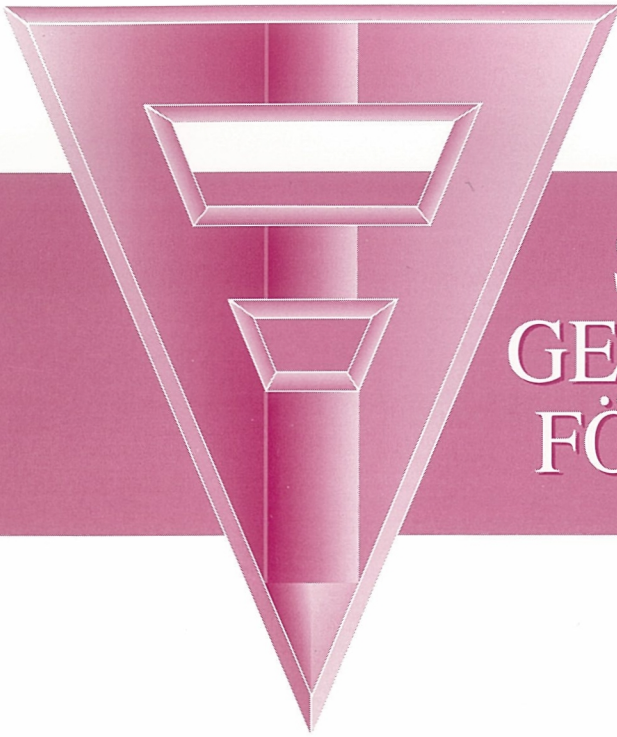




SVENSKA
GEOTEKNISKA
FÖRENINGEN

TÄTSKIKT I MARK

Vägledning för beställare,
projektörer och entreprenörer

SGF Rapport 1:99

SVENSKA GEOTEKNISKA FÖRENINGEN
SWEDISH GEOTECHNICAL SOCIETY



SGF Rapport 1:99

Tätskikt i mark

Vägledning för beställare,
projektörer och entreprenörer



RVF Rapport 99:1



SGF Rapport	Svenska Geotekniska Föreningen 581 93 Linköping
Beställning	Statens geotekniska institut Biblioteket Tel: 013-20 18 04 Fax: 013-20 19 09 E-post: info@swedgeo.se Internet: www.swedgeo.se
ISSN	1103-7237
ISRN	SGF-R--99/1--SE
Redigering och layout	SGI
Upplaga	Tilltryck 300 ex
Tryckeri	Roland Offset AB, Linköping, feb 2001

Förord

Att bygga tätskikt i mark har blivit allt vanligare. Främsta orsaken är ett ökat behov av att skydda grund- och ytvatten från föroreningar men också att styra grundvattenflöden och grundvattennivåer med tätskikt.

Vid åtskilliga tillfällen har uttryckts behov av mer kunskap kring tätskikt i mark, bl a vilka material man skall använda och hur tätskikten bör utföras eller kvalitetssäkras. Arbetsgruppen för tätskikt inom Svenska Geotekniska Föreningen, SGF, har därför låtit utarbeta denna vägledning.

Syftet med vägledningen är att vara ett redskap för beställare, projektörer och entreprenörer i deras arbete med tätskiktskonstruktioner i mark. Avsikten har varit att ta upp de viktigaste frågorna och förhoppningsvis skall du efter att ha läst vägledningen förstå så mycket mer att dyra misstag kan undvikas.

Huvudförfattare till handledningen är Bo Carlsson och Göran Nilsson, Miljöteknik Bo Carlsson AB, med biträde av Yvonne Rogbeck, Jan Rogbeck och Bengt Rosén, Statens geotekniska institut, SGI samt Ola Sundvall, Protec Geosystem. Tecknade illustrationer är utförda av Bo Carlsson. Vissa fotografier är hämtade ur broschyrmaterial, med upphovsmännens samtycke. Granskning och layout har gjorts av Jan Lindgren, SGI, som också redigerat och färdigställt materialet för tryckning.

Framtagningen av handledningen har skett i en arbetsgrupp bestående av Bo Carlsson (ordförande) Miljöteknik, Göran Nilsson (sekreterare) Miljöteknik, Yvonne Rogbeck, Statens geotekniska institut, SGI, Thomas Rihm, Renhåll-

ningsverksföreningen, RVF, Alexander Smekal, Banverket och Leif Säfström, Vägverket. Gruppen har granskat materialet och givit synpunkter kring innehållet.

Förutom arbetsgruppen har i projektet en intressegrupp bestående av ett 15-tal personer från olika organisationer och företag deltagit. Intressegruppen har fungerat som idégivare, diskussionsgrupp och remissorgan till arbetsgruppen.

Banverket, Luftfartsverket, Renhållningsverksföreningen, Statens geotekniska institut, Svenska Geosyntetföreningen och Vägverket har bistått projektet med finansiering. De inblandade har därutöver bidragit med en inte oväsentlig del av egen tid.

