man lar sorbenten være i væsken defineres som *kontakttiden*. Deretter lar man overflødig væske renne av over en viss tid, definert som *dryppetiden*, før sorbenten veies for å estimere mengde sorbert olje eller vann. Alternativt måler man volumetrisk hvor mye olje/vann som er sorbert. Kontakttiden og dryppetiden er to enkle, men likevel avgjørende parametere, som fører til avvik mellom studier.³ For målinger av sorpsjonskapasitet bør kontakttiden være tilstrekkelig for å oppnå metning av sorbenten. Oppgitt kontakttid i litteraturen varierer imidlertid fra 5 minutter til 24 timer, og i enkelte tilfeller oppgis ikke kontakttid i det hele tatt.¹

Selv om sorpsjonsraten vil variere svært mye fra sorbent til sorbent, er det forholdsvis enkelt å bestemme tiden som trengs for å oppnå metning av en sorbent. Dette gjøres ved å måle sorpsjonskapasitet ved ulike kontakttider. Dermed er det i prinsippet lite komplisert å definere en tilstrekkelig kontakttid. Dryppetiden er også en kilde til usikkerhet.^{1,3} For kort dryppetid vil føre til kunstig høye målinger av sorpsjonskapasitet. I likhet med kontakttid, rapporteres det om svært forskjellige dryppetider i ulike studier, fra 10 sekunder til 3 timer, dersom det rapporteres i det hele tatt.¹

Selv om det kan virke åpenbart hvilke metoder som kan anvendes til å måle egenskaper nøyaktig, må en testprosedyre også ta hensyn til tids- og ressursbruk. Dersom det for eksempel krever 2 dager med testing for en 99 % nøyaktig måling, er det hensiktsmessig å gå for en metode som er tilstrekkelig nøyaktig, dersom denne kan gjøres på 10 minutter. Dette gjelder også for andre viktige egenskaper som flyteevne, sorpsjonsrate, sorpsjonseffektivitet og retensjonskapasitet. I denne rapporten er slike hensyn vurdert, og det er utarbeidet en testprosedyre for sorbenter med bakgrunn i eksisterende testprosedyrer og litteratur. Testprosedyren skal være praktisk anvendbar, men likevel med tilstrekkelig grad av nøyaktighet for å kunne sammenligne ulike sorbenters egenskaper.

Egenskapene som omfattes av testprosedyrene inkluderer:

- ↗ Sorpsjonskapasitet for olje.
- ↗ Sorpsjonskapasitet for vann, med og uten olje.
- ↗ Flyteevne.
- ↗ Retensjonskapasitet.

I tillegg til karakterisering av sorbentmaterialet, bør man som et minimum karakterisere viskositeten av oljen som benyttes. I en standardisert test av sorbentmaterialer er det videre en fordel om man benytter samme olje(r) for analysene. Oljene man bruker bør inkludere lette, mellomlette og tunge oljer.

Det er mange likhetstrekk mellom benyttede prosedyrer, men likevel mange forskjeller. Påfølgende kapittel 2 beskriver derfor eksisterende prosedyrer og standarder hver for seg, før det gjøres en samlet vurdering av foreliggende litteratur i kapittel 3.

2 Oversikt over tidligere benyttede testprosedyrer

2.1 American Society for Testing and Materials (ASTM), standard testprosedyre for sorbenter

ASTM er en organisasjon som utvikler standarder for testing av materialer, deriblant sorbenter. Standarden utviklet av ASTM ble imidlertid trukket tilbake i 2018, da den ikke oppfylte kravet om oppdatering hvert 8. år.

Det er utviklet to prosedyrer; en testprosedyre for absorbenter (F716-09), og en for adsorbenter (F726-12). Denne differensieringen er i utgangspunktet uheldig, da de fleste sorbenter virker både gjennom absorpsjon og adsorpsjon. I standardene er en absorbent og adsorbent definert som et materiale som sveller henholdsvis mer eller mindre enn 50 % av sin opprinnelige størrelse ved sorpsjon av olje. Dette betyr at i henhold til disse to standardene vil et materiale som sveller 49 % bli testet med en annen metode enn et materiale som sveller 51 %. Dette er en åpenbar svakhet, og sannsynligvis medvirkende til at disse standardene i stor grad har blitt ignorert i øvrig litteratur. Dette innebærer også at det må gjøres en innledende vurdering om hvorvidt en sorbent er en absorbent eller adsorbent.

Standardene inneholder imidlertid prosedyrer for testing av alle relevante egenskaper for sorbenter, og har enkelte gode kvaliteter. Prosedyrene er forklart i grove trekk under. Prosedyre for testing av egenskaper som ikke er fokus i denne rapporten omtales ikke, for eksempel holdbarhet og brennbarhet.

Prosedyren definerer tre ulike typer sorbenter, som krever ulike tilpasninger i testprosedyrene:

- ↗ **Type 1 sorbent.** Et materiale i form av for eksempel rull eller matte med tilstrekkelig størrelse og mekanisk styrke til å kunne håndteres både umettet og mettet med olje (for eksempel svampmaterialer).
- ↗ **Type 2 sorbent.** Et partikulært materiale som kun kan håndteres med for eksempel kost eller spade.
- ↗ **Type 3 sorbent.** Et materiale som holdes sammen av et nett eller permeabelt materiale (for eksempel lenser).

Utstyr til testprosedyrer består i grove trekk av testcelle, nett til å holde sorbenter (må holde sorbenter, samtidig som olje fritt kan renne inn/ut), ristebord og vekt. For type 3 sorbenter (lenser) trenger man en hengevekt når man skal måle sorpsjonskapasitet for olje. Under er prosedyren beskrevet for det som defineres som adsorbenter. Testene for absorberer er beskrevet kort i avsnitt 2.1.3.

