

Topptetting av avfallsdeponi: tettemateriale

Notat-tittel:	Beskrivelse av filterkake fra jordvaskeanlegg til bruk som tettesjikt i topptetting
Dato:	2025-02-05
Rev.nr./ Rev.dato:	0 /
Utarbeidet av:	Gudny Okkenhaug (NGI), Ida Nilsson (AF Decom)
Kontrollert av:	Helen French (NMBU), Eivind Wiik Ånes (NGI)

Innhold

1	Innledning.....	2
1.1	Bakgrunn 1	2
1.2	Krav til tettesjikt i deponi topptetting.....	3
2	Opphavet til filterkake: Jordvaskeanlegg.....	3
2.1	Vaskeanlegget.....	3
3	Geotekniske egenskaper.....	5
3.1	Korngradering, vanninnhold og plastisitet	5
3.2	Hydraulisk konduktivitet	5
4	Forurensningsnivå og miljørisiko	8
4.1	Innhold av metaller og organiske komponenter i faststoff.....	8
4.2	Utlekkingspotensiale	9
4.3	Effekt på sigevannet ved Skjördalen deponi	10
4.4	Effekt på drensvannet over tettesjiktet	11
5	Oppsummering	12
6	Referanser.....	12

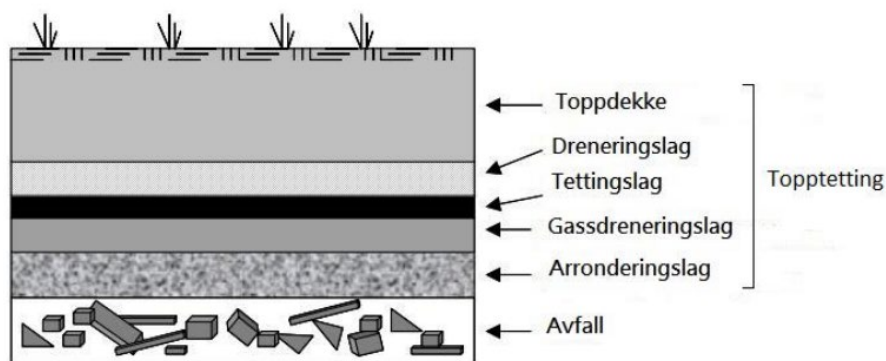
Vedlegg

Vedlegg A:	Prosedyre for mottak av masser ved Rimol
Vedlegg B:	Compaction procedure and documentation of properties of impermeable barriers. Internal earthresQue memorandum 8 th May 2023.

1 Innledning

1.1 Bakgrunn 1

Innherred Renovasjon IKS (IR) har stort fokus på å redusere mengden sivevann fra sitt deponi i Skjördalen. Å avslutte deler av deponiet etter hvert som det bygges er derfor noe IR har som mål for å redusere mengden nedbør som fører til sivevannsdannelse. I tillegg er det viktig å få tettlaget så tett som mulig slik at nedbør ikke trenger gjennom deponiet etter at det er avsluttet. Toppdekke bygges opp i tråd med veileder fra Sirk Norge, se Figur 1-1 (Avfall Norge, 2015).



Figur 1-1 Prinsippskisse for oppbygging av toppdekke for deponi (Avfall Norge, 2015)

Deponiet i Skjördalen består i dag av 5 byggetrinn som totalt har et areal på 67 000 m². IR disponerer imidlertid i tillegg et areal på ca 60 000 m² som man kan utvide deponiet på. Innherred Renovasjon planlegger ny topptetting av deler av sitt deponi (Trinn 1-3).

IR er partner i earthresQue som er et senter for forskningsdrevet innovasjon innen nyttiggjøring og gjenvinning av avfall og overskuddsmasser. En sentral aktivitet i senteret er forskning knyttet til alternative tettematerialer (geologiske barrierer) for deponi. AF Decom er også partner i senteret, og deres filterkake fra jordvaskeanlegg er ett av materialene som inngår i arbeidet med geologiske barrierer. Høyt leirinnhold og lavt vanninnhold gjør at filterkakene er tette, med lav permeabilitet.

Det planlegges å etablere topptettingen ved IR som en pilot hvor filterkake fra AF Decoms jordvaskeanlegg benyttes som tettemateriale. AF Decom har jordvaskeanlegg i Trondheim (Rimol) og Nes. Prosessen ved de to anleggene er i hovedsak lik, og filterkakens egenskaper vil derfor være relativt like. Materialet har blitt testet i både laboratorie- og feltskala, og inngår som ett av materialene i PhD arbeidet som gjennomføres i SFI-earthresQue. Hensikten med dette notatet er en kortfattet sammenstilling av materialets egenskaper basert på foreliggende resultater.

