



## **Veileder om bunn- og sidetetting av deponier**

TA-2095/2005  
ISBN 82-7655-256-0

## **Forord**

Normalt vil nedbrytningsprosesser i et avfallsdeponi gjøre at stoffer i det deponerte avfallet lekker ut med vannet som siger gjennom deponiet. Flere av disse stoffene er miljøskadelige og noen er regnet som miljøgifter.

For å sikre at det forurensede sigevannet blir samlet opp, og ikke renner ukontrollert ut i naturen, stiller kapittel 9 i forskrift om gjenvinning og behandling av avfall (avfallsforskriften) bestemte krav til bunn- og sidetetting av avfallsdeponier, ofte kalt kravet om ”dobbel bunntetting”.

Det er mulig å utforme en slik dobbel bunntetting på forskjellige måter innefor de spesifikke minimumskravene til tetthet som er gitt i avfallsforskriften. Formålet med denne veilederen er å gi saksbehandlere hos forurensningsmyndigheten hjelp i arbeidet med å vurdere om en prosjektert bunn- og sidetetting vil oppfylle forskriftens krav. Veilederen kan også være nyttig for tiltakshavere og entreprenører innen avfallsdeponering.

Veiledningen er utarbeidet med bistand fra Multiconsult AS.

SFT, Oslo, mai 2005

Hilde Terese Hamre  
direktør i lokalmiljøavdelingen

## Innhold

<b>1.</b>	<b>Sammendrag</b> .....	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>Innledning</b> .....	<b>5</b>
2.1	Målsetninger knyttet til utslipp av miljøskadelige stoffer .....	5
2.2	Formålet med denne veilederen .....	5
2.3	Krav om dobbel bunntetting .....	6
2.4	Geologiske og hydrologiske forhold ved norske deponier .....	6
2.4.1	Løsmasselokaliteter .....	6
2.4.2	Berggrunnslokaliteter .....	7
<b>3.</b>	<b>Geologisk barriere</b> .....	<b>8</b>
3.1	Krav til den geologiske barrierens tetthet .....	8
3.2	Supplering av naturlig geologisk barriere .....	8
3.3	Permeabilitet for jordarter og fjell .....	9
3.4	Eksempler på oppbygging av en konstruert geologisk barriere .....	9
3.5	Infiltrasjon mellom lag med ulik korngradering .....	10
3.6	Robusthet og sikkerhetsmarginer .....	10
<b>4.</b>	<b>Membraner</b> .....	<b>12</b>
4.1	Bentonittmembran .....	12
4.2	Kunstig tetningsmembran .....	12
<b>5.</b>	<b>Litteratur</b> .....	<b>14</b>

## 1. Sammendrag

Avfallsforskriftens kapittel 9 – deponibestemmelsene - stiller spesifikke minimumskrav til den geologiske barrieren under et deponi. I tillegg er det krav om kunstig tetningsmembran under deponier for ordinært og farlig avfall. Slik kravene til den geologiske barrieren er stilt, er det effekten av dem som skal oppfylles. Det betyr at kravet til geologisk barriere kan oppfylles på grunnlag av andre verdier for tykkelsen (lagtykkelsen) på det geologiske laget, forutsatt at det kompenseres tilsvarende med permeabiliteten (k-verdier), og at grunnforholdene for øvrig er egnet for å etablere et deponi. Mangelfull tetthet kan bøtes ved å supplere med en konstruert geologisk barriere.

Den planlagte bunn- og sidetettingen for et nytt deponi, eller nytt deponiområde må beskrives i søknadsdokumentasjonen. Denne veilederen skal gjøre det lettere for forurensningsmyndigheten å vurdere om en slik prosjektert bunn- og sidetetting vil tilfredsstille deponiforskriftens krav. Søknadsdokumentasjonen må vise at alle relevante forhold som spiller inn når en slik dobbel bunntetting skal etableres, er blitt vurdert og tatt hensyn til under prosjekteringen. Dette omfatter blant annet nedenstående punkter som er nærmere beskrevet i denne veilederen:

- En grundig teknisk beskrivelse av grunnforholdene på stedet, og særlig i forhold til stabilitet, vanngjennomstrømningsmotstand (permeabilitet) samt grunnvannsstrømninger og variasjoner i grunnvannstanden.
- Ved behov for supplering av den geologiske barrieren, må den foreslåtte metoden begrunnes. Det må blant annet fremgå at den konstruerte geologiske barrieren ikke kan bli svekket som følge av infiltrasjon med underliggende lag eller på annen måte.
- En beskrivelse av permeabiliteten til den samlede geologiske barrieren inkludert eventuelle konstruerte lag. En matematisk beregning av barrierens permeabilitet alene, vil i de fleste tilfeller ikke gi god nok sikkerhet for at alle forhold er inkludert. Tettheten til materialene i den samlede geologiske barrieren, inkludert eventuelle supplerende konstruerte lag, bør testes med permeabilitetstester eller gjennom vannstrømningsmålinger i felt.
- Deponier som skal anlegges på berggrunn må normalt tettes med en konstruert geologisk barriere. Da berggrunnen i Norge er betydelig oppsprukket må søknaden beskrive om det er behov for særegne tiltak for å motvirke at lokale trykkgradienter skal svekke den konstruerte barrieren.
- Valget av kunstig tetningsmembran bør være begrunnet. Det må fremgå at membranen er laget av et materiale som er motstandsdyktig mot forventet kjemisk påvirkning, og at den vil tåle de fysiske påkjenningene som den vil bli utsatt for i forbindelse med utlegging, eventuelle setninger i grunnen og lignende.
- Anleggsarbeidene skal være planlagt på en realistisk måte. Det må fremgå hvordan anleggsarbeidene blir utført slik at disse arbeidene ikke i seg selv kan skade bunn- og sidetettingen.
- For å sikre at den doble bunntettingen ikke kan bli svekket av klimatiske forhold, må det være satt frister for overdekking og forholdsregler som blir truffet mot utilsiktet svelling, telehiv, ras og erosjon må være beskrevet.
- Bunn- og sidetettingen må være robust nok til at tilstrekkelig tetthet opprettholdes selv etter de verst tenkelige påkjenninger, eller eventuelt med god margin til de forventede påkjenninger.