2.1.1 Flytetest og vannsorpsjon – adsorbenter

Testcellen (4 L begerglass med lokk) fylles halvfull med vann. Fire ca. 6 x 6 cm biter av en type 1 sorbent eller 4 – 10 g av en type 2 sorbent tilsettes. Lokket skrues på, og glasset ligg på siden oppå ristebordet. Det ristes i 15 minutter, og glasset får deretter stå i ro i 2 minutter. Det noteres hvor mye sorbent som flyter.

All sorbenten kan deretter siles av, og etter 30 sekunder dryppetid veies sorbenten for å finne hvor mye vann som er sorbert.

Denne testen av flyteevne kan også gjøres med olje (3 mL) til stede.

For type 3 sorbenter testes det ytre materialet og fyllmaterialet separat, på samme måte som beskrevet over.

2.1.2 Test av sorpsjonskapasitet for olje – adsorbenter

Det er beskrevet en kort og en lang test. I den korte testen er det brukt en kontakttid på 15 minutter, mens det i den lange testen er brukt en kontakttid på 24 timer. Det benyttes en dryppetid på 30 sekunder for begge testene. Testen innebærer å plassere sorbenten i testcellen og fylle på olje til det dekker sorbentmaterialet. For partikulære type 2 sorbenter benyttes et finmasket nett.

Testen vurderer sorpsjonskapasitet under idealiserte forhold. Det vil si i fravær av vann, og med tilstrekkelig olje til å dekke hele sorbentmaterialet. En slik fremgangsmåte vil gi et resultat som er nærmest den teoretiske maksimalkapasiteten til sorbenten.

2.1.3 Differensiering mellom adsorbenter og absorberer

Hovedforskjellen mellom testprosedyrene for absorberer og adsorbenter er at sorpsjonskapasitet vurderes volumetrisk for absorberer. Testcellen er da en målesylinder (100 mL) som fylles opp med 50 mL olje (eller vann for vurdering av vannsorpsjon), og

2 mL sorbentmateriale. Sorbenten blir så liggende i oljen i 2 timer. I stedet for å fjerne sorbenten for å lese av oljevolumet, tilsetter man en tilpasset vekt som presser sorbenten til bunnen av målesylindren, hvorpå man leser av volumet av sorbent.

2.1.4 Vurdering

Det antas at motivasjonen for å skille mellom absorbenter og adsorbenter, er at en absorbent vil sorbere nok olje til at kapasiteten kan leses av volumetrisk. For en adsorbent er kapasiteten begrenset av overflatearealet, og endinger i oljevolum som følge av adsorpsjon er dermed mindre, og man får mer nøyaktige målinger ved å veie sorbenten etter oljesorpsjon. Det er likevel en ulempe å bruke forskjellige prosedyrer for ulike sorbenter. Det er videre ressurskrevende å på forhånd måtte gjøre tester for å avgjøre hvilken kategori en sorbent faller inn under.

Dryppetid og kontaktid vurderes ikke individuelt for hver sorbent. Dryppetiden kan være noe kort for enkelte sorbenter, som gjør at sorpsjonskapasitet blir overvurdert. Kontakttiden er sannsynligvis for kort for mange absorbenter i den korte testen (sorpsjonskapasitet undervurderes), mens det i den lange testen for adsorbenter benyttes en unødvendig lang kontaktid.

Selv om man kan standardisere en dryppetid som vil passe for de aller fleste sorbenter, bør det gjøres en rask, enten kvalitativ eller kvantitativ, vurdering av hva som er en passende kontaktid for hver enkelt sorbent, da denne kan variere. På denne måten kan man gjøre en riktig vurdering av kapasitet, samtidig som man begrenser tidsbruk.

2.2 British Standard testprosedyre

British Standard har utviklet en testprosedyre for sorbenter.⁴ I likhet med prosedyren utviklet av ASTM skilles det mellom ulike typer sorbenter. Disse er definert identisk som i ASTM standarden for Type I, II og III (se kap. 2.1). I tillegg har British Standard en ekstra sorbenttype som kalles agglomerater (Type IV). Dette defineres som sorbentmaterialer som kommer som tråder (vist i Figur 1).



Figur 1 Agglomerat-type sorbent. Slike kan brukes som en mopp på faste overflater, eller som vist på bildet for bruk i vann. Kilde: <https://www.deyuanmarine.com>

I standarden er det definert tre oljetyper som skal brukes ved all testing av sorbenter:

- **Diesel** brukes som petroleumsprodukt med lav viskositet.
- **Hydraulisk olje** brukes som petroleumsprodukt med medium viskositet.
- **Motorolje** brukes som petroleumsprodukt med høy viskositet.

Ved å bruke samme oljetype ved alle tester får man et svært godt sammenligningsgrunnlag. Da viskositet generelt er den avgjørende oljeegenskapen for sorpsjonsevne, kan man anta at en sorbent som virker bra for motorolje, også vil virke tilsvarende bra for en høyviskositets råolje, selv om disse kjemisk sett er veldig forskjellige. Til praktisk bruk kan det derfor argumenteres for at man ikke trenger å teste en sorbent for alle oljetyper, men at det er tilstrekkelig å dekke viskositetsområdet med noen få standardoljer.

2.2.1 Sorpsjonskapasitet for olje

Prosedyren her har noen likhetstrekk til prosedyren beskrevet av ASTM. Man dekker sorbentmaterialet med olje eller vann i et kar, lar det ligge til man antar at sorpsjonsmaksimum er nådd og lar det dryppe av. Sorpsjonskapasiteten bestemmes så ved veiing. Det er i tillegg beskrevet en prosedyre for å bestemme sorpsjonskapasitet volumetrisk, som er ment som et alternativ for absorbenter som sveller svært mye i kontakt med olje. Det er imidlertid ikke definert en svellegrad, slik som i ASTM standarden, som avgjør når en volumetrisk metode skal brukes. Behov for en volumetrisk måling vurderes derfor ved bruk av skjønn.