1.2 Krav til tettesjikt i deponi topptetting

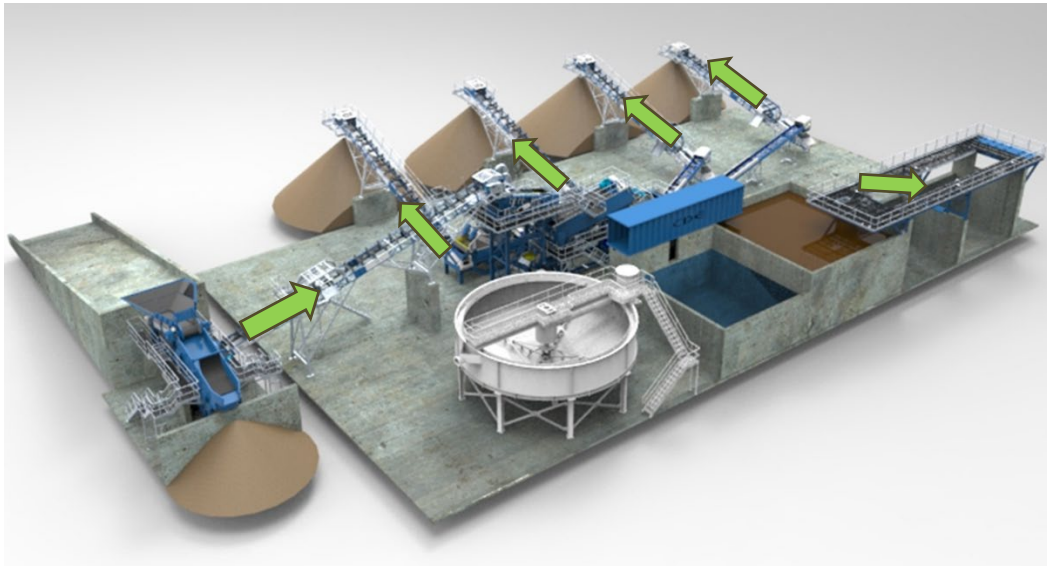
Det stilles ingen spesifikke krav til topptetting av deponi annet enn at det kan komme krav om dette hvis topptettingen anses som nødvendig for å forebygge sigevannsdannelse. Det er naturlig å ta utgangspunkt i kravet til tetthet i bunn- og sidetettingen som er en hydraulisk ledningsevne, K , på henholdsvis 10^{-9} m/s for deponi for farlig og ordinært avfall, og 10^{-7} m/s for inert avfallsdeponi. Ifølge veilederen for avslutning og etterdrift av deponier (Avfall Norge, 2015) tilsvarer en mettet hydraulisk ledningsevne $K = 1 \times 10^{-9}$ m/s, denne hydrauliske ledningsevnen vil bety en maksimal gjennomstrømmende vannmengde på ca 30 mm/år. Over dette laget vil et beskyttelseslag sørge for at overskytende vann strømmer horisontalt over tettlaget – og være upåvirket av avfallet lagret under tettlaget.

Topptettingens funksjon vil også kunne være å redusere oksygentilførsel, for å unngå uønskede endringer i forholdene i deponiet. I tillegg vil topptettingen kunne benyttes for å lede evt. gass, samt at topptettingen hindrer fysisk kontakt med avfallet. For at tettesjiktets egenskaper skal beholdes over tid er det også viktig at tettesjiktet ikke utsettes for frost og tørke, og at tettesjiktet og underlaget har en viss stivhet slik at det ikke oppstår store skjevsetninger. Derav kreves det en godt planlagt topptettingsoppbygging og godt utført bygging

2 Opphavet til filterkake: Jordvaskeanlegg

2.1 Vaskeanlegget

Jordvaskeanleggene ved AF Decom (Rimol, Nes) består av ulike trinn, hvor ulike fraksjoner sorteres ut eller vaskes ut, samt et slambehandlingsanlegg (Figur 2-1).



Figur 2-1 Prinsippskisse for jordvaskeanlegg til AF-Decom. (Kilde: AF Decom). Grønne piler indikerer masser inn og fraksjoner ut av anlegget.

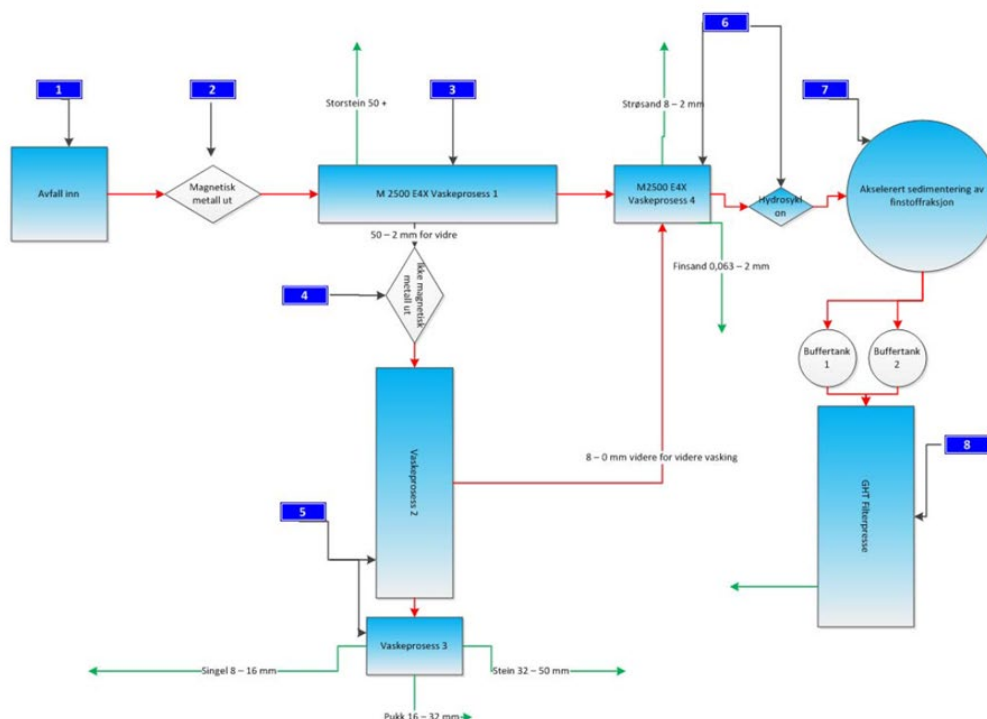
Gjenvinningsanlegget bruker en våtseparasjonsprosess hvor steinmaterialene i gravemassene som behandles skilles ut med hjelp av vanddyser og sikter. I tillegg tas metaller ut med magneter og plast, tre og andre lette materialer skilles ut i en flotasjonsprosess.

Finstoffet ($< 63 \mu\text{m}$) tas ut ved hjelp av hydrosyklon, som deretter behandles med flokkuleringsmidler og pH-regulerende stoffer. Slampartiklene avvannes i en filterpresse til filterkaker. Her presses vannet ut slik at vanninnholdet reduseres fra ca. 50 % til ca 20 %. Figur 2-2 viser bilde av filterpressen og filterkaken. Forurensingsnivået i filterkakene vil avhenge av hvilke masser som behandles i vaskeanlegget (se kapittel 4.1).



Figur 2-2 Bilder av filterpresse (venstre) og filterkake (midt, høyre) (Kilde: AF Decom)

Vannet som presses ut av slammet i filterpressen går videre til et vannbehandlingsanlegg og det rensede vannet føres deretter tilbake i vaskeanlegget. I renseprosessen tilsettes jernsalter. Gjenbruk av vann til jordvaskeanlegget medfører dermed en tilførsel av jern, som felles ut som jern(hydr)oksider til materialet som går til filterpresse. En oversikt over ulike anleggskomponenter er vist i figur 2-3.