## **2. Innledning**

### **2.1 Målsetninger knyttet til utslipp av miljøskadelige stoffer**

I henhold til miljømyndighetenes strategiske mål skal konsentrasjonene av de farligste stoffene i miljøet bringes ned mot bakgrunnsnivået for naturlig forekommende stoffer og ned mot null for menneskeskapt forbindelse. For å oppfylle dette har Stortinget vedtatt nasjonale mål om å redusere eller stanse utslippene av en rekke miljøskadelige stoffer innen 2000, 2005 og 2010. Norge har også forpliktet seg internasjonalt til å redusere utslippene av en rekke miljøskadelige stoffer. Ved innføringen av rammedirektivet for vann (2000/60/EF), blir det fastsatt mål om å sikre en god vannstatus for alle vannforekomster innen 2015. God vannstatus innebærer at vannforekomsten bare i liten grad kan avvike fra naturtilstanden.

Sigevann fra deponier kan inneholde mye løst organisk stoff og andre oksygenforbrukende stoffer. Dette gjør at deponier kan være en kilde til betydelig lokal forurensning, hvis ikke sigevannet blir samlet opp og behandlet på en kontrollert måte.

Målsetningene knyttet til de miljøskadelige stoffene og lokale mål for de berørte resipientene skal ligge til grunn for valg av løsning i forbindelse med bunntetting av deponier.

### **2.2 Formålet med denne veilederen**

Forskrift om behandling og gjenvinning av avfall (avfallsforskriften) stiller spesifikke krav til den geologiske barrieren under og på siden av deponier, videre er det krav om at deponier for farlig avfall (kategori 1) og ordinært avfall (kategori 2) i tillegg skal tettes med kunstig tetningsmembran. Kravene er gitt i vedlegg I til kapittel 9 i avfallsforskriften.

Kravene til den geologiske barrieren er stilt slik at de teoretisk sett kan oppfylles på en rekke forskjellige måter, men det er ikke gitt at alle alternative konstruksjonsmåter vil oppfylle forskriftens intensjon i praksis. Avfallsforskriften stiller ingen spesifikke krav til den kunstige tetningsmembranen.

Hensikten med denne veilederen er å peke på viktige praktiske forhold som bør være vurdert ved prosjektering av en bunn- og sidetetting i et deponi, for å sikre at tetteløsningen er tilstrekkelig robust til å oppfylle intensjonen i avfallsforskriften. Videre beskriver veilederen noen vanlig brukte geologiske formler og bruksområdene til disse. Veilederen er primært rettet mot saksbehandlere hos forurensningsmyndigheten, men kan også være nyttig for deponieiere og andre som skal vurdere en prosjektert tetteløsning for et deponi.

Topptettingen på et deponi skal oppfylle helt andre funksjonskrav enn bunntettingen. Denne veilederen omtaler ikke avslutning og topptetting av deponier.

Veilederen går ikke nærmere inn på forurensningsmyndighetens tilsyn med regelverket. Det kan i korthet nevnes tre tilnæringsmåter for tilsyn med hvordan arbeidet med bunntettingen gjennomføres i praksis: i) inspeksjon utført i anleggsfasen, ii) krav om fotodokumentasjon ved viktige milepæler under anlegging og iii) krav om innsendelse av dokumentasjon, slik som kvitteringer og bekreftelser fra underleverandører over materialer og metodikk som er brukt.

## 2.3 Krav om dobbel bunntetting

Avfallsforskriftens kapittel 9 krever i de fleste tilfeller at bunn- og sidetettingen av et deponi skal bestå av både en geologisk barriere og en kunstig tetningsmembran. Denne kombinasjonen er ofte omtalt som ”dobbelt bunntetting”.

Kravet om dobbel bunntetting gjelder for alle deponier, med unntak av deponier i kategori 3 for inert og lavkontaminert avfall. Det kan også gjøres unntak fra kravet etter en risikovurdering jf veileder om miljørisikovurdering av bunntetting og oppsamling av sigevann ved deponier (1995/2003)

Avfallsforskriften stiller spesifikke minimumskrav til den geologiske barrieren. Slik kravene er stilt, er det effekten av dem som skal oppfylles. Det betyr at kravet til geologisk barriere kan oppfylles på grunnlag av andre verdier for tykkelsen (mekktigheten) på det geologiske laget, forutsatt at det kompenseres tilsvarende med permeabiliteten (k-verdier). Forskriften fastsetter imidlertid at tykkelsen til en konstruert geologisk barriere, ikke skal være mindre enn 0,5 meter. Dette betyr for eksempel at en tynn bentonittmembran alene, ikke vil kunne oppfylle forskriftens krav selv om den oppfyller kravet til tetthet.

Årsaken til at det stilles krav til geologisk barriere er at denne er mindre utsatt for å miste sine tilbakeholdelsesegenskaper, enn en kunstig tetningsmembran. Det antas at en kunstig tetningsmembran vil miste sine egenskaper og gradvis brytes ned i løpet av 100 - 200 år etter at deponiet er etablert. Erfaring viser også at det ofte oppstår mekaniske skader på tetningsmembranen. Den geologiske barrieren vil da være den eneste gjenværende beskyttelsen for miljøet.

## 2.4 Geologiske og hydrologiske forhold ved norske deponier

Norges geologiske undersøkelse (2003) har utarbeidet en beskrivelse av permeabilitet i løsmasser og berggrunn i Norge, og vurdert berggrunnens og løsmassenes potensial til å utgjøre en geologisk barriere i henhold til EUs deponidirektiv. Resultatene av denne undersøkelsen er oppsummert i NGU-rapport 2003.016.