Type I sorbenter: En 10 x 10 cm bit dekkes med olje i et kar, til oljenivået er ca. dobbelt så høyt som selve sorbentmaterialet. Deretter avgjør man visuelt når materialet er mettet med olje. Når man tror materialet er mettet, skal man la det ligge i olje i ytterligere 2 minutter. Materialet henges deretter opp, for eksempel ved hjelp av en krok, og drypper av i 30 sekunder, før det veies.

Oljesorpsjon avgjøres deretter av formelen i Ligning 1:

$$\text{Oljesorpsjon} = \frac{(M_T - M_N - M_H)/\rho}{M_H}$$

Hvor M_T er vekten av sorbentmaterialet, med eventuell krok, etter oljesorpsjon, M_N er vekten av eventuell krok alene og M_H er den tørre vekten av sorbentmaterialet. I dette tilfellet deler man vekten på tettheten til testoljen, noe som gjør at sorpsjonskapasitet oppgis i liter olje per kilo sorbent (L/kg), i stedet for gram olje per gram sorbent (g/g), som er mest brukt i øvrig litteratur.

Type II sorbenter: 200 mL av materialet tilsettes i et nett. Nettets sorpsjonsevne av den aktuelle oljen er på forhånd bestemt. Videre tilsettes 4 cm olje til et kar som har en diameter som er minst dobbelt så stor som nettet. Deretter senkes nettet ned i oljen slik at alt sorbentmaterialet er dekket av olje. I likhet med Type I sorbenter, gjøres en subjektiv vurdering om når materialet er mettet med olje, og man lar så sorbenten ligge i oljen i ytterligere 2 minutter.

Man tar nettet med sorbent ut av oljen og lar det dryppe av i 30 sekunder, før nett med oljemettet sorbent veies. Sorpsjonskapasiteten kan deretter bestemmes ved hjelp av Ligning 1.

Type III sorbenter: Dette er materialer som i utgangspunktet er løse, men som holdes sammen av et ytre permeabelt materiale, for eksempel en lense. Slike materialer skal, så langt det lar seg gjøre, testes uten å modifisere sorbenten. Dersom sorbenten må nedskaleres for å få plass i testcellen, skal de kuttes til en passende størrelse for så å forsegle åpningene i det ytre materialet. Ved en slik nedskalering må man påse at fyllmaterialet er pakket omtrent like tett som opprinnelig.

Før man starter testen skal man både veie sorbenten og notere lengden. Man skal ha en kurv eller nett til å holde sorbenten. I likhet med Type I og II sorbenter, skal materialet dekkes med olje, men det skal ikke gjøres en subjektiv vurdering av når sorbenten er mettet med olje. I stedet skal sorbenten ligge i olje i 10 minutter, hvorpå man lar den dryppe av i 30 sekunder før den veies. Deretter gjentas denne prosedyren. Hvis vekten etter runde to er lik som etter runde én, kan man avslutte testen. Dersom vekten øker etter runde to, skal man fortsette med nye runder til man har nådd en stabil vekt. Sorpsjonskapasiteten bestemmes så av Ligning 1.

Type IV sorbenter: Det som skiller prosedyren for agglomerater fra øvrige sorbenttyper, er at det er definert en kontaktid på 5 minutter. Bakgrunnen for hvorfor det ikke

gjøres en vurdering på når materialet er mettet for akkurat slike sorbenter, er ikke forklart i testprosedyren. Man skal også røre i blandingen i løpet av de fem minuttene sorbenten ligger i oljen. Sorpsjonskapasitet bestemmes av Ligning 1.

2.2.2 Flyteevne

Bestemmelse av flyteevne for sorbenter er beskrevet i et eget dokument i British Standard prosedyren.⁵ Det benyttes et gjennomsiktig kar av passende størrelse som fylles med vann. Materialene (Type I – IV sorbenter) forberedes på samme måte som ved måling av sorpsjonskapasitet. For Type II materialer skal man i stedet for å bruke 200 mL materiale, dekke vannoverflaten med 1 cm sorbent.

Man skal observere sorbentmaterialet på vannoverflaten i minimum 8 timer. Dersom man observerer at materialet mister flyteevne, synker, eller tar inn vann i løpet av denne tiden, er materialet ikke egnet til bruk på vann.

2.3 US Coast Guard testprosedyrer

I en omfattende rapport fra 1971 er det forsøkt å lage prosedyrer, som var ment å kunne benyttes som standard prosedyrer i etterkant. Rapporten er utarbeidet for US Coast Guard, og beskriver prosedyrer for testing av:

- ↗ Sorpsjonskapasitet for olje og vann.
- ↗ Flyteevne.
- ↗ Oljeretensjon.

Fokuset var i utgangspunktet på bare tre egenskaper for å effektivisere testprosedyren. Etter en screening av disse egenskapene, ble de mest lovende sorbentene testet videre for sorpsjonsrate, mekanisk styrke, oljegjenvinningsegenskaper, vann- og temperaturpåvirkning, samt potensial for gjenbruk.

Flyteevne er en avgjørende egenskap for sorbenter til bruk i vann. Derfor er denne testet grundig, både i vann, olje og ved risting for å simulere dårlige værforhold. En sorbent skal kunne holde seg flytende over lang tid i alle forhold. Dersom sorbenten synker, vil det forårsake at mer forurensning spres til miljøet. Testen innebærer å riste en sorbent/vannblanding i seks timer, med og uten olje.

Sorpsjonskapasitet bestemmes ved å riste sorbenten i olje i 15 minutter. Testen gjennomføres både for tørr og våt sorbent. Det oppgis ingen dryppetid.