Figur 2-3 Oversikt over ulike anleggskomponenter i vaskeprosessen. (Kilde: AF Decom).

3 Geotekniske egenskaper

3.1 Korngradering, vanninnhold og plastisitet

En oversikt over leirinnhold, vanninnhold, flytegrense og plastisitetsindeks for filterkake fra jordvasking er vist i Tabell 1.

Tabell 1 Oversikt over geotekniske data (leirinnhold, vanninnhold, flytegrense og plastisitets indeks. (Ånes et al. 2024)

	Intervall	Gjennomsnitt
Leirinnhold ($< 2\mu\text{m}$)	19 – 30 %	25 %
Vanninnhold, (geoteknisk, w)	31 – 38 %	35 %
Optimalt vanninnhold (standard proctor optimum)	28 – 30 %	
Flytegrense (vanninnhold hvor materialet begynner å oppføre seg mer som en væskee)	53 – 56 %	55 %
Plastisitet index (PI)	-	25 %

Korngraderingen, herunder finstoffinnholdet (partikler $< 63\ \mu\text{m}$) til materialet, har betydning for materialegenskaper som permeabilitet, hvor drenerende materialet er, om det er telefarlig og hvor lett det er å f.eks. pakke materialet m.m. Høyt silt ($2\text{--}63\ \mu\text{m}$) og leirinnhold ($< 2\ \mu\text{m}$) gir normalt lavere hydraulisk ledningsevne i materialet, og materialer som skal benyttes til å konstruere impermeable barrierer må normalt ha et høyt finstoffinnhold. Kornfordelingsanalyser på filterkakene fra AF sine vaskeanlegg viser et gjennomsnittlig leirinnhold på 25% (mellom 19 og 30% leirinnhold). Filterkaken karakteriseres som en siltig leire. På grunn av høyt siltinnhold klassifiseres filterkaken som telefarlig, noe som må hensyntas i bruken av filterkake som materiale i en deponikonstruksjon.

Filterkaken har et relativt høyt **vanninnhold** (31-37%). På grunn av høy flytegrense ligger optimalt vanninnhold (proctor optimum) også høyt (sammenlignet med eksempelvis tørrskorpeleirer). Feltforsøk med bruk av middels tung bulldozer (25 tonn, grunntrykk $\sim 35\ \text{kPa}$) og vals har vist at filterkaken tåler å ha et høyere vanninnhold enn 30%, som anses som øvre grensefor tørrskorpeleirer, og fremdeles oppnå tilfredsstillende komprimering og hydraulisk ledningsevne («tetthet»).

Plastisiteten til filterkaken kan karakteriseres som høy med en plastisitets indeks (PI) på 25% (kohesivt materiale). Dette tilsvarer anbefalt PI fra litteraturen for geologiske deponibarrierer. Filterkaken kan karakteriseres som en høyplastisk leire, noe som indikerer lav risiko for erosjon. Målte konsistensverdier viser at materiale godt lar seg bearbeide.

3.2 Hydraulisk konduktivitet

Det foreligger en rekke tester av filterkakens permeabilitet (hydraulisk konduktivitet, k) både fra laboratoriet og i felt. En oversikt over resultatene er gitt i Tabell 2. Forsøkene er gjort ved

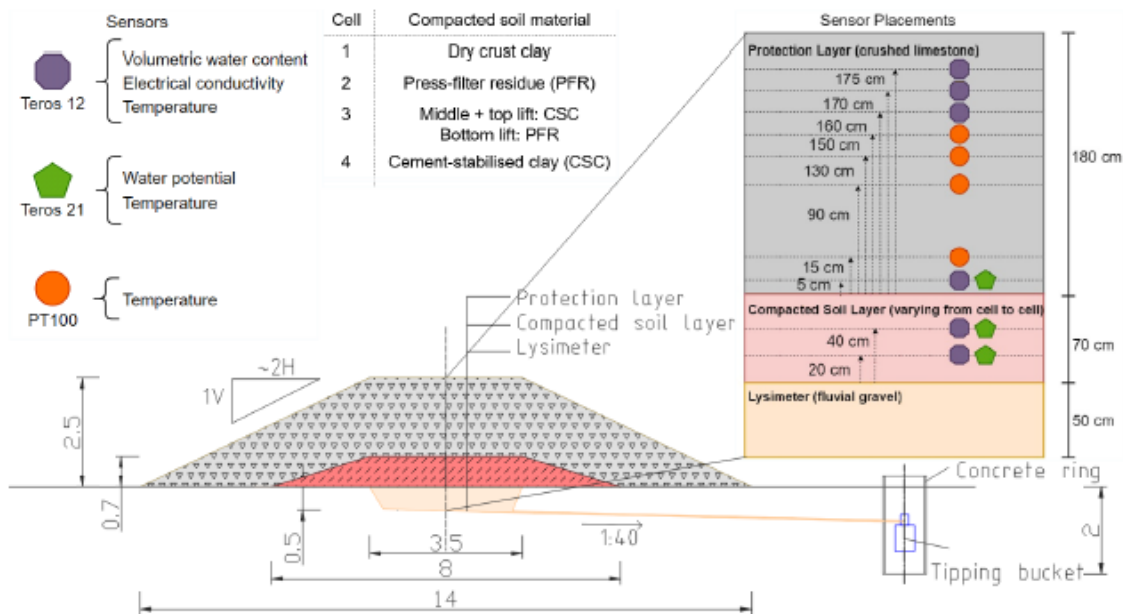
ulike isotrope spenningsnivå, dvs. prøven er konsolidert/sammenpresset ved ulike omslutningstrykk før permeabilitetsforsøket ble utført. Typisk gir høyere spenning lavere hydraulisk ledningsevne. En overlaging av 1.5-2 m med sprengstein vil typisk gi vertikalspenninger rundt 40 kPa, som vil si at dette spenningsnivået er mest relevant for tettesjikt i topptetting.