### 2.4.1 Løsmasselokaliteter

Ut fra NGUs vurdering vil områder under marin grense med sammenhengende homogene avsetninger av hav- og fjordavsetninger (naturlig leire), eller i områder med forholdsvis mektige finstoffholdige moreneavsetninger, være best egnet til å etablere et avfallsdeponi på. Naturlige avsetninger vil ofte ha lokale variasjoner i sammensetning og tetthet. Grunnen må derfor undersøkes grundig før man kan avgjøre om lokaliteten er egnet, og om hvilke behov det er for eventuell supplering av den geologiske barrieren i hele eller deler av deponiområdet.

Det er viktig å se den doble bunn- og sidetettingen i sammenheng med egenskapene til den naturlige grunnen. Ingen bunntetting vil gi tilstrekkelig tetthet og sikkerhet dersom grunnen er ustabil. Eksempler på forhold som kan påvirke stabiliteten i grunnen er:

- Vekten av det deponerte avfallet kan medvirke til at porer og årer i massene under deponiet presses sammen slik at det oppstår setninger.
- Avskjæring av fremmedvann rundt deponiet og andre anleggsmessige inngrep i området kan føre til endringer i grunnvannstanden. Dersom grunnvannsspeilet synker kan det medføre avsvelling som får grunnen til å synke.
- Hellende terreng kan få løsmasser til å sige eller rase.

Et nedlagt avfallsdeponi vil normalt måtte regnes som et ustabil underlag i lang tid på grunn av nedbrytningen av det deponerte avfallet. Det kan ikke avgjøres generelt om det er forsvarlig å anlegge et nytt deponi helt eller delvis oppå et gammelt deponi. Dette må vurderes i den enkelte saken ut fra forholdene på stedet.

Ved prosjekteringen av den doble bunn- og sidetettingen må uansett sannsynlige bevegelser i grunnen vurderes og forsøkes kvantifisert. Den doble bunn- og sidetettingen må tåle slike påkjenninger. Se også 3.6.

Dersom den umettede sonen<sup>1</sup> er for liten, kan det oppstå en kontinuerlig vannfase mellom deponiet og resipient. Dette kan føre til økt utlekking fra deponiet. Dersom grunnvannsstanden varierer mye med nedbørsintensiteten er dette et tegn på at lokaliteten kan være uegnet.

#### **2.4.2 Berggrunnslokaliteter**

Erfaringer og undersøkelser viser at berggrunnen generelt er betydelig oppsprukket i Norge. På berggrunn vil derfor utlekket sigevann raskt finne veien ned til dypereliggende grunnvann via sprekker og årer i fjellet. Det er vanskelig å sammenligne strømningsveier og -hastigheter for vann i fjell direkte med tetthetskravene i avfallsforskriftens kapittel 9. Denne problemstillingen er nærmere drøftet i NGU-rapport 2003.016

Over berggrunn kan det oppstå store lokale variasjoner i grunnvannstrykket. Disse trykkgradientene kan påvirke en konstruert geologisk barriere negativt ved at finstoffet lettere vaskes ut som følge av varierende strømningsretninger (se også 3.5 om filterkriteriet).

Berggrunn har normalt dårligere resipientegenskaper enn en umettet løsmasse. Dette skyldes at den samlede overflaten som fungerer som substrat for mikroorganismer vil være langt større i en løsmasse enn i sprekken i fjellet. I berggrunn vil derfor mer av sigevannet kunne nå grunnvannsmagasinet uten at forurensende stoffer i vannet er blitt nedbrutt på veien.

Berggrunn er imidlertid ofte et stabilt underlag. Berggrunnslokaliteter kan derfor være egnet til etablering av deponier så lenge bunn- og sidetetting er vel tilpasset forholdene (se også 3.4 siste avsnitt).

---

<sup>1</sup> Umettet sone: Avstanden mellom deponiet og grunnvannsspeilet.

### 3. Geologisk barriere

#### 3.1 Krav til den geologiske barrierens tetthet

Avfallsforskriftens krav til den geologiske barrieren er delt inn etter hvilke kategorier av avfall deponiet skal motta, hhv inert, ordinært, eller farlig avfall. Ved deponier for inert avfall er den påkrevde geologiske barrieren den eneste tettingen; det kreves ikke kunstig tetningsmembran for slike deponier.

Kravet i forskriften er formulert som krav til permeabilitet og minste tykkelse for en naturlig geologisk barriere. Kravet er at barrieren skal oppfylle en tetthet som tilsvarer effekten av følgende verdier for permeabilitet og lagtykkelse:

- Kategori 1: Deponi for farlig avfall:
  - Permeabilitet:  $k \leq 1 \times 10^{-9}$  m/s,
  - Lagtykkelse:  $L \geq 5$  m
- Kategori 2: Deponi for ordinært avfall:
  - Permeabilitet:  $k \leq 1 \times 10^{-9}$  m/s,
  - Lagtykkelse:  $L \geq 1$  m
- Kategori 3: Deponi for inert avfall
  - Permeabilitet:  $k \leq 1 \times 10^{-7}$  m/s,
  - Lagtykkelse:  $L \geq 1$  m

#### 3.2 Supplering av naturlig geologisk barriere

Dersom tettheten i den naturlige grunnen ikke tilfredsstiller deponiforskriftens krav, åpner deponiforskriften for at den kan suppleres med en konstruert geologisk barriere. Denne konstruerte barrieren må, i følge forskriften, ha en tykkelse på minst 0,5 m alene. Den naturlige og den konstruerte geologiske barrieren skal da til sammen oppfylle tetthets- og tykkelseskravene.

Dette innebærer at tykkelsen på den konstruerte barrieren og den naturlige grunnen i sum er slik at avstanden ned til antatt høyeste grunnvannsnivå ikke er mindre en hhv 1 eller 5 meter (jf kravene over). Det vil likevel være urimelig å kreve at grunnvannsspeilet aldri skal komme nærmere deponiet enn dette. Kravet bør imidlertid ikke overskrides ved normale variasjoner over en 10 års periode.