Vägledningen har granskats av arbetsgrupp, intressegrupp och ett antal personer utanför gruppen. Revideringar har gjorts mot bakgrund av de synpunkter som kommit in. Framförda synpunkter i vägledningen svarar dock ytterst huvudförfattarna Bo Carlsson och Göran Nilsson för.

Linköping i februari 1999

För arbetsgruppen för tätskikt inom SGF

Bo Carlsson

Innehåll

Förord

Läsanvisning 7

1. Vad menar vi med tätskikt?	8
Några definitioner och begrepp	8
Vad blir flödet?	8

2. Funktioner och tillämpningar	10
Allmänt	10
Vägar	11
Järnvägar	12
Flygplatser	13
Avfallsupplag	14
Förorenade markområden	16
Dammar	16
Tunnlar	17
Styra grundvattennivå	17

3. Konstruktion	18
Geomembran	18
- Enkelt tätskikt	18
- Dubbelt tätskikt	21
Kompositttätskikt	22
Naturlig jord	22
Bentonittätad jord	23
Konstruktioner och problemställningar vid olika tillämpningar	24
- Vägar	24
- Järnvägar	24
- Flygplatser	25
- Deponier	25

4. Material	28
Syntetiska geomembran	28
- Polyeten	28
- HDPE	29
- LDPE	29
- PVC	29
- FPP	30
- Butylgummi och EPDM	30

Lergeomembran	31
Naturliga jordar	32
Bentonittätade jordar	33
Bitumenbundna skikt	34
Övriga tätskiktsmaterial	34
- Geomembran av polymertyp	34
- Härdande produkter	34

5. Metoder för installation, fogning och kontroll	36
Geomembran	36
- Syntetiska geomembran	36
- Lergeomembran	39
Övriga material	39
- Bentonittätad jord	39
- Naturliga jordar	41

6. Material ovan och under tätskikt ...	42
Underlag	42
Skyddsgeotextil och skyddsjord	42
Armering	43
Dräneringsskikt	43

7. Kravspecifikation för material	45
Allmänt	45
Vilka parametrar skall anges?	45
- Generellt för alla typer	45
- Syntetiska geomembran	45
- Lergeomembran	46
- Naturliga jordar	46
- Bentonittätade jordar	46
Testmetoder	46

8. Utförande	47
Kontroll och kvalitetssäkring	47
Arbetsberedning - tätskiktsinstallation ...	47
Förberedande markarbeten - grundläggning	48
Efterföljande markarbeten - återfyllning	48
Geomembran	49

Naturliga Jordar	50	Bilaga 1.	
- Leror	51	Beräkningar	58
- Finkorninga moräner	51	- Dimensionering av hydrauliska barriärer	
Bentonittätade jordar	51	- Släntstabilitet för fyllningar på geomembran	
9. Kravspecifikation för utförande	52	Bilaga 2.	
Allmänt	52	Upphandling och genomförande	
Vilka krav skall anges på utförande?	52	av tätskiktsentreprenader	69
- Generellt för alla typer	52	Bilaga 3.	
- Syntetiska geomembran	52	Exempel på mallar och checklistor	
- Lergeomembran	52	för kvalitetssäkring	73
- Naturliga jordar och bentonittätade jordar	52	Bilaga 4.	
10. Kvalitets- och miljösäkring	53	Kontroll av fogar vid syntetiska	
Vad är kvalitetssäkring?	53	geomembran	79
Kontrollplanen	53	Bilaga 5.	
Vad är miljösäkring?	55	Tätskiktets beteende/egenskaper i	
11. Referenser	56	relation till yttre förhållanden	81
		Bilaga 6.	
		Översikt över standarder	82
		Bilaga 7.	
		Begreppsförklaringar	83

Läsanvisning

Denna vägledning är inte uppbyggd som en anvisning för hur beställaren, projektören eller entreprenören stegvis skall gå fram vid t ex upphandling, projektering eller utförande av tätskikt. Dispositionen är snarare vald utifrån "kunskapsblock" än "användningsblock". Nedanstående figur har sammanställts för den som vill ha överblick över vilka kapitel som är mest tillämpbara i olika steg av byggprocessen.

Att bygga tätskikt i mark är något av "finmekanik" för byggaren. Till synes små fel kan få avgörande konsekvenser för tätskiktets funktion. Det är därför väsentligt att känna till samtliga moment och förhållanden vid utförandet av tätskikt, från konstruktion till slutligt utförande. Exempel kan vara konstruktören som måste ha fundamentala kunskaper om utförandet (t ex de monteringsföresättningar som måste vara uppfyllda och som därmed påverkar konstruktionen) eller entreprenören som måste ha kunskap

om materialens speciella egenskaper (t ex temperaturutvidgning vid syntetiska geomembraner) för att kunna genomföra entreprenaden på ett tillfredsställande sätt.