Tabell 2 Oversikt over resultater for filterkakens hydrauliske konduktivitet (k) målt i laboratorium og felt (Ånes et al. 2024; Ritter et al. 2023; NGI, 2020). Spenningen/trykket som prøvene er konsolidert ved er gitt i parentes.

	Hydraulisk konduktivitet, K	Kommentar
Laboratorietester	$1.9 \cdot 10^{-9}$ m/s (20 kPa) $4,11-4,6 \cdot 10^{-10}$ m/s (112 kPa) $2,4-2,59 \cdot 10^{-10}$ m/s (395 kPa) $1,28-1,47 \cdot 10^{-10}$ m/s (1275 kPa)	Test kjørt med IL apparat ved ulike laster (vertikal stress/last , σ_v).
Komprimeringsforsøk, felt	$1,5 \cdot 10^{-9}$ m/s (40 kPa) $6,8 \cdot 10^{-10}$ m/s (160 kPa) $3,9 \cdot 10^{-10}$ m/s (640 kPa)	Sylinderprøver (72 mm) fra komprimeringsforsøk i felt, Testet på lab i økometer-celler.
Pilot, Langøya (2022 – 2025)	$1.3-2.3 \cdot 10^{-9}$ m/s (20 kPa) $1,0-1,6 \cdot 10^{-9}$ m/s (40 kPa) $< 1 \cdot 10^{-9}$ m/s	Inntakte sylinderprøver fra pilot (72 mm). Testet på lab i ødometer-celler. Basert på perkolerende vannmengder gjennom filterkaken i pilot, , rundt 12 mm/år. Bergnet ved Darcys lov.

Feltforsøkene inkluderer komprimeringsforsøk og flerårig pilot på NOAH sitt deponi på Langøya. *Komprimeringsforsøket* ble gjennomført med typisk utstyr for komprimering av tettesjikt (bulldoser, Caterpillar D6) med 6-8 overfarter, med 0,2 m tykke sjikt og en totaltykkelse på 0,6 m etter komprimering. Sylinderprøver ble tatt fra testfeltet for laboratorietesting. Vanninnhold og tetthet ble målt in-situ ved hjelp av troxler.

Pilottesten (Figur 3-1 og Figur 3-2) kan anses som et nedskalert toppdekke med samme oppbygging og lagmektigheter som brukes på Langøya med impermeabelt tettesjikt overlågt av et beskyttelsessjikt for beskyttelse mot frost og uttørring (knust kalkstein). I piloten testes effekten av tettesjikt bestående av tørrskorpeleire, filterkake fra jordvaskeanlegg og utgravd kalksement stabilisert leire i ulike celler. Under hver celle er det et lysimeter-system med tipping bucket som fanger opp og måler vann-volumet som perkolerer gjennom topptettingen kontinuerlig.



Figur 3-1 Skisse av pilot for testing av tettematerialer i topptetting for deponi. (Ånes et al. 2024)



Figur 3-2 Bilder fra etablering av pilot på Langøya i 2022. Øverst: etablering av lysimeter. Det innrammede bilde i høyre hjørnet viser sluket i bunn ved kontroll etter at lysimeter (plastmembran) var lagt på plass. Et rør fører vann fra lysimeteret til betongkum med tipping bucket for måling av vannmengder. Nederst (venstre): Komprimering av første av tre lag. Nederst (høyre): Overflate av tettesjikt etter valsing av siste lag. (Foto: Ånes, 2022).

4 Forurensningsnivå og miljørisiko

4.1 Innhold av metaller og organiske komponenter i faststoff

Forurensningsnivå i filterkakene vil være avhengig av forurensningsgraden av massene som behandles i anlegget. Tabell 3 viser resultater fra kjemiske analyser av faststoff for prøver tatt ut over en periode på 2 måneder (2020, n= 6). Tabell 4 viser kjemiske analyser for 2021 – 2024 (gjennomsnitt av 3-4 prøver fordelt over hele året).

Tabell 3 pH og faststoffinnhold av metaller, alifater, PAH og PCB i prøver av filterkake fra jordvasking (AF Decom Rimol, 2020) (NGI, 2020)

	Enhet	Gjennomsnitt (n=6)	STD
pH		8,4	0,2
Arsen (As)	mg/kg TS	10	1,6
Bly (Pb)	mg/kg TS	79	17
Kadmium (Cd)	mg/kg TS	0,6	0,1
Kobber (Cu)	mg/kg TS	64	10
Krom (Cr)	mg/kg TS	48	1
Kvikksølv (Hg)	mg/kg TS	0,3	0,1
Nikkel (Ni)	mg/kg TS	49	2
Sink (Zn)	mg/kg TS	218	29
Alifater (C5 – C35)	mg/kg TS	67	21
BTEX	mg/kg TS	<	
PAH _{sum16}	mg/kg TS	9,5	7
PCB _{sum7}	mg/kg TS	0,014	0,007

Tabell 4 pH og faststoffinnhold av metaller, alifater, PAH og PCB i prøver av filterkake fra jordvasking (AF Decom Rimol, 2021-2024)

	Enhet	Gj.sn. 2021 (n=4)	STD	Gj.sn. 2022 (n=3)	STD	Gj.sn. 2023 (n=4)	STD	Gj.sn. 2024 (n=3)	STD
Arsen (As)	mg/kg TS	9,4	3,0	9,7	2,1	7,8	1,6	7,3	0,5
Bly (Pb)	mg/kg TS	238	167	78	13	51	23	51	17
Kadmium (Cd)	mg/kg TS	0,36	0,06	0,31	0,04	0,3	0,02	0,3	0,06
Kobber (Cu)	mg/kg TS	112	66	80	9,2	64	3,8	91	12,7
Krom (Cr)	mg/kg TS	96	16	91	10	89	10	88	7,8
Kvikksølv (Hg)	mg/kg TS	0,25	0,2	0,22	0,01	0,2	0,08	0,3	0,12
Nikkel (Ni)	mg/kg TS	67	7,4	66	6,7	68	8,8	62	4,6
Sink (Zn)	mg/kg TS	250	68	230	46	168	29	323	31
Alifater (C12 – C35)	mg/kg TS	53	20	66	31	115	97	79	32
BTEX	mg/kg TS	<	-	<	-	<	-	<	-
PAH _{sum16}	mg/kg TS	8,3	4,2	7,5	2,1	6,3	4,2	8,0	2,6
PCB _{sum7}	mg/kg TS	0,06	0,01	0,18	0,27	0,04	0,02	0,1	0,13