Det er mulig å beregne nødvendig tykkelse og permeabilitet på de supplerende lagene ved å summere forholdstallet mellom lagtykkelse og permeabilitet for hvert lag. Formelen for dette er gjengitt i vedlegg 1(formel 1).



### 3.3 Permeabilitet for jordarter og fjell

Permeabiliteten til en jordart kan *overslagsmessig* beregnes ut fra kornfordelingen, for eksempel basert på Hazens formel (formel 2 i vedlegg 1). Beregnet etter denne formelen kan vi anslå at en barriere på hhv 1 eller 5 meter av en jordart der kornstørrelsen til de 10 vekt-% minste partiklene ( $d_{10}$ ) ikke overstiger  $2,6 * 10^{-4}$  mm, vil kunne overholde tetthetskravet til deponier for ordinært eller farlig avfall. En barriere på 1 meter av jordart med  $d_{10} = 2,6 * 10^{-3}$  mm vil anslagsvis kunne overholde tetthetskravet til et deponi for inert avfall. Permeabiliteten er imidlertid ikke bare avhengig av kornfordelingen, men også i stor grad av komprimering. Permeabiliteten av den geologiske barrieren *må* derfor etableres for det enkelte deponi ved permeabilitetstester av aktuelle materialer lagt ut på den aktuelle måten eller ved måling av vanngjennomstrømning i felt.

Generelt er komprimert sand/silt ca. 10 ganger tettere enn ved en løsere lagring. Komprimering er derfor et aktuelt tiltak ved etablering av en konstruert geologisk barriere. Komprimering skal normalt skje lagvis etter reglene for Normal komprimering i beskrivelsesstandarden for bygg- og anleggsvirksomhet (NS 3420). I prosjektbeskrivelser kan komprimering være angitt i henhold til metoden ”Standard Proctor”. Normal komprimering i NS 3420 tilsvarer ca 95 % av Standard Proctor.

Kravet til k-verdi for farlig og ordinært avfall, er så strengt at det vanligvis bare kan tilfredsstilles av leire i sin naturlige tilstand<sup>2</sup>

Permeabiliteten av norske bergarter er normalt så høy at fjellet ikke vil gi noe bidrag til vanngjennomstrømningsmotstanden. Berggrunn kan normalt ikke regnes som et tettende underlag for et deponi.

### 3.4 Eksempler på oppbygging av en konstruert geologisk barriere

Nedenfor beskrives det tre forskjellige tilnæringsmåter for å konstruere en geologisk barriere. Listen er ikke uttømmende men er tatt med for å vise at forskjellige løsninger kan oppfylle forskriften.

Alternativ 1: Den konstruerte geologiske barrieren består av et egnet ensartet materiale som legges ut og komprimeres til nødvendig tykkelse (minst 0,5 m). Eksempler på aktuelle materialer er finstoffholdig morene, leire eller blandinger av silt/sand og bentonitt. Dersom det lages en blanding av forskjellige materialer før de legges ut, må kornfordelingen i blandingen være slik at det ikke er fare for at finstoffet kan bli vasket ut.

En konstruert geologisk barriere bygget opp av et materiale med permeabilitet  $k < 1 * 10^{-10}$  m/s og med en lagtykkelse på minst 0,5 m vil for eksempel kunne tilfredsstille kravene til deponi for farlig avfall.

Alternativ 2: Dersom de naturlige og stedegegne massene i seg selv har tilstrekkelig tetthet, men inneholder vannførende lag, kan man behandle massene på stedet ved for eksempel å blande

---

<sup>2</sup> Tettheten til naturlig leire skyldes delvis måten naturlig avleiring skjer der langsom sedimentering og konsolidering under svakt strømmende vann gjør at partiklene pakkes tett sammen. Leire som legges ut mekanisk vil normalt ikke oppnå samme tetthet.

dem, komprimere eller lignende. Det behandlede laget må så ansees som en konstruert barriere og behandlingen må derfor skje ned til minst 0,5 meters dyp.

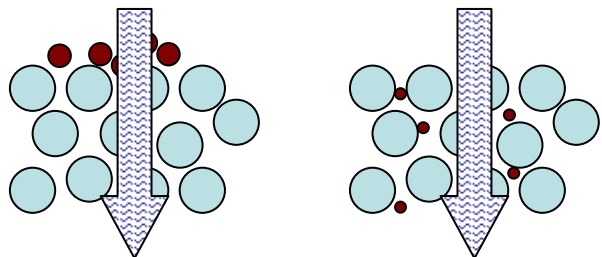
Alternativ 3: Den konstruerte geologiske barrieren bygges opp som en kombinasjon av tynne tette bentonittmembraner omgitt av grovere materialer som tjener som bærende og beskyttende masser. Dette alternativet forutsetter at det er bygget inn tilstrekkelige sikkerhetsmarginer, slik at barrieren samlet sett blir tilstrekkelig robust jf hhv. avsnitt 3.4 og 3.6. Bruk av kun ett bentonittlag på rundt 2 cm i en slik "sandwich-barriere" vil trolig være en sårbar løsning i de fleste praktiske sammenhenger.

Ved anlegging av et deponi på fjell, må det tas særlige hensyn når den kunstige geologiske barrieren bygges opp. Ved tetting mot oppsprukket fjell må man sikre seg at det ikke finnes høye hydrauliske gradienter som kan føre til utvasking. Det kan være behov for å tette sprekker i fjellet og/eller anlegge et drenerende/ trykkfordelende sjikt av geologiske materialer mellom fjellet og bunntettingen.