För att få ett grepp om problematiken kring tätskiktskonstruktioner rekommenderas du att gå igenom samtliga kapitel i vägledningen. Vi vill påstå att det i varje kapitel finns något som är relevant för dig som arbetar med tätskikt, oavsett i vilket led av byggprocessen som du är verksam.

I bilaga 1 finner du några beräkningar redovisade. Dessa omfattar dränering ovan tätskikt, genomträngd mängd vatten i tätskikt under olika förhållanden och stabilitet för fyllningar ovan geomembran. Beräkningarna är främst redovisade för att ge en fingervisning om vilka faktorer som påverkar genomströmningen i tätskikt samt stabiliteten för tätskikt i slänt.

Byggprocessen och relevansen av vägledningens olika kapitel.

SKEDE I BYGGPROCESSEN					
	Utredning	Program	Projektering	Bygg	Drift
Kap 1.					
Vad menar vi med tätskikt?	x	x	x	x	x
Kap 2.					
Funktioner och tillämpningar	x	x	x	x	x
Kap 3.					
Konstruktion	x	x	x	x	
Kap 4.					
Material			x	x	
Kap 5.					
Metoder för installation fogning och kontroll			x	x	
Kap 6.					
Material ovan och under tätskikt			x	x	
Kap 7.					
Kravspecifikation för material			x	x	
Kap 8.					
Utförande			x	x	
Kap 9.					
Kravspecifikation för utförande			x	x	
Kap 10.					
Kvalitets- och miljösäkring			x	x	x

1. Vad menar vi med tätskikt?

Några definitioner och begrepp

I bilaga 7 finns särskild begreppsförklaring. I detta avsnitt ges en mera detaljerad förklaring kring några begrepp som har anknytning till rubriken ovan.

Med tätskikt menar vi i denna vägledning följande:

”Barriär som reducerar genomträngningen av en vätska eller gas som rör sig genom konvektion och/eller diffusion.”

Med *konvektion* avses att vätskan eller gasen strömmar genom skiktet på grund av en tryckskillnad över skiktet. Med *diffusion* avses att ämnen strömmar genom skiktet till följd av en koncentrationsskillnad av ämnena över skiktet.

Konvektion är t ex en vattenström eller en luftström i ett genomsläppligt skikt. Diffusion är t ex molekyler och joner i ett avfallsupplag som drivs mot upplagets yttre kanter. Normalt får diffusionen först betydelse när konvektionen är liten. Följden blir att diffusionen dominerar över konvektionen endast vid mycket täta skikt.

Observera att konvektionen och diffusionen kan ha olika riktning. Det är t ex inte alltid så att vattentrycket på ett tätskikt är högre på den sida om skiktet där en förorening befinner sig (grundvattentrycket kan vara större än lakvattentrycket). Konvektionen (vattnets rörelse) sker i detta fall mot diffusionen (enskilda ämnens rörelse).

Vanliga termer i tätskiktssammanhang är *permeabilitet* och *hydraulisk konduktivitet*. Permeabilitet är ett generellt begrepp för ”genomtränglighet” och inbegriper alla vätskor och gaser. Hydraulisk konduktivitet är genomträngligheten för vatten. Vid användningen av ordet permeabilitet bör vi därför, om vi skall vara korrekta, också nämna ämnet, t ex ”(gas)permeabiliteten för metan” eller ”permeabiliteten för vatten”.

Enheten för permeabilitet är m²/s. För hydraulisk konduktivitet är enheten m/s.

Vad blir flödet?

Effekten av barriären styrs av tätskiktets täthet och av vätskans eller gasens viskositet och densitet. En vanlig missuppfattning är att flödet genom tätskiktet enbart styrs av dessa parametrar. Så är inte fallet; även den ”drivande kraften” i form av tryckgradient (vid konvektion) eller koncentrationsgradient (vid diffusion) måste finnas med i betraktelsen.

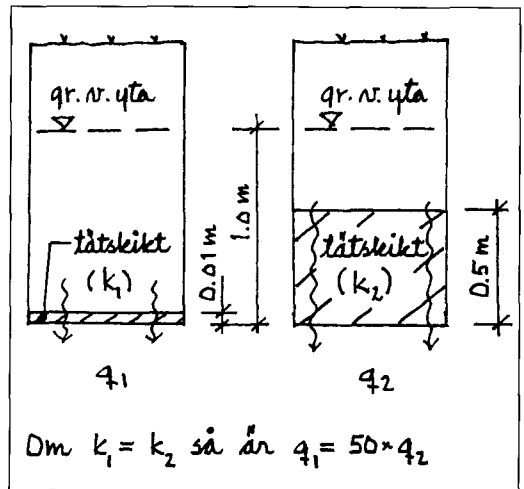
Med gradient över ett tätskikt avses ett tryck- eller en koncentrationsskillnad över skiktet dividerat med skiktets tjocklek.