De kjemiske analysene av totalinnholdet tungmetaller i filterkakeprøvene viser at konsentrasjonene ligger lavere eller på nivå med normverdier for jord. Unntaket er krom som ligger godt innenfor tilstandsklasse 2 (god) og enkelte prøver for bly (2021). Gjennomsnittlig PAH konsentrasjonen varierer og ligger for enkelte år (2020, 2021) over normverdien (2 mg/kg). Benso(a)pyren ligger på 0,6 mg/kg. Gjennomsnitt for sum PCB7 overskrider normverdi (0,01 mg/kg), men ligger godt innenfor tilstandsklasse 2 (0,01-0,5 mg/kg). pH er svakt alkalisk og ligger på 8,4. Innholdet av totalt organisk karbon (TOC) i filterkakeprøvene ligger på 2-2,5 %.

4.2 Utlekkingspotensiale

Utlekkingspotensialet for filterkakeprøvene beskrevet ovenfor er testet ved ristetest (standard NS-EN 12457, n=6). Kolonnetest (standard CEN/TS 14405) ble gjennomført på en prøve av filterkakematerialet. Analyser er gjennomført på eluatet (vannprøven) som er tatt ut etter væske/faststoff forhold på 0,1, dvs. det første vannet som kommer ut fra kolonnetesten. Kolonnetest er imidlertid ikke egnet for denne type impermeabelt materiale, men gir indikasjon på kvalitet på vann som presses gjennom filterkaka. Resultater fra ristetest og kolonnetest er gitt i Tabell 4 og Tabell 5.

Tabell 5 Resultater fra ristetest på filterkake (gjennomsnitt av 6 prøver tatt ut i april-mai 2020 ved AF Decoms jordvaskeanlegg på Rimol. Til sammenligning er grenseverdi for utlekking ved ristetest for inert avfallsdeponi oppført. Overskridelse er uthevet (NGI, 2020)

	Enhet	Filterkake Gjennomsnitt (n=6)	STD	Grenseverdi inert avfallsdeponi
pH		8,3	0,3	-
Arsen (As)	mg/kg TS	<0,05	-	0,5
Bly (Pb)	mg/kg TS	<0,05	-	0,5
Kadmium (Cd)	mg/kg TS	<0,004	-	0,04
Kobber (Cu)	mg/kg TS	<0,2	-	2
Krom (Cr)	mg/kg TS	<0,05	-	0,5
Kvikksølv (Hg)	mg/kg TS	<0,001	-	0,01
Molybden (Sb)	mg/kg TS	0,57	0,16	0,5
Nikkel (Ni)	mg/kg TS	<0,04	-	0,4
Sink (Zn)	mg/kg TS	0,3	0,4	4
Antimon (Sb)	mg/kg TS	0,041	0,017	0,06
Selen (Se)	mg/kg TS	0,011	0,006	0,1
Klorid (Cl)	mg/kg TS	193	122	800
Fluorid (F)	mg/kg TS	11	1,8	10
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	mg/kg TS	617	122	1000
Løst organisk karbon (DOC)	mg/kg TS	152	20	500

Tabell 6 Resultater fra kolonnetest på filterkake (1 prøve fra AF Decom's jordvaskeanlegg på Rimol). Til sammenligning er grenseverdi for utlekking ved kolonnetest for inert avfallsdeponi oppført (NGI, 2020)

	Enhet	Filterkake (n=1)	Grenseverdi inert avfallsdeponi (L/S 0,1)
pH		7,9	-
Arsen (As)	mg/L	0,011	0,06
Bly (Pb)	mg/L	<0,05	0,15
Kadmium (Cd)	mg/L	<0,002	0,02
Kobber (Cu)	mg/L	<0,1	0,6
Krom (Cr)	mg/L	<0,05	0,1
Kvikksølv (Hg)	mg/L	<0,001	0,002
Molybden (Sb)	mg/L	0,57	0,2
Nikkel (Ni)	mg/L	<0,1	0,12
Sink (Zn)	mg/L	<0,5	1,2
Antimon (Sb)	mg/L	<0,02	0,1
Selen (Se)	mg/L	<0,04	0,04
Klorid (Cl)	mg/L	4300	4600
Fluorid (F)	mg/L	1,5	2,5
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	mg/L	3000	1500
Løst organisk karbon (DOC)	mg/L	640	160

Resultater fra ristetestene på filterkake viser i hovedsak lav utlekking, betydelig lavere enn grenseverdier for inert avfallsdeponi. Unntaket er molybden og fluorid som ligger på nivå med grenseverdien. Begge disse elementene foreligger naturlig i leire, og til sammenligning viser målt utlekking fra ren leire i samme type test 0,16 mg/kg for molybden og 5,32 mg/kg for fluorid (NGI 2020b).

Kolonnetesten bekrefter resultatene av utlekking av metaller i ristetestene. Konsentrasjon av sulfat og DOC er forhøyet, noe som indikerer et høyere utlekking av disse elementene i starten av utlekkingsprosessen. DOC kan komme fra naturlig organisk materiale i behandlet materiale og tilførte organiske flokkuleringskemikalier.

Organiske miljøgifter som er påvist over normverdi i filterkaka (PAH, PCB), omfattes ikke av utlekkingstestene. Dette er imidlertid svært lite vannløselige forbindelser som adsorberer godt til jord, og særlig organiske materiale. Filterkaken inneholder 2-2,5% organisk karbon (TOC).

4.3 Effekt på sigevannet ved Skjördalen deponi

Vann som perkolerer gjennom tettesjiktet, vil bli påvirket av materialets sammensetning. Vannet vil infiltrere videre inn i deponimassene og blande seg med sigevannet. En oversikt over sigevannets sammensetning i Skjördalen er vist i Tabell 6.

Tabell 7 Resultater fra analyse av sigevann fra Skjördalen deponi for perioden 2019 til 2024.