### 3.5 Infiltrasjon mellom lag med ulik korngradering.

Dersom en finstoffholdig masse legges over et jordlag med grovere struktur, vil det være fare for at finstoffet i den overliggende massen vaskes ut og blandes inn i de underliggende lagene. Ved supplering av en naturlig geologisk barriere må man derfor alltid vurdere om det er fare for slik infiltrasjon mellom de naturlige og de konstruerte lagene. For å unngå infiltrasjon mellom de forskjellige lagene i den geologiske barrieren, kan man legge en fiberduk (geofilter) mellom dem. Det vil imidlertid alltid være en fare for at fiberduken skal bryte på grunn av strekk ved bevegelse i grunnen eller annen mekanisk påvirkning. Alternativt, eller helst i tillegg til bruk av fiberduk, kan man bygge opp barrieren slik at filterkriteriet (formel 3) blir oppfylt. Filterkriteriet uttrykker at korngraderingen til et jordlag (filter) må ligge innenfor et bestemt intervall, som beregnes på bakgrunn av korngraderingen til det jordlaget som vannet strømmer fra. Filterkriteriet forutsetter at vannet har en bestemt strømningsretning. Varierer strømrretningen blir det lettere for en liten jordpartikkel å infiltrere omkringliggende jordlag. Forventes skiftende strømrretninger bør det derfor alltid benyttes fiberduk mellom lagene.

Figur 1 illustrasjon av filterkriteriet. I tilfellet til venstre fungerer det blå laget som filter for det brune laget



### 3.6 Robusthet og sikkerhetsmarginer

Det er ikke mulig å gi noen generelle kriterier for hvor robust den doble bunntettingen må være. Man bør imidlertid sørge for at alle relevante forhold som kan påvirke den geologiske barrieren og den kunstige tetningsmembranen er blitt vurdert og tatt hensyn til under prosjekteringen. Tiltakshaveren bør gjennom prosjekteringen tydelig vise at hun har praktiske kunnskaper om normal aktivitet ved den typen avfallsdeponi som skal etableres, og at deponiet vil tåle de normale påkjenninger som kan påvirke bunn- og sidetettingens samlede effekt.

Eksempler på forhold som kan tenkes å påvirke bunn- og sidetettingen er:

- *Nedbør, tele og andre klimatiske forhold frem til den geologiske barrieren blir dekket av den kunstige tetningsmembranen.* Den kunstige tetningsmembranen vil være sårbar for UV-lys frem til den blir dekket av andre lag. Ved prosjekteringen må det derfor være tatt hensyn til fremdrift og klimatiske forhold. Det må være satt tidsfrister for overdekking av den kunstige tetningsmembranen.
- *Bevegelser i grunnen, for eksempel som følger av svelling/avsvelling under varierende grunnvannsforhold.* Ved prosjekteringen må derfor sannsynlige og/eller verst tenkelige bevegelser være beskrevet og tatt hensyn til på en robust måte.
- *Erosjon og fare for ras eller sig, særlig aktuelt for sidetetting.*
- *Mekanisk påvirkning som oppstår ved anleggsvirksomheten, for eksempel knyttet til utlegging av kunstig tetningsmembran og drenerende sjikt oppå denne.*
- *Mekanisk påvirkning som følger av deponiets bruk.* Avfallet vil normalt legges ut i celler. Større objekter kan rase fra deponifront og ned på bunntettingen ved neste celle. Videre vil det oppstå en tykkgradient tvers av deponifronten.

Det må kunne aksepteres at ulike påkjenninger *over tid* fører til noe lavere vanngjennomstrømningsmotstand, men det kan ikke aksepteres fare for brudd eller annen vesentlig svekkelse. For å oppnå god robusthet i samsvar med føre-var-prinsippet, kan følgende tommelfingerregel benyttes: Bunn- og sidetettingen bør tåle en påkjenning som er 3 ganger så sterk som den sannsynlige påkjenningen som følger av aktuelle påvirkninger (jf. listen over). Grensen for tolerabel svekkelse kan ikke avgjøres generelt og må vurderes for hver lokalitet spesielt.

## 4. Membraner

### 4.1 Bentonittmembran

Bentonitt er en type leire som er dannet ved forvitring av vulkansk aske. I tørr tilstand har bentonitt en meget stor evne til å ta opp vann og danne et plastisk medium. Ved vannopptaket skjer det en volumutvidelse (svelling). Dersom denne volumutvidelsen begrenses av de omkringliggende massene, resulterer dette i et meget tett materiale. Bentonittlaget vil i stor grad beholde sin lave permeabilitet over meget lang tid, og kan derfor regnes som et mineralsk materiale som er egnet til bruk i en konstruert geologisk barriere.

Bentonittmembraner av typen GCL (Geosynthetic Clay Liners) bygges opp av fiberduk og bentonittleire, og vil swelle fra en tykkelse på ca. 6 mm til ca. 15 mm. Denne typen membran er testet for en hel del kjemiske stoffer, og resultatene viser at den ikke blir påvirket av normal sammensetning av sigevann for deponier. Dersom et deponi inneholder store mengder stoffer det tidligere ikke er undersøkt for (for eksempel et dominerende produksjonsavfall), må det utføres mer spesifikke tester.

Dersom deponiet er plassert i nærheten av sjøvann, vil bentonitten ikke swelle som forutsatt. Saltinnhold i vann tilsvarende sjøvann (25-35 ‰) vil øke fastheten av leiren, og redusere evnen til å oppta vann. Dermed reduseres vanngjennomstrømningsmotstanden og det kan være fare for oppsprekking ved eventuelle setninger i grunnen under deponiet.

Lokale trykkpåkjenninger under etablering av bentonittmembranen skal unngås, da dette kan føre til ujevn tykkelse, og lokalt redusert strømningsmotstand.

På grunn av svellingen, vil en bentonittmembran tette seg selv om den får sprekker under installasjon. Den er på den måten et meget gunstig supplement til den kunstige tetningsmembranen.

Dersom bentonittmembraner inngår i en prosjektert bunn- og sidetetting, må planen vise hvordan man skal unngå utilsiktet svelling før bentonitten er overdekket, samt hvordan bentonitten og overliggende masser planlegges lagt ut uten at bentonittmembranen blir ødelagt.