Ekvationen för genomströmning av vatten i ett tätskikt kan tecknas (se också bilaga 1):

$$q = K \cdot i \cdot A$$

där K = hydrauliska konduktiviteten (m/s)
 i = gradienten (m vattenpelare/m)
 A = skiktets yta (m²)

I figur 1:1 visas två exempel med samma grundvattennivå och samma läge på tätskiktet där det tunna tätskiktet släpper igenom 50 ggr mer vatten på grund av att gradienten är så pass mycket större över detta skikt.



Figur 1:1. Tryckgradientens betydelse.

2. Funktioner och tillämpningar

Allmänt

Tätskikt konstrueras med utgångspunkt från den funktion som skiktet skall uppfylla och den tid som funktionen skall upprätthållas. För många tillämpningar är funktionen densamma. I tabell 2:1 redovisas de användningsområden med respektive funktioner som denna vägledning tar upp.

Huvudfunktionen hos tätskiktet är att det skall hindra gas eller vätska att tränga in (eller ut) i angränsande material. För att bibehålla funktionen skall tätskiktet kunna motstå mekanisk, kemisk och biologisk påverkan.

Mekanisk skada kan t ex uppkomma vid belastning av fordon på tätskiktet, vid frys-tö växlingar eller vid alltför stora deformationer. Vidare måste t ex lergeomembran belastas innan de utsätts för vattenmättnad så att svällningstrycket utnyttjas för att täppa till porsystemet och göra skiktet tätt.

Kemisk påverkan beror bl a på vilka vätskor och gaser som kommer i kontakt med tätskiktet och deras kontakttid med skiktet. Fotooxidation (t ex av UV-ljus) kan påverka geomembran av polymermaterial (gummi och plast), men utgör normalt inget problem om hanteringen av materialen är korrekt.

Biologisk påverkan berör geomembran av organiskt material, främst polymerer. Nedbrytningsbetingelserna kan variera betydligt, t ex om geomembranet ligger i aerob (syrerik) eller anaerob (syrefri) miljö.

Vissa geomembranmaterial mister en väsentlig del av sina egenskaper vid höga temperaturer. Dessa temperaturer är inte högre än att de kan förekomma i anläggnings- och byggsammanhang.

Tabell 2:1. Funktioner och användningsområden för tätskikt.

Funktion/ Användnings- område	Skydda grundvatten temporärt (t ex vid olycka)	Skydda grundvatten under lång tid (t ex innesluta förorening)	Samla/avleda dagvatten (eventuellt förorenat)	Styra grundvatten- nivå
Vägar	X	(X)	X	X
Järnvägar	X	(X)*	(X)	X
Flygplatser	(X)	X	X	
Avfallsupplag		X	X	(X)
Förorenade områden		X		(X)
Dammar		X	X	
Tunnlar		(X)	(X)	X

(x) = kan förekomma

* gäller verkstad eller lager

Vägar

Vägnätet passerar genom områden med värdefulla grundvatten- och ytvattenresurser. Grundvattenmagasinen ligger mer eller mindre sårbara beroende på jordlagerföljd och närheten till vägen. Den största risken för förorening finns där den grundvattenförande friktionsjorden når upp till markytan. Mindre risk förekommer där det vattenförande lagret ligger skyddat under ett tätare jordlager, t ex lerhaltig eller siltig jord.

Tätskikt vid vägar används för att skydda omgivningen både för de föroreningar som fordonen alstrar (t ex i vägdagvatten) och de transporterade vätskor och produkter som kan frigöras vid olyckshändelser.

Tätskikt vid underfarter, gångtunnlar etc. kan också användas vid vägar för att hindra grundvattenutflöde i slänter och på lågt liggande ytor, se särskilt avsnitt kring detta.

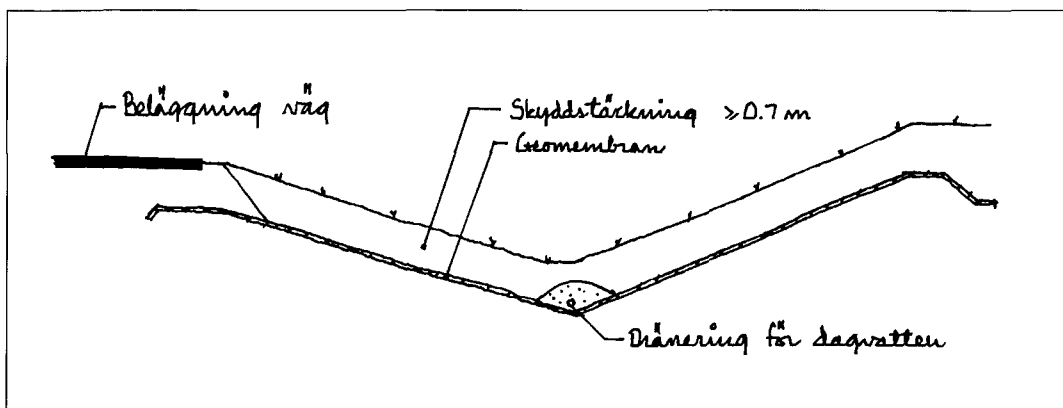
Vägverket har givit ut en handbok "Yt- och grundvattenskydd", Publ. 1995:01, där man anger ett arbetssätt för konsekvensklassificering av grundvattenresurser och visar på olika tekniska möjligheter för att skydda yt- och grundvatten. I första hand rekommenderar man att utnyttja naturligt lagrade täta jordlager som