Parameter	enhet	2019	2020	2021	2022	2023	2024
pH	()	7,78	7,88	7,98	7,8	7,7	7,3
Metaller							
Arsen, As	µg/l	17	18	29	17	48	6
Jern, Fe	µg/l	8675	14075	8141	11633	6075	4540
Kadmium, Cd	µg/l	0,1	0,08	0,13	0,07	0,13	0,05
Kobber, Cu	µg/l	47	45	85	41	29	13
Krom, Cr	µg/l	42	43	54	70	40	13
Kvikksølv, Hg	µg/l	0,01	0,0515	0,01	0,001	0,075	0,025
Mangan, Mn	µg/l	1675	1625	1600	1633	1575	808
Nikkel, Ni	µg/l	51	49	55	51	43	21
Bly, Pb	µg/l	1,9	0,9	1,9	0,9	1,3	1,6
Sink, Zn	µg/l	84	69	147	79	86	67
Antimon	µg/l	2	1	2	1	1	0,8
Organisk							
BOF 5	mg O/l	16	11	7	20	12	10
KOF Cr	mg O/l	430	409	382	497	362	173
Ammonium, NH ₄ -N	mg N/l	182	120	134	130	117	48
Total nitrogen	mg N/l	213	193	159	140	148	53
SS, Suspensert stoff GF/C	mg/l	64	95	191	170	32	54
TOC, total organisk karbon	mg/l	130	140	140	147	115	47
Annet							
SUM PAH ₁₆	µg/l	0,28	0,1	0,25	0,3	0,3	ikke fått enda
Sum BTEX	µg/l	3	<1	2	2	1,5	3,5
Oljeinnhold (oljeindeks) C10-C40	mg/l	<0,075	0,14	0,12	<0,1	<0,1	0,38

I utlekkings-testene registreres sink (30 µg/L, omregnet fra ristetest), molybden (57 µg/L, omregnet fra ristetest), antimon (4 µg/L) og arsen (11 µg/L, kolonnetest). For sink, arsen og antimon ligger dette lavere eller på nivå med sigevannsdata fra Skjördalen. pH og TOC (ristetest) ligger i samme størrelsesorden. I tillegg vil mengden vann som infiltrerer være svært beskjeden (< 50 mm per år, dvs. <50 L per m²), jf. kapittel 1.2. Basert på resultater fra utlekkings-testene på filterkake vurderes derfor infiltrert vann å ha marginal påvirkning på deponimassene og sigevannet ved Skjördalen. Videre vil sigevann samles opp og ledes til renseanlegg.

4.4 Effekt på drencvannet over tettesjiktet

Topptettingen ved Skjördalen deponi bygges opp med drenc- og beskyttelsessjikt med overliggende vekstsjikt med vegetasjon. Infiltrert vann som når drencsjiktet vil dreneres ut over tettesjiktet, og derfor komme i direkte kontakt med overflaten av tettesjiktet/filterkaka. Mengden vann som når drencsjiktet vil imidlertid være begrenset da formen på deponioverflaten vil være gunstig for overflateavrenning. Videre vil nedbør først vil infiltrere gjennom vekstlag (evapotranspirasjon) og beskyttelsessjikt før det når drencsjiktet. Andelen vann som kommer i kontakt med overflaten til filterkake forventes å være liten. Oppbygging av topptettingen med beskyttelse og drencsjikt beskytte filterkaken mot erosjon og evt. risiko for partikkelspredning. Ved etablering av topptetting for Trinn 1 og 2 ved Skjördalen deponi vil det bli etablert eget testsystem for å overvåke vannet som renner av i drencsjiktet over tettesjiktet.

5 Oppsummering

Testing av filterkake fra AF Decom's jordvaskeanlegg viser at den har potensiale til å bli brukt i topptetting for deponi for ordinært og farlig avfall ($K < 10^{-9}$ m/s). Dette forutsetter at utleggings- og komprimeringsarbeid gjøres på en tilfredsstillende måte, dvs. at retningslinjer for kontroll, utlegging og komprimering følges, jf. vedlegg B.

Filterkaken inneholder enkelte forurensningskomponenter som ligger over normverdi for forurenset jord. Utlekkingstestene på filterkake viser et beskjedent utlekkingspotensial. I tillegg vil mengden vann som infiltrerer være svært liten (< 50 mm per år, dvs. < 50 L per m^2). Benyttes materialet som impermeabelt sjikt i en topptettingskonstruksjon vil påvirkning på deponisigevannet derfor være marginal.

Vann som drenerer over tettesjiktet vil komme i direkte kontakt med filterkaka. Topptettingskonstruksjonen vil bestå av beskyttelsessjikt og vegetasjonssjikt, noe som vil gi begrenset vannmengde (infiltrert nedbør) ned mot drens-sjiktet. I tillegg vil de overliggende sjiktene beskytte filterkaka mot erosjon.

Ved storskala bruk av filterkakematerialet som tettesjikt i topptettingen ved Skjördalen deponi, vil konstruksjon og effekt følges opp tett gjennom SFI-earthresQue. Dette vil omfatte målinger i felt (sigevannsmengder, vannkvalitet, overflateavrenning), i tillegg til mer representative utlekkings tester i laboratorieskala (diffusjon, kontakt i overflaten). Formålet med bruk av filterkake som alternativ til f.eks. tørrskorpeleire, er å redusere uttak av jomfruelige masser, og samtidig utnytte filterkake som i dag uansett må deponeres. Filterkakens hydrauliske egenskaper (lav vanngjennomtrengelighet) og evne til å adsorbere (holde igjen) forurensninger, gjør at disse massene kan utnyttes langt bedre enn i dag. Utlekkingsforsøkene fra filterkaken dokumenterer lav utlekking av forurensningskomponentene selv ved spesielt ugunstige forhold. Totalt sett indikerer alle forsøk så langt at denne topptettingsløsningen vil redusere utslipp til miljø.

6 Referanser

Avfall Norge (2015): Veileder – avslutning og etterdrift av deponier. Rapport 12/2015.