Sorpsjon av vann bestemmes ved risting av sorbent i sjøvann i 30 min og i 6 timer.

Bruk av risting vil øke sorpsjonsraten, og dermed minimere tidsbruken for hvert eksperiment. Videre er det definert én kontakttid som benyttes ved alle eksperimenter.

2.4 Testprosedyrer brukt i øvrig litteratur

Det er i øvrig vitenskapelig litteratur mest vanlig å benytte veiing av sorbenter før og etter sorpsjon for å bestemme kapasitet. Dette gjør at man ikke trenger å tilpasse testen for ulike sorbenter, utover å justere mengden sorbent etter hvor effektivt den sorberer oljen.

Prosedyren er da som følger;

- ↗ Sorbenten veies og plasseres i et nett, som også er veid.
- ↗ Nettet med sorbent plasseres i olje og/eller vann i en gitt tid.
- ↗ Nettet med sorbent veies etter oljesorpsjon.

Man finner deretter sorpsjonskapasitet med følgende Ligning 2:

$$\text{Sorpsjonskapasitet} = \frac{M_T - M_N - M_H}{M_H}$$

Hvor M_T er vekten av det oljevåte nettet med sorbent etter oljesorpsjon, M_N er vekten av det våte nettet alene og M_H er den tørre vekten av sorbentmaterialet. Det bør gjøres egne målinger for å bestemme opptaket av olje og vann til et tomt nett.

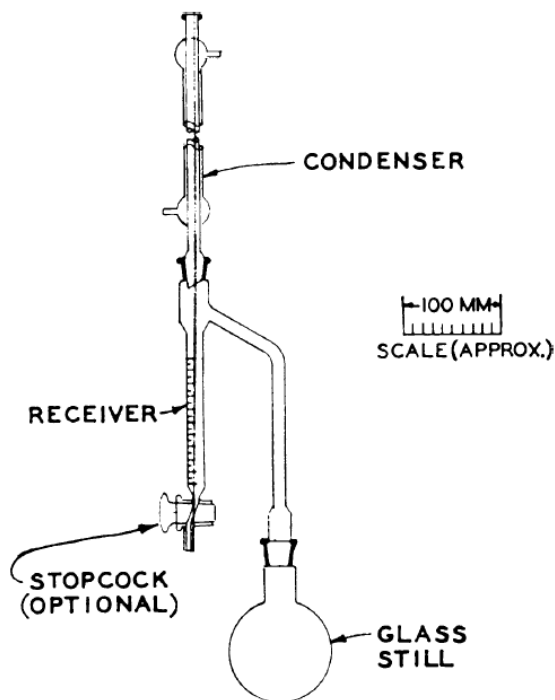
Dette er samme metode som er brukt i British Standard, med unntak av at man ikke deler vekten på oljens tetthet for å få resultatet i volum olje per vekt sorbent. Det er i arbeidet med en litteraturstudie ikke blitt registrert noen tilfeller hvor sorpsjonskapasitet er oppgitt i volum per vekt sorbent.² Derimot oppgis alltid sorpsjonskapasitet i gram sorbert olje per gram sorbent.

Variasjonen mellom studier er som regel:

- ↗ Dryppetid og kontakttid.
- ↗ Bruk av ristebord.

Som et alternativ til å bestemme vannopptak i et separat eksperiment, er det mulig å analysere hvor mye vann som er sorbert av et materiale som har vært i kontakt med både olje og vann.⁶ Dette gjøres ved destillasjon, og her finnes det også en standard testprosedyre utviklet av ASTM.⁷ Dette medfører at vannsorpsjon bestemmes i samme eksperiment som oljesorpsjon, og dermed i et mer realistisk scenario, hvor både sorpsjon av olje og vann forekommer. Dette krever imidlertid ekstra utstyr og tilgang til et kjemisk laboratorium.

Prosedyren innebærer å varme materialet under reflux med et organisk løsemiddel. Kondensert vann og løsemiddel samles opp sammen i bunnen av refluxkolonnen, og man kan dermed lese av hvor mye vann som har kondensert.



Figur 2 Apparat til bruk ved destillasjon av vann fra et sorbentmateriale som inneholder både olje og vann. Materialet plasseres i rundkolben med et organisk løsemiddel.

3 Vurdering av testprosedyrer

I de standardiserte testene måles vannsorpsjon og oljesorpsjon i to ulike tester. Det kan argumenteres at dette er en mer kvantitativ fremgangsmåte. Likevel er den ikke helt reell, da sorbenter gjerne påføres vannoverflater med en oljehinne over. I en standardisert test hvor både vann og olje er til stede blir det imidlertid vanskelig å evaluere tykkelsen på oljefilmen, og grad av vann-/oljekontakt vil dermed variere fra test til test. Skal man ha et godt sammenligningsgrunnlag, bør man derfor gjennomføre målinger av sorpsjonskapasitet under idealiserte forhold, som beskrevet i standard testprosedyrene. Det vil si at sorbentmaterialet dekkes med olje uten tilstedeværelse av vann ved test av sorpsjonskapasitet for olje.

Ved selve beregningen av oljesorpsjon kan man enten benytte veiing eller en volumetrisk måling. Ulempen med en volumetrisk måling av sorpsjonskapasitet er at det kan være svært stor forskjell mellom sorbenter. I en tidligere rapport sorberte den beste sorbenten mer enn 200 ganger mer olje per gram sorbent enn den dårligste.² Dette må også tas hensyn til dersom man veier sorbenten ved bestemmelse av sorpsjonskapasitet. Testen bør derfor modifiseres for sorbenter med forskjellig kapasitet ved å justere forholdet olje/sorbent.