skyddsbarriär. Därutöver ges exempel på olika tekniska konstruktioner att användas efter behov. Det finns i sammanhanget inga detaljerade myndighetskrav på vilka skydd som skall användas eller hur de skall utformas. Däremot anger handboken minimikrav beträffande livslängd (40 år) och tjocklek samt maximal permeabilitet (genomtränglighet) för tätskiktet.

Vägverket har även givit ut "Förorening av vattentäkt vid vägtrafikolycka - hantering av risker med petroleumutsläpp" (Publikation 1998:064)

Det övergripande problemet vid dimensionering av tekniska skyddsåtgärder är ofta vilken säkerhet som skall ställas på funktionen. Det finns vattentäkter som värderas i hundratals miljoner kronor. Dessa kräver hög säkerhet i konstruktionsval och utförande. Det kan i sådana fall vara aktuellt att lägga tätskikt i flera lager.

I normalfallet betraktar man vägens asfaltbegräddning som tillräckligt tät. Där gäller det därför främst att se till att diken på ett tillfredsställande sätt avleder vägdagvattnet inom områden där sårbara yt- och grundvattentäkter förekommer. Det förorenade vattnet tas sedan omhand på lämpligt sätt, t ex med oljeavskiljare, sedimentationsdammar, filter, överstrilade markytor eller liknande.



Figur 2:1. Exempel på tätskikt i vägar.

Järnvägar

Problematiken kring tätskikt vid järnvägar är i stort sett densamma som vid vägar. Vid järnvägar ligger tyngdpunkten på att skydda grundvattnet vid utsläppsolyckor, att hindra spridning av olja eller kemiska föreningar vid fasta anläggningar (t ex verkstäder) och att hindra grundvattenutströmning vid underfarter, skärningar etc.

Det finns idag inga regler inom Banverket avseende utformningen av yt- och grundvattenskydd. Varje tätskikt bedöms därför individuellt utifrån respektive projekts förutsättningar. Krav på geomembraner, AMA/RA-texter och kontrollmetoder finns dock i Tekniskt meddelande TM 97-033.

Vid installation av tätskikt vid järnvägar skall utbredningen av tätskiktet vara sådant att skiktet täcker uppkomna läckor i havererade vagnar. Utbredningen i sidled från spåret, eller höjd över rälsöverkant, är dock inte föreskriven utan avgörs från fall till fall. Med hänsyn till att vagnen/vagnarna kan skada skiktet bör placeringen ske på minst en meters djup, enligt Banverket.

Utmärkande för järnvägar är att grovt krossat material används i banvall och i järnvägsbank. De grova materialen kräver speciell hänsyn vad

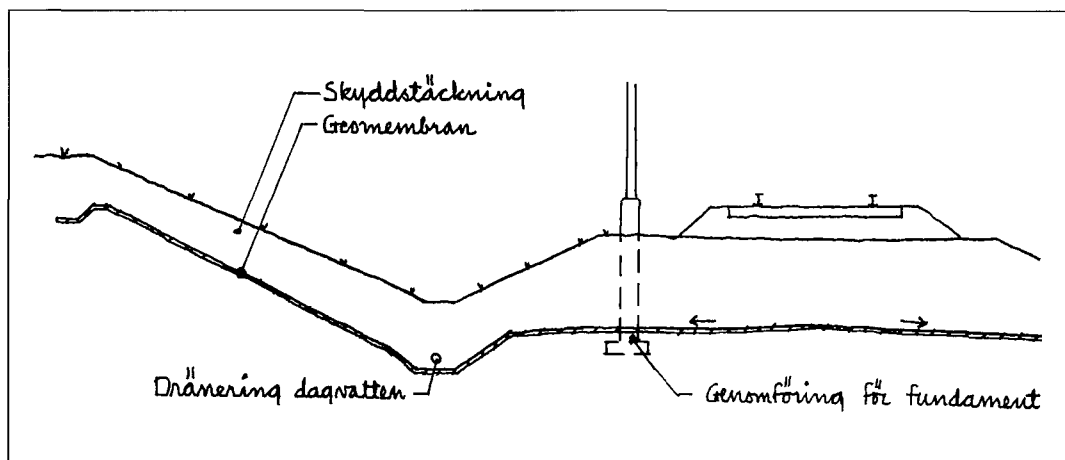
gäller skyddslager på tätskikten så att dessa inte skadas vid utläggning och packning av de grova materialen.