NGI (2020a): Filterkake fra jordvasking. Vurderinger og anbefalinger knyttet til bruk som geologisk barrieremateriale. NGI rapport nr. 20200373-01-R.

NGI (2020b): GBV 2020 Ground improvement WP2 Alternative binders – Analyserapport utlekking av Tiller-Flotten-leire. 19. nov. 2020.

Ritter, S., Ånes, E.W., Hovland, K., Stridal, A.C., Hansen, H., Henriksen, T., Okkenhaug, G. (2023): Sustainable impermeable landfill barriers: The potential of using geological waste and surplus masses. Proceedings of the 9th International Congress on Environmental Geotechnics 25-28 June, 2023, Chania, Greece.

Ånes, E.W., Ritter, S., Pabst, T., Stridal, A.C., Nilsen, N.G., Hovland, K., Okkenhaug, G. (2024): Utilisation of geological surplus masses in landfill cover: percolation results from pilot test

FORMÅL

Prosedyren skal sikre at alle innkommende masser leveres med nødvendig dokumentasjon, slik at avvik fra tillatelse ikke vil kunne oppstå. Prosedyren skal også definere videre behandling.

OMFANG

Prosedyren gjelder for alle innkommende masser til Rimol Miljøpark.

ANSVAR

Daglig leder / Driftsleder er ansvarlig for implementering av denne prosedyren på Rimol Miljøpark.

Verneombud / daglig leder er ansvarlig for gjennomføring av vernerunder og stikkprøvemessig kontroll av mottatt masser.

GRUNNLAG

2019/337 av 09.09.2021 Tillatelse til mottak, mellomlagring og behandling av masser. - Rimol Miljøpark AS (Miljødirektoratet)

Definisjon leveranse: Med leveranse menes et eller flere lass av samme materiale mottatt fra en kunde på ett definert prosjekt og klassifisert ut fra samme dokumentasjon.

GJENNOMFØRING**Mottakskontroll**

Alle leveranser til Rimol Miljøpark registreres i vekta ved ankomst. Leveransen registreres på kunde og prosjekt. Leveranser skal følges av dokumentasjon, herunder analysebevis eller tilhørende miljøkartleggingsrapport. Leveransen kontrolleres visuelt ved ankomst.

Dersom leveransen mangler dokumentasjon, skal massene legges på mellomlager, merkes og prøvetaking / kartlegging bestilles.

På bakgrunn av mottatt dokumentasjon bestemmes videre håndtering av massene.

1. mellomlager (for ekstern løsning)
2. Inert deponi
3. ordinært deponi
4. behandling

Ved mistanke om uoverensstemmelse mellom mottatt dokumentasjon og mottatte masser, skal massene legges på mellomlager for prøvetaking.

Interne stikkprøver

Daglig leder / Driftsleder tar ut tilfeldige stikkprøver av leveranser i henhold til krav.

Prøvetatt leveranse legges til side inntil analyseresultat foreligger. Dette for å sikre korrekt disponering og håndtering opp mot kunde.

AVVIKSHÅNDTERING

Avvik oppdaget ved ankomst av leveranse:

- Dersom det ved kontroll oppdages avvik i leveransen, skal denne legges på mellomlager og kunde kontaktes.

Avvik oppdaget ved interne stikkprøver:

- Dersom det ved prøvetaking avdekkes avvik i leveransen, skal kunde kontaktes og informeres om avviket.

DOKUMENTASJON

- Tiltaksplan / Analysebevis / miljøkartleggingsrapport for aktuell leveranse.
- Veiedata pr lass på kunde/prosjekt/vare
- Avviksregistreringer
- Intern dokumentasjon: analysebevis for utførte stikkprøver

To: Gudny Okkenhaug
Copy: Eivind Wiik Ånes
From: Stefan Ritter
Date: 2023-05-08
Project: 20200839
Subject: Compaction procedure and documentation of properties of impermeable barriers

Compaction procedure and documentation of properties of impermeable barriers

Introduction

This internal memorandum summarises a typical compaction procedure and required documentation (i.e., sampling and in situ testing) while constructing impermeable landfills barriers utilising reused materials, such as, excavated lime cement stabilised clay (LCSC) and a press filter residual (PFR).

Compaction procedure

The below outlined compaction procedure follows the experience obtained while conducting the compaction trails with LCSC and PFR in June 2021 at Langøya, NOAH.

1. Measure the water content of the sealing material and compare to the standard proctor results (see Table 1)
2. If a water content close to the optimum water content (i.e., between 26-32% for PFR and 22-27% for the LCSC) was measured, install the first layer of the sealing layer by laying out approximately 35 cm of the loose sealing material
3. Compact the sealing material with a bulldozer (CAT D6 XE or similar) using 6 passes and (if available) a roller for each layer
4. Measure the height of the compacted layer to ensure that it is greater than 20 cm
5. Conduct in-situ tests using the Troxler Nuclear Gauge for each layer (see Section *Documentation of the properties of the constructed impermeable barrier* for further detail) and evaluate if more than 94% of the max. dry density was reached (see Table 1)
6. Repeat steps 2 to 5 until the required density and height of 60 cm is reached
7. Obtain tube samples of the constructed impermeable barrier (see Section *Documentation of the properties of the constructed impermeable barrier* for further detail) for further lab testing (see Section *Lab testing*) of the achieved properties

Table 1. Proctor test results of LCSC and PFR from samples derived in spring 2021.

	Max. dry density (kg/m ³)	Optimum water content (%)
LCSC	1582 (1485)*	24.2
PFR	1501 (1410)*	29.0

*~94% of the max. dry density (i.e., design value) which was exceed in the compaction trials in summer 2021.