En standardisert test gir et godt sammenligningsgrunnlag for ulike materialer, men den gjenspeiler ikke nødvendigvis praktiske aspekter rundt bruken av en sorbent i felt. For eksempel vil egenskapene til en lense påvirkes av det permeable ytre materialet, samt hvordan sorbentmaterialet er pakket inni lensen. Materialpakkingen vil også kunne påvirke retensjonskapasiteten til lensen, noe som er viktig å vurdere for den praktiske håndteringen av sorbenten i felt.

Det er derfor vurdert som hensiktsmessig å beskrive en 2-trinns testprosedyre, hvor trinn 1 gjenspeiler en mer idealisert test for kvantitativ sammenligning av materialer, mens trinn 2 i større grad ser på praktiske aspekter ved bruk av sorbenten i mest mulig realistiske omgivelser.

4 Forslag til testprosedyre for Kystverket

Testprosedyren for vurdering av sorbenter består av to trinn:

- TRINN 1, småskala – Fastsetting av verdier for sorpsjonskapasitet og flyteevne.
- TRINN 2, storskala – Testing av sorbenten slik den vil være i bruk. Her testes også oljeretensjon.

Trinn 1 kan utføres for alle typer sorbenter uavhengig av bruksområde, for eksempel vil den kunne gjøres for å teste både materialet i lenser og bark for å bestemme sorpsjonskapasiteten.

Resultatene fra Trinn 1 er ment å indikere hvilke sorbenter som egner seg for en større skala Trinn 2 test, samt å gi sammenlignbare og kvantitative data om de mest avgjørende egenskapene til sorbenten. Prosedyrene i Trinn 2 vil til dels tilpasses etter resultatene fra Trinn 1.

Hensikten med trinn 2 er å se om verdiene som observeres i trinn 1 er realistiske for sorpsjon av olje når sorbenten er i bruk.

4.1 Valg av olje

Det er viktig at sorbentene testes med oljer som har ulik viskositet, da dette er den egenskapen som i størst grad har betydning for opptak til sorbenter. Det bør velges oljer som dekker området fra lav til høy viskositet for hver test.

Sorbenter som er tiltenkt som beredskap mot ulykker langs kysten der utslippet er forventet å være et oljeprodukt, bør som et minimum testes for to oljeprodukter med ulike egenskaper for eksempel:

- Tung olje: bunkersolje/IFO180 eller tilsvarende,
- Lettere olje: diesel eller tilsvarende.

Sorbenter som er tiltenkt som beredskap mot ulykker som involverer tankskip som frakter olje bør som et minimum testes for de råoljene som finnes i området der lensene skal brukes. Generelt kan råoljer deles inn etter sammensetning, dette gjenspeiler prosesser som har foregått i reservoaret under dannelse av oljen. Råoljer kan dermed klassifiseres grovt i fire grupper:

- ↗ Naftenrik olje, for eksempel olje fra Gullfaksfeltet.
- ↗ Parafinholdig råolje, for eksempel olje fra Statfjordfeltet.
- ↗ Asfaltenholdig olje, for eksempel fra Granefeltet.
- ↗ Voksholdig olje, for eksempel fra Nornefeltet.

I tillegg skal viskositet og tetthet være kjent for oljetypene som brukes i testprosedyren. Om dette ikke er kjent skal det bestemmes når testen utføres. For bestemmelse av viskositet kan et viskosimeter brukes. For bestemmelse av tetthet brukes for eksempel vekt og målesylinder.

En olje sine egenskaper kan endres over tid blant annet på grunn av fordampning av flyktige komponenter. Ved gjenbruk av olje i tester bør det derfor vurderes om oljens egenskaper er endret i betydelig grad, spesielt dersom man ønsker sammenlignbare resultater mellom ulike sorbenter.

4.2 Sorbentmaterialer

Det må gjøres enkelte justeringer i testprosedyren, avhengig av sorbentmaterialets natur. I denne testprosedyren er det derfor definert tre sorbenttyper, Type I – III, som er definert identisk som i testprosedyrene beskrevet av ASTM og British Standard:

- ↗ **Type I sorbent:** Et materiale i form av for eksempel rull eller matte med tilstrekkelig størrelse og mekanisk styrke til å kunne håndteres både umettet og mettet med olje (for eksempel svampmaterialer).
- ↗ **Type II sorbent:** Et granulært materiale som kun kan håndteres med for eksempel kost eller spade.
- ↗ **Type III sorbent:** Et materiale som holdes sammen av et nett eller permeabelt materiale (for eksempel lenser eller puter).

4.3 TRINN 1, småskala – Fastsetting av verdier for sorpsjonskapasitet og flyteevne

Det er utformet en testprosedyre der verdien til følgende egenskaper fastsettes:

- ↗ Sorpsjonskapasitet for vann.
- ↗ Sorpsjonskapasitet for olje.
- ↗ Flyteevne.

Sorpsjonsraten for vann og olje vurderes stegvis. Hvis første runde med tester med kortere sorpsjonstid ikke viser at maksimal sorpsjonskapasitet nås, så fortsettes testene til man har nådd sorpsjonsmaksimum. For å sikre at resultatene er representative, skal hver sorbent testes tre ganger med samme olje under identiske forhold.

Testen krever følgende utstyr:

- ↗ 1 stykk beholder i glass.
- ↗ Overskålsvekt med to desimaler, som vist i Figur 3.
- ↗ Ristebord.



Figur 3 Eksempel på overskålsvekt.

Granulære Type II sorpsjonsmaterialer, og andre sorpsjonsmaterialer som er består av små biter, kan legges i nett for å holde materialet samlet under testen. Nettet skal være i metall, og det må gjøres en separat test der nettet blir veid før og etter at det er plassert i olje og en eventuell vekt av olje i nettet må trekkes fra det som antas å være sorpsjonskapasiteten til sorbenten i nettet.