En väsentlig skillnad mellan järnväg och väg är att banvallen vid järnvägar inte har en tät yta. Tätskiktet bör därför omfatta hela banans bredd, inklusive banvallen. En annan skillnad är den frekventa omfattningen av genomföringar i tätskiktet vid järnvägar, t ex för stolpfundament för kontaktledningar.

Den tid som åtgår innan Räddningstjänsten når fram till en olycksplats och påbörjar saneringsarbetet dimensionerar tätskiktet vad avser tätskiktskonstruktionens uppsamlingskapacitet och beständighet. Vid järnvägar kan möjligen denna tid bli längre än vid olyckor på vägar. Valet av material med hänsyn till beständigheten mot kemikalier kan därför vara av större betydelse vid järnvägar.

Sättningarna under järnvägsbankar är i allmänhet förhållandevis små. Töjningar eller andra deformationer i geomembranen blir därför begränsade och sällan dimensionerande.

På Banverket pågår för närvarande arbete inom det miljötekniska området, bl a tar man fram en föreskrift för grundvattenskydd.



Figur 2:2. Exempel på tätskikt vid järnvägar.

Flygplatser

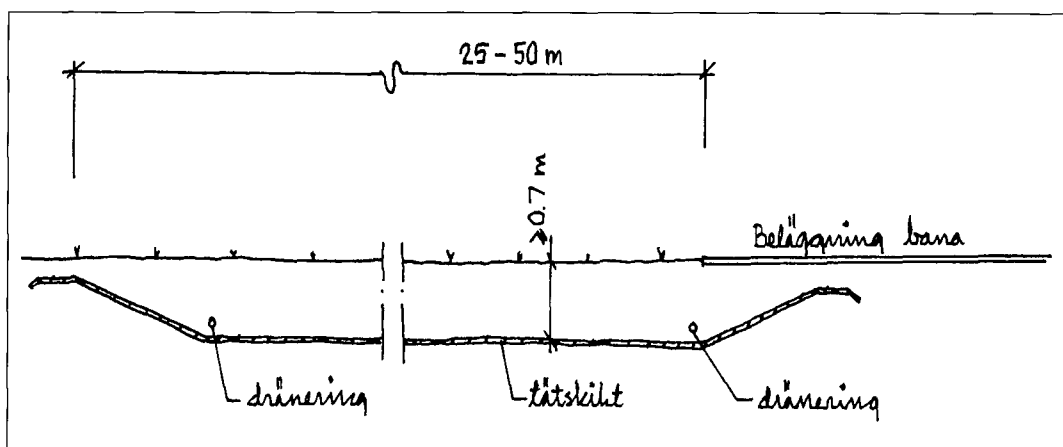
På flygplatser förekommer verksamheter där föroreningstyperna är kända och väl dokumenterade. Dagvattnet innehåller vätskor som använts för avisning av flygplan samt för isbekämpning på start- och landningsbanor. Vidare kan visst bränslespill och ämnen från däck finnas i dagvattnet.

Typiskt för tätskikt vid flygplatser är att stora arealer föreligger och att ett omhändertagande av stora vattenmängder krävs. Utjämningsdammar förekommer i allmänhet innan vattnet kontrolleras och leds vidare, eventuellt för rening.

Dammarna tätas vanligen med enkelt skikt av geomembran.

Tätning för att samla upp dagvattnet rekommenderas att utföras under hela banområdet upp till ett avstånd på 50 m utanför bankant.

Beträffande tätning under banor har i Sverige hittills banbeläggningen betraktats som tät. Tät asfaltbetong med inlagt bitumenskikt indelat med fogar har använts. På uppställningsplatser har konstruktionen ersatts med betong.



Figur 2:3. Exempel på tätskikt vid flygplatser.

Avfallsupplag

Tätskikt vid avfallsupplag förekommer i huvudsak som tätning av upplagets botten och i den slutliga täckningen över upplaget. Även mellantäckningar (inne i avfallet) med tätskikt förekommer.

Den deponeringsfilosofi som finns i Sverige och som drivs av Naturvårdsverket är publicerad i "Deponering av avfall, Förslag till Allmänna råd", Rapport 4610. Man skiljer på två tidsfaser; den aktiva fasen och den passiva fasen. Den aktiva fasen avser den period när själva deponeringen av avfallet sker, inklusive den aktiva kontrollperiod som följer omedelbart efter avslutningen av upplaget. Den passiva fasen omfattar tiden därefter, ospecificerad i längd, men tidsperspektivet är 1000-årigt.