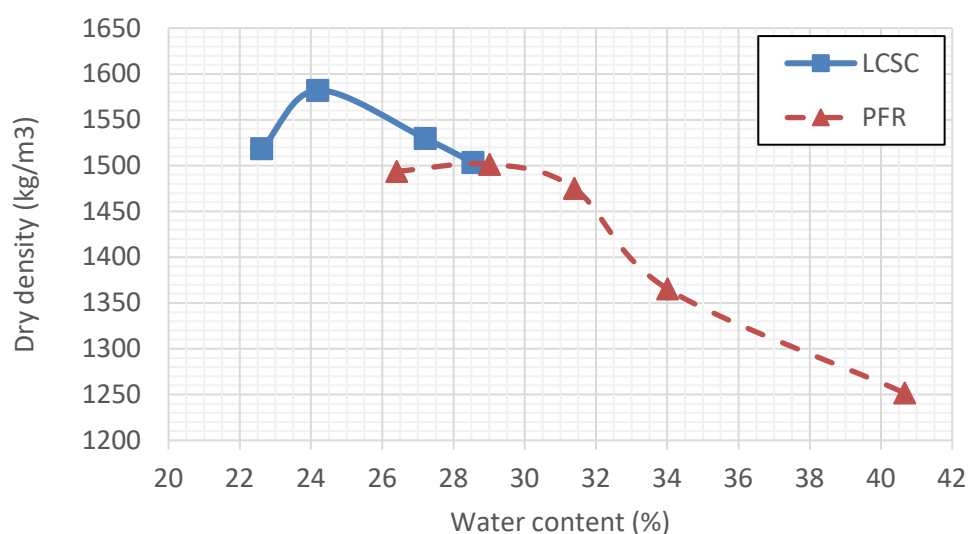


Figure 1. Relation between water content versus dry density for lime cement stabilised clay (LCSC) and press filter residual according to the Proctor tests on samples derived in spring 2021.

Table 2 provides an overview of typical geotechnical requirements for impermeable geological barriers for landfill top covers. These requirements provide a first assessment of the suitability of different materials for impermeable geological barriers.

Documentation of the properties of the constructed impermeable barrier

Table 3 lists field tests and sampling to document the in-situ properties of the impermeable barriers. The water content will be measured before the compaction and compared to the optimum water content (see Table 1). Troxler tests will be carried out for each layer of an impermeable barrier to map the in-situ density and moisture content. Field samples of the final impermeable barrier (i.e., consisting of 3 layers) will be taken using 72 mm diameter tubes. The tube samples will be pressed into the soil using available machinery (e.g., a standard excavator or a bulldozer) and subsequently

transported to NGI. Four tube samples will be taken for each constructed impermeable barrier. Three samples will be used for lab testing and one sample will be stored for further use. Figure 2 visualises the Troxler tests and the sampling procedure. In addition, uncompacted samples of the used materials will be taken.

Table 2. Geotechnical requirements for impermeable geological barriers as part of the capping system for landfills (according to NGI (2016)). The plasticity index, I_p , is defined as $I_p = w_L - w_P$, where w_L is the liquid limit and w_P the plastic limit.

Parameter	Criteria	Comment
Average clay content	> 30%	plastic clay: $I_p > 10\%$
Lowest clay content	> 20%	
Water content, w	< 30% $w < w_L$	
Plasticity index, I_p	> 10%	
Remoulded shear strength, s_{ur}	> 10 kN/m ²	obtained with a fall cone test
Organic content	< 2.5%	
Hydraulic conductivity, k	< 10 ⁻⁹ m/s	



(a)



(b)

Figure 2. Planned in-situ testing: (a) measurements using Troxler Nuclear Gauge and (b) sampling using 72 mm diameter tubes.

Table 3. Field tests and sampling to document the properties of the impermeable barrier.

Field tests and sampling	Description	Nbr. Tests/samples for each test cell
Water content*	Take in situ samples before the compaction and derive water content to compare with optimum water content from standard proctor test. Perform drying in the NOAH laboratory.	3
Troxler tests	Continuous monitoring of the compaction by determining the density and moisture content of each compacted layer.	3 test per layer
Tube sampling (Type A)	Obtain 72 mm diameter tube samples. Take samples outside of the lysimeter area and refill the "sampling holes" by hand using the same sealing material and hand compact it to the required density. Mark a sampling height of 60 cm to ensure that a sample of the entire impermeable barrier will be taken. Seal the samples to avoid loss of water content.	4
Uncompacted samples (Type B)	Take approximately 10 kg of "loose" samples of each material used to construct the impermeable barrier. Use sealable buckets or a plastic bag to store the samples.	3

*The geotechnical water content is defined as the ratio between the difference of the total mass and the dry mass and the dry mass.

Lab testing

The samples derived from the test cells will be transported to NGI to obtain their geotechnical properties. Standard laboratory tests will first be carried out to obtain the geotechnical characteristics. Table 1 lists the laboratory tests and describes their purpose.

Table 4 Laboratory testing programme.

Parameter	Description	Laboratory Test	Sample type	Nbr. Tests*
Clay content	Quantity of clay particles in the sample	Particle size distribution, NS-EN 17892-4:2016 and NGI laboratory procedure LLP008	B	1
Water content	Natural water content, Oven drying for 24 hours at 105- 100°C	NS-EN ISO 17892-1:2014	B	1
Particle size distribution (including clay content)	Distribution of grains according to their size	Particle size distribution, NS-EN 17892-4:2016 and NGI laboratory procedure LLP008	B	1
Core logging	Homogeneity	Multi-Sensor Core Logging (MSCL) and X-ray radiography	A	3
Hydraulic conductivity	Permeability	Triaxial test or oedometer tests with constant or falling head tests	A	3
Plasticity	Material's property to undergo deformation without cracking or fracturing	Atterberg limits: plastic limit, w_p , and liquid limit, w_L	B	1
Shrinkage	Material cracking and crack size	Shrinkage limit, w_s	B	1
Water retention properties	Air entry value (AEV)	Pressure plate	B	3

*Number of tests per material for uncompacted samples (Type B) or per test cell for compacted samples (Type A).

References

NGI (2016). Vurdering av alternative tettematerialer til avrettnngssjikt – KS leire. Technical note 20110171-40-TN. 2016-07-01. NGI (2016). Vurdering av alternative tettematerialer til avrettnngssjikt – KS leire. Technical note 20110171-40-TN. 2016-07-01.

Forskning



Privat sektor



Offentlig sektor



The earthresQue centre is a Centre for Research-based Innovation (SFI) funded by the Research Council of Norway. The centre will develop technologies and systems for sustainable handling and treatment of waste and surplus masses.



Senter for
forskningsdrevet
innovasjon

earthresQue