### 4.2 Kunstig tetningsmembran

Det finnes en mengde forskjellige tykkelser, utførelser og kvaliteter å velge mellom blant de kunstige tetningsmembranene. Det er gjerne krav til membranens tetthetsegenskaper samt resistens mot aktuelle kjemiske eller fysiske påkjenninger som styrer valget av membran. Den endelige løsningen må være valgt ut fra hva membranen kan bli utsatt for i dens levetid. Det er detaljene i løsningen som styrer den totale tettheten og robustheten, og som gjør at det er nødvendig med en detaljert planlegging for det enkelte deponi.

Eksempler på forhold som bør være med i vurderingen er:

**Kjemikalier:** For sigevann fra vanlige deponier for blandet avfall må membranen tåle reduserende forhold med mye Fe(II)-ioner, olje og vanlige løsemidler samt pH i området 9-10. Kjemikalier bør undersøkes spesielt dersom noen stoffer dominerer i sigevannet på grunn av store mengder produksjonsavfall.

**Klima:** Perioden frem til overdekking er membranen utsatt for UV-lys som kan svekke varigheten vesentlig. Ved prosjekteringen må det være satt frist for overdekking. De fleste membraner blir stivere og tåler mindre mekanisk påvirkning ved kulde. Utlegging om vinteren øker faren for rifter som følge av anleggsarbeidet.

**Fare for tøyning og perforering:** Setninger i undergrunnen, og trykk som oppstår ved deponeringen kan medføre at membranen utsettes for strekk. Store setningsforskjeller over deponiområdet kan medføre tøyninger i membranen som ved valg av stive membraner kan medføre brudd. Det er også viktig å sikre at ikke materialene i drengsjiktet, eller lange objekter i deponiet kan bli presset gjennom membranen, under kompakteringen av avfallet.

De vanligst benyttede tetningsmembraner er bygd opp av polyetylen (PE), polyvinylklorid (PVC) eller polypropylen (PP). Polyetylenmembranene (HDPE, høydensitetspolyetylen og LDPE, lavdensitetspolyetylen) er mest resistent mot kjemikalier og UV-stråling. Alle disse materialene vil ha egnet motstandskraft mot kjemisk påvirkning fra vanlig sigevann. Dersom det forventes spesielle kjemikalier som materialet som brukes ikke er testet for, må det imidlertid gjennomføres nye forsøk med disse. Polypropylen (PP) og polyvinylklorid (PVC) er mer fleksible, og kan være lettere å installere.

Det finnes flere produsenter av tetningsmembraner på markedet. De varierer i utforming og tykkelse, og kan utstyres med beskyttelsesduk på begge sider dersom de er utsatt for store påkjenninger. Membranene bør kunne utsettes for en tøyning på minst 10% uten å gå til brudd. Dette tilsvarer en setningsforskjell på inntil 40 cm over 1 m, og vil i de aller fleste tilfeller være tilfredsstillende.

Skjøting av tetningsmembraner skjer ved at lengdene sveises sammen. For at den totale tettheten skal bli tilfredsstillende må dette arbeidet utføres i henhold produsentens anvisninger.

## 5. Litteratur

Janbu, N. (1970); *Grunnlag i geoteknikk*; Tapir, Trondheim; VII, 426 s. ill.

Leonards, G.A. (red.) (1962); *Foundation engineering*; McGraw-Hill, New York; McGraw-Hill civil engineering series. IX, 1136 s. ill.

Norges geologiske undersøkelse (2003); *Hydrauliske egenskaper i løsmasser og fjell sett i sammenheng med EU-direktivet for deponering av avfall*; Trondheim, NGU rapport 2003.016; 27 bl. ill.

([www.sft.no/arbeidsomr/avfall/deponering/deponidirektivet\\_hydrauliskeegenskaper\\_ngu2003.pdf](http://www.sft.no/arbeidsomr/avfall/deponering/deponidirektivet_hydrauliskeegenskaper_ngu2003.pdf))

Norges geotekniske institutt (1956); *Veiledning ved løsning av fundamenteringsoppgaver*; Oslo; Publikasjon 16. 93 s.

Norges standardiseringsforbund (1987); *Beskrivelsestekster for bygg og anlegg: NS3420: Grunn- og terrengarbeider*; redigert utdrag av NS 3420. 2.utg., mai 1986 utarbeidet av Norges byggstandardiseringsråd. P / Norges standardiseringsforbund, Lysaker; s. 273-304 ill.

NS3420 – se Norges standardiseringsforbund

Terzaghi, Karl (1943); *Theoretical soil mechanics*; New York, Wiley; XVII, 510 s. ill.

## Vedlegg 1. Vanlig brukte formler ved prosjektering av en geologisk barriere

### Formel 1: Beregning av vanngjennomstrømmingen til en geologisk barriere

Vanngjennomstrømming pr. kvadratmeter og tidsenhet kan beregnes ut ifra:

$$q/t = k * i$$

hvor:  $q$  = vannmengde pr. arealenheter,  $m^3/m^2$

$t$  = tid, s

$i$  = gradient = drivende kraft (m vannsøyle,  $H$  / lagtykkelse,  $L$ )

$k$  = permeabilitetskoeffisient, jf kravene som er gitt i avfallsforskriften

I følge Janbu (1970), vil en kontinuerlig strømning loddrett på et profil med flere horisontale lag være lik for alle lagene, og kunne beregnes fra:

$$q/t = k_1 * \Delta H_1/L_1 = k_2 * \Delta H_2/L_2 = \dots = k_n * \Delta H_n/L_n$$

Den drivende kraften, eller potensialfallet gjennom det  $n^{\text{te}}$  laget blir da:

$$\Delta H_n = q/t * L_n/k_n$$

Siden summen av potensialfallet i alle lag er lik det samlede potensialtap blir:

$$H = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \dots + \Delta H_n \text{ eller}$$

$$q/t * (L_1/k_1 + L_2/k_2 + \dots + L_n/k_n) = q/t * L_{\text{tot}}/k_{\text{tot}}$$