4.3.1 Flyteevne

Her benyttes samme prosedyre som beskrevet i testprosedyren til British Standard,⁴ med unntak av at det her benyttes ristebord. For Type I og III materialer plasseres en passende bit oppi testbeholderen med vann. For Type II sorbenter dekkes hele vannoverflaten med et ca. 1 cm tykt lag med sorbent.

Sett ristebordet på en hastighet slik at overflaten får skvalp og små bølger, og la dette stå i minimum åtte timer. Dersom én av følgende observeres i løpet av testen, har materialet ikke bestått, og er dermed ikke egnet til bruk på vann:

- ↗ Det observeres at materialet har redusert flyteevne (for eksempel ligger dypere i vannet).
- ↗ Hele eller deler av materialet har sunket.

4.3.2 Sorpsjonskapasitet for vann

1. Fyll beholderen med vann.
2. Sett beholderen på ristebordet
3. Plasser sorbent i beholderen:
 - 3a. **Type I sorbenter:** Vei en 5 x 5 cm bit av materialet og plasser denne på vannoverflaten. Sorbenten skal flyte; det vil si at det ikke er nødvendig å presse materialet ned i vannet med for eksempel en vekt.
 - 3b. **Type II sorbenter:** Vei inn 5 g sorbent og plasser dette i et nett. Senk ned i vannbeholderen.
 - 3c. **Type III sorbenter:** Materialet skjæres til en passende størrelse. Endene av materialet hvor det er skjært må forsegles før testen, for eksempel med vanntett gummiteip. Man må påse at fyllmaterialet er pakket omtrent like tett som opprinnelig. Dersom sorbenten er for stor til at det er hensiktsmessig å skjære denne ned i størrelse, tas fyllmaterialet ut og testes alene, som for Type I eller Type II sorbenter, avhengig av fyllmaterialet.
4. Sett på ristebordet med en hastighet slik at overflaten får skvalp og små bølger. Alle sorbentmaterialer skal ligge i vannet i 24 timer, hvorpå sorbenten tas ut av vannbeholderen. La vann dryppe av sorbenten i 1 minutt ved å henge fra krok, og vei sorbenten (for Type II sorbenter må også nettet veies).

Sorpsjonskapasiteten finnes ved å bruke Ligning 1, vist i Kapittel 2.

4.3.3 Sorpsjonskapasitet for olje

- 1a. **Type I sorbenter:** Vei en 5 x 5 cm bit av materialet, og plasser denne i en tom testbeholder.
- 1b. **Type II sorbenter:** Vei inn 5 g sorbent og plasser dette i et nett. Nettet er veid alene på forhånd, både tørr og etter å ha blitt fuktet med olje.
- 1c. **Type III sorbenter:** Materialet skjæres til en passende størrelse. Endene av materialet hvor det er skjært må forsegles før testen, og man må påse at fyllmaterialet er pakket omtrent like tett som opprinnelig. Dersom sorbenten er for stor til at det er hensiktsmessig å skjære denne ned i størrelse, tas fyllmaterialet ut og testes alene, som for Type I eller Type II sorbenter, avhengig av fyllmaterialet. Plasser materialet i tom testbeholder.

2. Fyll olje i testbeholderen slik at det dekker sorbentmaterialet helt. Dersom oljenivået synker grunnet oljesorpsjon, må det etterfylles med olje slik at sorbenten til enhver tid er dekket med olje.
3. Etter henholdsvis 15, 30 og 60 minutter tas sorbenten ut av beholderen. La olje dryppe av sorbenten i 1 minutt. Dette kan gjøres ved å henge materialet fra en krok over et kar som samler opp olje. Vei deretter sorbenten (for Type II sorbenter må også nettet veies). Bruk et passende kar på vekten til å ha det oljevåte materialet i. Dersom vekten ikke har økt fra 15 til 30 minutter, eller fra 30 til 60 minutter, kan testen avsluttes. Dersom vekten derimot fortsetter å øke opp til 60 minutter i olje, skal materialet ligge i olje i 60 minutters intervaller helt til vekten ikke lenger øker.

4.3.4 Etterarbeid

Sorbentene dokumenteres med foto før de legges i beholderne og når de er tatt opp og veid. Det er viktig at det fra fotoet kan identifiseres hvilken sorbent som er brukt og hvilken test som er gjennomført/skal gjennomføres. Dette kan gjøres ved å merke veieskipet slik at det er synlig på foto eller legge et ark under med tekst som identifiserer sorbent og test.

For at resultatene skal kunne gi best mulig informasjon og kunne brukes som grunnlag for vurderinger av egnethet, eller til å sette opp et PCA/PLS plot som viser hvilke sorbenter som vil være bedre egnet for ulike oljetyper, bør det innhentes verdier for de parametere som er satt opp nedenfor:

- Sorbenttype, navn.
- Tetthet av sorbent.
- Vekt av sorbent før test.
- Vekt av sorbent etter ferdig test.
- Antall minutter til maksimal metning (sorpsjonsrate).
- Flyteevne.
- Oljetype, navn.
- Tetthet av olje.
- Viskositet til olje.

Tabell 1 viser et eksempel som kan benyttes når tester utføres.

Tabell 1 Eksempel på tabell som kan brukes ved utføring av tester

Sorben t	Material e	Tetthe t sorben t (kg/L)	Vekt sorben t før test (g)	Vekt sorbent etter test (g)			Sorpsjonsra te (min til maks. metning)	Flyteevn e	Oljetyp e	Tetthe t olje (kg/L)	Viskosit et olje (mm ² /s)
				Test I	Test II	Test III					
Oil- sorb	LLDPE	0,95	4,75	6,12 (15 min)	15,03 (30 min)	36,47 (60 min)	Ikke funnet	Ja	Diesel	0,84	2,05 (20°C)
Oil- sorb	LLDPE	0,95	4,75	36,52 (60 min)	36,43 (120 min)	36,55 (180 min)	60	Nei	Diesel	0,84	2,05 (20°C)

4.4 TRINN 2, storskala – Testing av sorbenten slik den vil være i bruk

4.4.1 Sorpsjonskapasitet for olje

4.4.1.1 Type I sorbenter (matter / rull) og Type III sorbenter (sorbenter i nett / lenser)

Storskala test av sorbenter kan utføres i større kar eller bassenger. Karet fylles med sjøvann slik at det er tilstrekkelig med plass til olje og sorbenter over vannflaten.