Naturvårdsverket delar in upplagen i tre klasser där klass 1 avser upplag som kan ge störst skada på omgivningen, klass 2 utgörs i princip av "vanligt" hushållsavfall (eller motsvarande) och klass 3 avser schaktmassor och liknande.

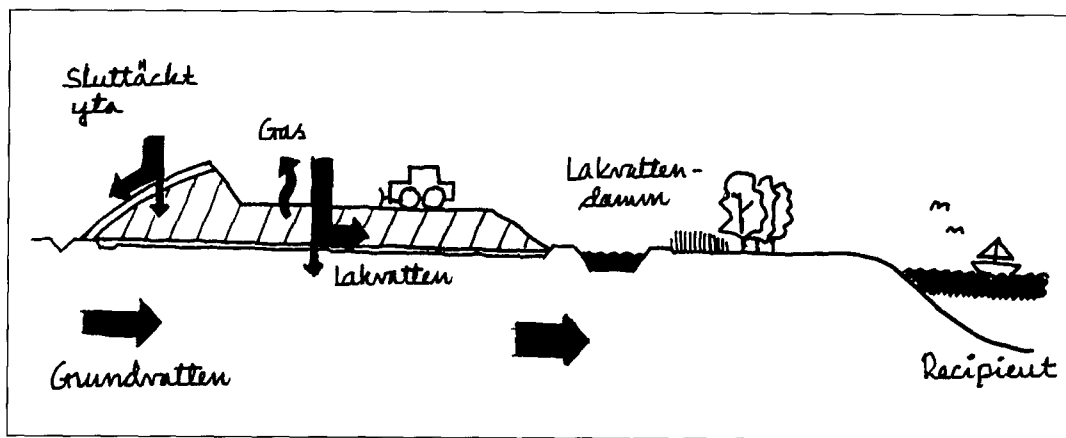
För tätskiktens vidkommande vid avfallsupplag är det väsentligt att notera att klass 1 och 2 i den aktiva fasen kräver lakvattenuppsamling, t ex via bottentätning, klass 3 kräver däremot normalt inte detta. I den passiva fasen kräver klass 1 att maximalt 5 mm vatten per år ($5 \text{ l/m}^2, \text{år}$) får infiltrera i upplaget (och därmed

skapa lakvatten), för klass 2 maximalt 50 mm och för klass 3 är siffran 500 mm. I sistnämnda fallet är en jordtäckning oftast tillfyllest.

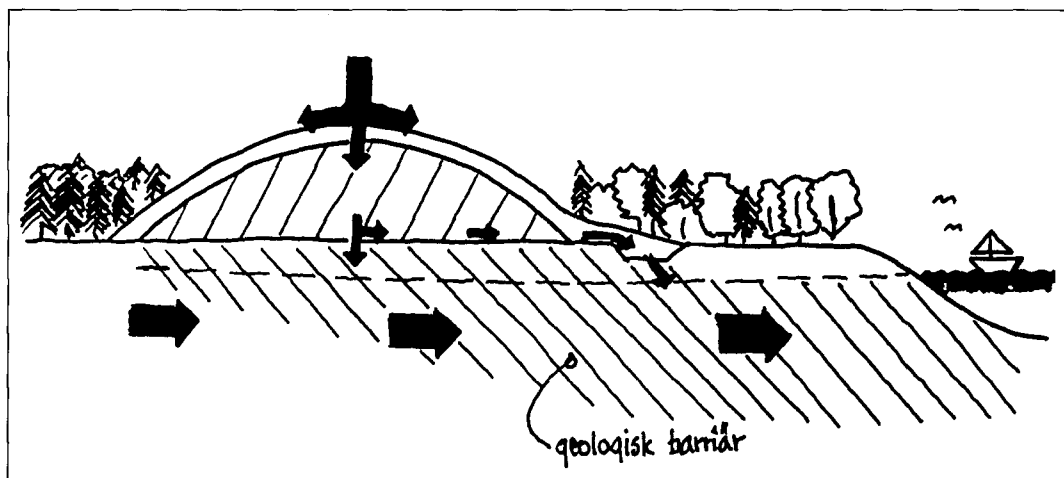
Naturvårdsverkets syn på avfallsupplagets uppträdande på lång sikt skiljer sig något från den syn som andra länder i allmänhet har. Man strävar på lång sikt (passiva fasen) inte efter fullständigt täta upplag, vilket ofta är fallet i utlandet, utan tillåter viss mängd av upplagets föroreningsämnen att sippra ut. Principen är att under den mycket långa tidsperiod som ett upplag kommer att utlaka olika ämnen, skall detta ske långsamt och i en takt som möjliggör för omgivningen att "ta hand om" föroreningarna.