Ved å jevnføre de to uttrykkene får vi:

$$L_{\text{tot}}/k_{\text{tot}} = (L_1/k_1 + L_2/k_2 + \dots + L_n/k_n)$$

Formel 1 viser at vi kan beregne den totale tettheten ved å summere brøken av mektighet og tetthet for de respektive lagene. Satt opp som en likning kan man også beregne nødvendig tetthet til et supplerende lag dersom mektigheten er gitt, eller nødvendig mektighet dersom tettheten er gitt

I et tenkt eksempel skal det anlegges et deponi for ordinært avfall på en siltavsetning der avstanden ned til grunnvannet er minst 4 meter. Tettheten til siltavsetningen ligger i intervallet  $10^{-6}$ -  $10^{-7}$  m/s. Barrieren skal suppleres med en konstruert barriere på 0,5 meter. Med utgangspunkt i den svakeste tettheten til den naturlige barrieren, kan vi beregne påkrevd tetthet til det supplerende laget:

$$1 / 10^{-9} = 4 / 10^{-6} + 0,5 / x$$

$$1 / 10^{-9} - 4 / 10^{-6} = 0,5 / x$$

$$x (1 / 10^{-9} - 4 / 10^{-6}) = 0,5$$

$$x = 0,5 / (1 / 10^{-9} - 4 / 10^{-6}) = 0,5 / 996000000 \approx \underline{5 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}}$$

Siltavleiringen bidrar praktisk talt ikke til den totale tettheten i dette eksempelet.

## Formel 2: Hazens formel for permeabilitet

Hazens formel:

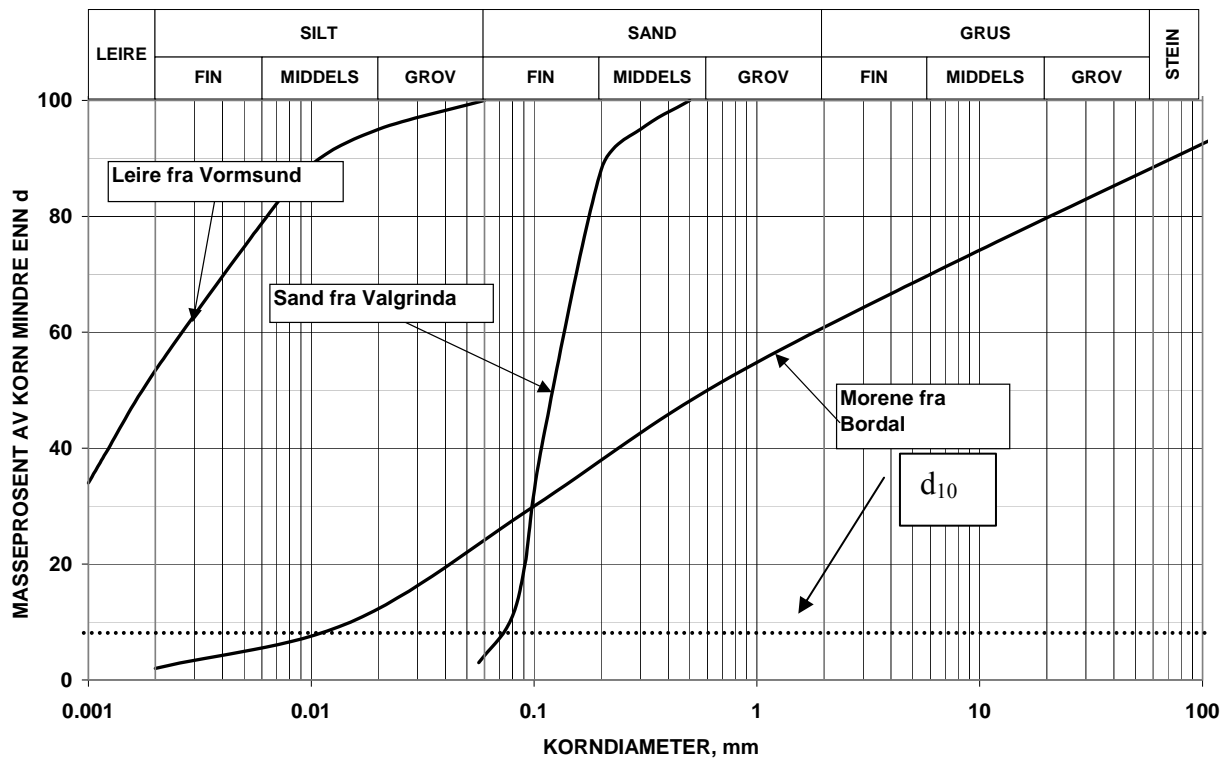
$$k = C_1 \cdot d_{10}^2$$

hvor:

- $C_1$  er en empirisk konstant som ligger i området 100 – 150 (enhet  $\text{cm}^{-1}\text{sek}^{-1}$ ). For beregningene til bruk ved etablering av permeabilitet av tettingsmateriale for deponier kan  $150 \text{ cm}^{-1}\text{sek}^{-1}$  brukes.
- $d_{10}$  er den korndiameteren som 10% (vekt) av materialet er mindre enn. Verdien skal gis i cm i formelen.
- Formelen leverer  $k$  med benevnningen cm/s

Beregnet etter Hazens formel finner vi at en jordart med  $d_{10} = 2,6 \cdot 10^{-4} \text{ mm}$  vil ha en tetthet på ca  $10^{-9} \text{ m/s}$  mens en jordart med  $d_{10} = 2,6 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$  vil ha en tetthet tilsvarende  $10^{-7} \text{ m/s}$ . Verdien for  $d_{10}$  kan leses av en kornfordelingskurve for den aktuelle jordarten. Nedenfor er gitt eksempel på en figur med typiske korngraderinger for noen jordarter:

Figur 2: Korngraderinger for forskjellige typer jordmaterialer





**Formel 3: filterkriteriet**

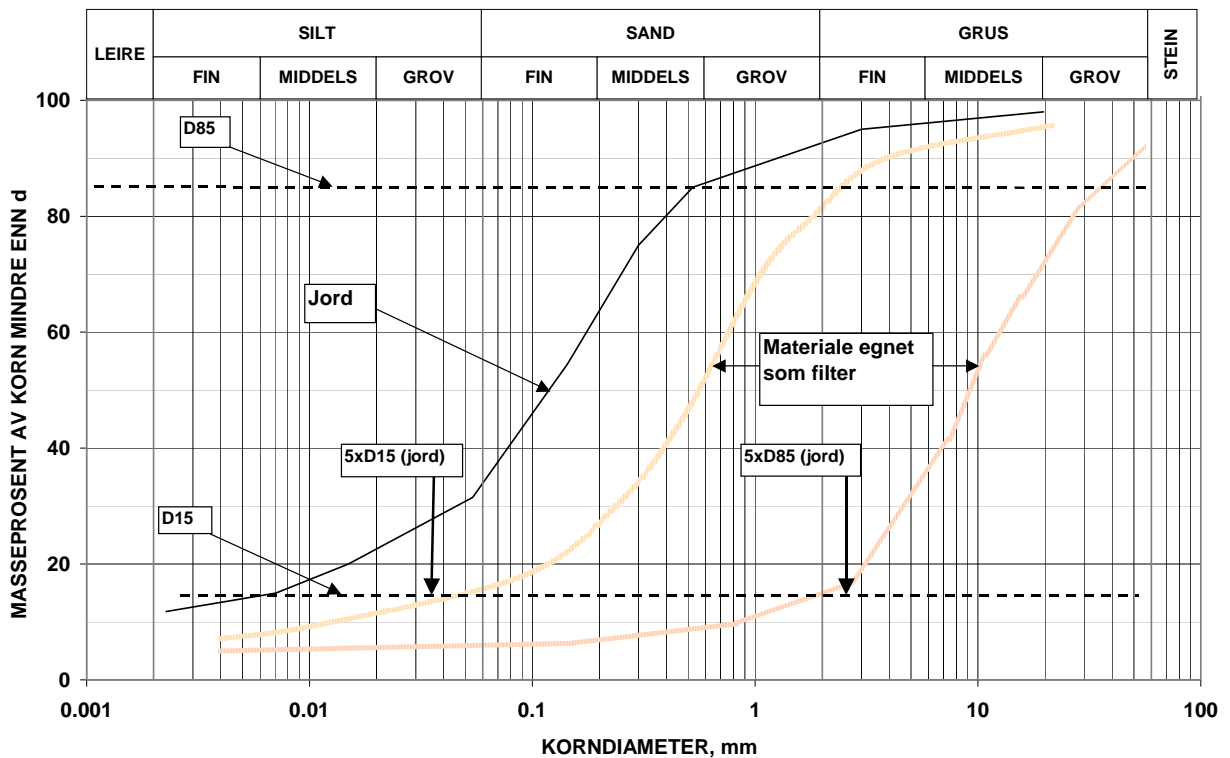
$$5 \cdot d_{15} (\text{jord}) < d_{15} (\text{filter}) < 5 \cdot d_{85} (\text{jord})$$

$d_{15}$  og  $d_{85}$  er den korndiameteren som 15% hhv 85% av kornene i jorden er mindre enn.

Det er forutsatt at vannet strømmer fra jorden mot filteret, slik at strømningsretningen må være bestemt ved etablering av et filterlag.

Filterkriteriet uttrykker at et jordlag (filter) må ha en korngradering som innebærer at  $d_{15}$  ligger i intervallet mellom 5 ganger  $d_{15}$  og 5 ganger  $d_{85}$  til det jordlaget som vannet strømmer fra for at det skal fungere som filter.

I figur 3 gjengis et eksempel der filterkriteriet er beregnet for en tenkt jordtype med korngraderingen  $d_{15} = 0,006$  mm og  $d_{85} = 0,5$  mm, som vist med den sorte linjen. Et annet jordlag som skal fungere som filter for denne jordtypen må da ha en korngradering som er slik at  $d_{15}$  faller innenfor intervallet 0,03 - 2,5 mm. I eksempelet er det også tegnet inn aktuelle korngraderinger (grå linjer) til to tenkte jordarter som begge ville være egnet som filter for jordlaget ”jord”.



**Figur 3: eksempel på filterkriteriet beregnet for en tenkt jordtype**



Statens forurensningstilsyn (SFT)  
Postboks 8100 Dep, 0032 Oslo  
Besøksadresse: Strømsveien 96

Telefon: 22 57 34 00  
Telefaks: 22 67 67 06  
E-post: postmottak@sft.no  
Internett: www.sft.no

Utførende institusjon Multiconsult AS / SFT	Kontaktperson SFT Karsten Butenschøn	ISBN-nummer 82-7655-256-0
--	---	------------------------------

	Avdeling i SFT lokalmiljøavdelingen	TA-nummer 2095/2005
--	--	------------------------

Oppdragstakers prosjektansvarlig Liv Hamre	År 2005	Sidetall 16	SFTs kontraktnummer 3004056
---	------------	----------------	--------------------------------

Utgiver SFT	Prosjektet er finansiert av SFT
----------------	------------------------------------

Forfatter(e) Hamre, Liv (Multiconsult) Østmoe, Ola (Multiconsult) Butenschøn, Karsten (SFT)
--

Tittel - norsk og engelsk Veileder om bunn- og sidetetting av deponier
---

Sammendrag – <i>summary</i>  Bunn- og sidetettingen til et nytt deponi må være prosjektert slik at tetthetskravene i avfallsforskriftens kapittel 9 vedlegg 1 overholdes på en robust måte. Tetteløsningen må tåle de aktuelle påkjenningene som følger av bevegelser i grunnen, grunnvannsstrømmingene og effekten av anleggarbeidene ved etableringen av deponiet. Veilederen er rettet mot saksbehandler hos forurensningsmyndigheten.
---

4 emneord Avfallsforskriften kapittel 9 vedlegg 1 Dobbel bunntetting av deponier Geologisk barriere Kunstig tetningsmembran	4 subject words
---	-----------------