Det er ønskelig at det er bevegelse på væska når sorpsjonskapasiteten testes. Dette kan for eksempel gjøres ved å senke en sirkulasjonspumpe ned i karet.

Mengden olje som tilsettes karet skal tilsvare sorpsjonskapasiteten funnet i Trinn 1. Det vil si at minimum mengde olje som tilsettes beregnes ut ifra Ligning 3:

$$\text{Minimum olje til test} = \frac{(q \times V_s)/1000}{\rho}$$

Hvor q er sorpsjonskapasitet, V_s er tørrvekt av sorbenten og ρ er tettheten til oljen. Dette gjøres for å sikre at det er tilstrekkelig olje til stede til at sorbentmaterialet kan mettes med olje, men samtidig ikke unødvendig store mengder olje. Dersom trinn 1 ikke er gjennomført, må man sørge for at det til enhver tid er tilstrekkelig olje i bassenget, og eventuelt etterfylle ved behov. Det skal registreres hvor mye olje som tilsettes bassenget.

Sorbenten veies før den plasseres i karet med olje og vann. Det kan brukes en hengevekt dersom dette er nødvendig. Etter 60 minutter tas sorbenten ut og drypper av seg i 2 minutter før den veies. For større lenser benyttes en kran med hengevekt. Sorbenten plasseres deretter tilbake i karet i nye 60 minutter, etterfulgt av veiing. Dette gjentas i ytterligere to runder (totalt 4 x 60 minutters oljeeksponering). Dersom vekten av sorbenten ikke lenger øker, kan testen avsluttes. Dersom vekten av sorbenten fortsetter å øke, lar man sorbenten ligge i olje over natten, i totalt 24 timer.

Ved å plote mengde sorbert olje som en funksjon av tid, kan sorpsjonsraten bestemmes.

4.4.1.2 Type II sorbenter (granulære sorbenter)

Til testen trenger man et tilstrekkelig finmasket nett som kan dekke bunnen av et 2 x 2 m kar. Karet må ha mulighet til å drenere ut og samle opp overskuddsolje.

Nettet veies og plasseres ut i karet. En veid mengde sorbentmateriale legges i nettet. Det bør benyttes minimum 2 L sorbentmateriale. Deretter helles 1 L olje over sorbentmaterialet.

Man bearbeider sorbenten slik man ønsker å benytte sorbenten i felt, for eksempel ved hjelp av en kost.

En effektiv sorbent bør kunne sorbere minimum sin egen vekt i olje. Det forventes derfor at sorbenten etter bearbeiding i hovedsak bør kunne sorbere den første literen med olje. Når det ikke lenger er tilstrekkelig fri olje tilgjengelig for absorpsjon, tilsettes en ny liter med olje.

Prosedyren gjentas til man ikke lenger klarer å sorbere mer olje med sorbenten. Nettet med sorbentmateriale løftes deretter opp, og man lar olje dryppe av i 2 minutter før man noterer vekten. Det kan benyttes en hengevekt.

4.4.2 Retensjonskapasitet

4.4.2.1 Type I sorbenter (matter / rull) og Type III sorbenter (sorbenter i nett / lenser)

Etter at testen for sorpsjonskapasitet for olje er fullført, plasseres linsen i et tomt kar som er veid på forhånd. Dersom det etter en time er lekket ut en synlig mengde olje i karet, heises sorbenten ut av karet med en kran/krok med montert hengevekt, og veies. Dersom det ikke er en betydelig mengde olje som er lekket ut av sorbenten etter en time, venter man en time til før man sjekker igjen. Denne prosedyren gjentas hver time i totalt 4 timer. Deretter lar man karet med sorbent stå over natten, slik at linsen har fått renne av i totalt 24 timer. Man registrerer til slutt vekten av sorbenten.

Ut ifra vekten av den tørre og oljemettede sorbenten (4.4.1), og kunnskap om oljens tetthet, beregnes det opprinnelige volumet av olje i linsen. En eventuell reduksjon i vekt under retensjonskapasitetstesten regnes på samme måte om til liter olje (Vekt / tetthet = volum olje). Basert på disse tallene kan man så beregne hvor stor andel av oljen som har lekket ut etter 1, 2, 3, 4, og 24 timer.

Dersom det observeres at større mengder olje lekker ut fra sorbenten etter kort tid, kan man nedjustere tidsintervallene etter behov.

4.4.2.2 Type II sorbenter (granulære sorbenter)

Testen gjøres identisk som for Type I sorbenter, men det granulære sorbentmaterialet skal være plassert i nett under hele testen.

4.4.3 Opptak av vann – tørr sorbent

Testen utføres i større kar eller bassenger. Her er testene beskrevet for et kar av størrelse 2 x 2 meter og 0,5 meter dybde. Totalt volum er da 2 m³. Karet fylles 2/3 opp med sjøvann og en veid sorbent plasseres i karet. Etter ca. 24 timer tas sorbenten ut av karet, får dryppe av seg i 2 minutter, og veies. Sorbenten plasseres deretter tilbake i karet i nye 24 timer. Dette gjentas i minimum 2 dager og maksimalt 5 dager. Testen kan avsluttes tidlig dersom:

- ↗ Vekten av sorbenten ikke lenger øker.
- ↗ Sorbenten synker helt eller delvis.

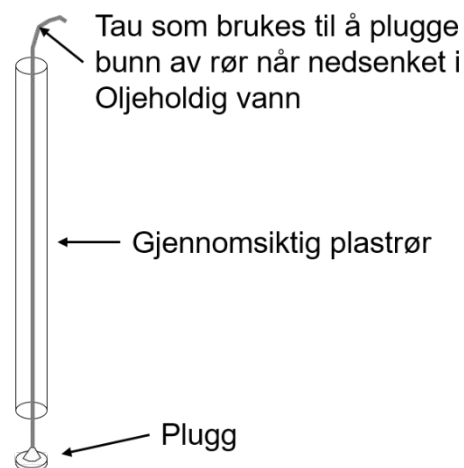
4.4.4 Opptak av vann – oljemettet sorbent

Formålet med testen er å gi en kvalitativ vurdering på om vann over tid vil fortrenge olje inne i en lense etter lang liggetid i vann. Testen er et alternativ til testen for retensjonskapasitet (4.4.2). En kvantitativ vurdering av dette er mulig i liten skala ved destillasjonsmetoden beskrevet i kapittel 2.4. I større skala er det derimot ingen hensiktsmessige metoder for å kvantitativt kunne bestemme hvor mye olje som blir erstattet av vann over tid.

Testen gjennomføres etter at lensen på forhånd er blitt mettet med olje, som beskrevet i kapittel 4.4.1. Den oljemettede lensen veies før den plasseres i et kar/basseng med rent vann i en uke.

Man registrerer til slutt vekten av sorbenten og gjør en subjektiv vurdering på hvor mye olje som har lekket ut. Dersom en større mengde olje har lekket ut, vil man forvente en betydelig nedgang i vekt, dersom sorbentmaterialet ikke har tatt til seg vann. En nedgang i vekt betyr derfor at sorbentmaterialet har sluppet ut olje uten å ha tatt inn vann. Er derimot vekten omtrent lik, til tross for at større mengder olje har lekket ut av sorbenten, vil det indikere at vann har fortrenget olje inne i lensen. Dersom sistnevnte scenario er tilfelle, vil flyteevnen til materialet over tid forringes, og lensen er ikke egnet til å ligge i vann over lengre tid.

Dersom det har lekket ut en større mengde olje som er jevnt fordelt over vannoverflaten, kan man ved hjelp av en fri fase prøvetaker måle tykkelsen på oljefilmen, og dermed estimere hvor mange liter olje som er sluppet ut av sorbenten basert på karetets areal. Figur 4 viser hvordan dette gjøres.



Figur 4 En fri fase prøvetaker kan brukes til å finne tykkelsen på oljefilmen på vannoverflata og dermed brukes til å estimere det totale volumet olje i karet.

Til slutt skjæres lensen på tvers, dersom lensematerialet for eksempel består av et sammenhengende eller sammenrullet materiale. Dersom lensematerialet er granulært,

klippes linsen forsiktig opp slik at man kan gjøre en vurdering av materialet som er ytterst, og det som ligger innerst i linsen.

Man kan her både gjøre en vurdering av inntrengingsgrad av olje i linsen, og se om det er synlig vanninntrenging, ved observasjon av for eksempel lysere områder i materialet ytterst i linsen.

5 Referanser

1. Bazargan, A.; Tan, J.; McKay, G., Standardization of Oil Sorbent Performance Testing. 2015; Vol. 43.
2. Christian Totland, Ingvild F. Størdal., Heidi Knutsen Litteraturstudie om sorbenter; Norges Geotekniske Institutt: www.kystverket.no, 2019.
3. Bazargan, A.; Hui, C. W.; McKay, G., Marine residual fuel sorption and desorption kinetics by alkali treated rice husks. Cellulose 2014, 21 (3), 1997-2006.
4. Materials used for the control of liquid spillages - Part 1: Determination of sorbency; British Standards Institution: <https://www.bsigroup.com/>, 2004.
5. Materials used for the control of liquid spillages - Part 2: Determination of water repellency or buoyancy for hydrophobic (oil sorbent) materials; British Standard: British Standard, 2000.
6. Bayat, A.; Aghamiri, S., Oil Sorption by Synthesized Exfoliated Graphite (EG). 2008; Vol. 5.
7. D95-13: Standard Test Method for Water in Petroleum Products and Bituminous Materials by Distillation. ASTM International, West Conshohocken, PA: www.astm.no, 2018.

Dokumentinformasjon/Document information		
Dokumenttittel/Document title Testprosedyre for sorbenter		Dokumentnr./Document no. 20180838-02-R
Dokumenttype/Type of document Rapport / Report	Oppdragsgiver/Client Kystverket	Dato/Date 2019-04-29
Rettigheter til dokumentet iht kontrakt/ Proprietary rights to the document according to contract Oppdragsgiver / Client		Rev.nr.&dato/Rev.no.&date 0 /
Distribusjon/Distribution ÅPEN: Skal tilgjengeliggjøres i åpent arkiv (BRAGE) / OPEN: To be published in open archives (BRAGE)		
Emneord/Keywords Olje, oljesøl, testprosedyre, sorbenter, lenser		

Stedfesting/Geographical information	
Land, fylke/Country	Havområde/Offshore area
Kommune/Municipality	Felt navn/Field name
Sted/Location	Sted/Location
Kartblad/Map	Felt, blokknr./Field, Block No.
UTM-koordinater/UTM-coordinates Sone: Øst: Nord:	Koordinater/Coordinates Projeksjon, datum: Øst: Nord:

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	2019-04-29 Christian Totland	2019-04-28 Paul S. Cappelen		

Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release	Dato/Date 29. april 2019	Prosjektleder/Project Manager Christian Totland
--	------------------------------------	---

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