Kännetecknande för bottentätningen i avfallsupplag är att den måste tåla hög belastning och vara resistent mot diverse kemiska angrepp eftersom lakvatten vanligen innehåller många ämnen. Beständigheten över tiden är däremot begränsad; i princip gäller denna endast till den dag då upplaget försetts med sin tätning i sluttäckningen.

Bottentätningen vid avfallsupplag läggs i lutning mot brunnar och ledningar, som leder lakvattnet vidare till ett eller flera lakvattenmagasin.



Figur 2:4. Upplagets aktiva fas.



Figur 2:5. Upplagets passiva fas.

Bottentätningen kräver för funktionssäkerheten att skyddsskikt läggs över tätningen. Vid tunna tätskikt (geomembran) brukar regeln vara att avfall inte får ligga närmare tätskiktet än ca 0,5 m. Risk finns annars för punktering av tätskiktet från kompaktornas taggförsedda hjul eller av avlånga föremål.

Naturvårdsverket använder begreppet "kvalificerat tätskikt" vid sin klassificering av upplag. Vid geomembran, dvs tunna tätskikt, bör detta tolkas som ett komposittätskikt, där även ett jordskikt kan ingå, se kapitel 3. Komposittätskiktet innebär väsentligt mindre risk för allvarliga läckor, jämfört med läckor vid enkla tätskikt.

Bland kraven på tätningen i avfallens sluttäckning, topptätningen, är ett krav speciellt såtillvida att tätningen skall vara beständig över mycket lång tid (1000-årsperspektivet). Kravet innebär att basmaterialet bör utgöras av ett naturmaterial, eventuellt i kombination med ett mycket beständigt konstgjort material. Ett annat viktigt krav på topptätningen är att den bör tåla relativt stora deformationer eftersom avfallsupplag normalt sätter sig.

Dimensioneringen av topptätningen kräver hänsynstagande till flera parametrar (nederbörd, avrinning, avdunstning, dräneringskapacitet m m) för att inte nå över de maximala mängder vatten som Naturvårdsverket stipulerar för olika deponiklasser. En mera noggrann beräkning får man genom datamodellering. En modell i detta sammanhang är den internationellt använda HELP, som involverar och tar hänsyn till klimatdata och egenskaper hos tätskiktets olika delar.

Inom EU finns förslag till ett detaljerat direktiv för deponering. När detta förslag skall ratificeras är oklart, men kommer sannolikt att ske under 1999. Direktivet avviker i princip inte från Naturvårdsverkets Förslag till Allmänna Råd annat än i den jordbarriär (mineral layer) som skall underlagra bottentätningen.

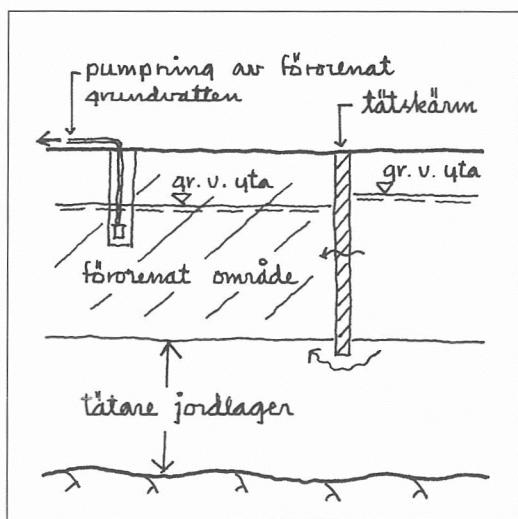
Förorenade markområden

Tätskikt i samband med förorenade markområden förekommer som temporära botten- eller topptätningar vid t ex uppläggning av förorenade jordmassor. Vald ambitionsnivå på tätskiktet varierar och är beroende på föroreningens toxicitet och rörlighet. Ofta väljs ett enkelskikt av geomembran.

Att täta och täcka ett förorenat markområde för att därefter bebygga marken är relativt vanligt. Tätningen har där oftast funktionen att hindra gas att tränga upp i byggnaderna.

I förorenade markområden förekommer tätskikt också i form av tätskärmar i mark för att innesluta och hindra spridning av föroreningen. Vertikala skärmar, t ex plastspont eller slitsmurar av bentonitslurry, är produkter som används för detta ändamål.

Ytterligare en tillämpning för tätskikt är att reglera grundvattennivån i det förorenade området. Flera skäl kan finnas till detta, t ex önskemål om att hålla föroreningen under vatten för att undvika vittring eller snabb biologisk nedbrytning. Vidare kan man med hjälp av tätskiktet skapa en grundvattengradient som garanterar viss strömningsriktning.



Figur 2:6. Exempel på tätskikt i förorenat område, där pumpning sker för att hindra föroreningsspridning.

Dammar

Dammar som fordrar tätskikt kan vara av olika slag, t ex saneringsdammar, lakvattendammar och dagvattendammar. Dammarna används för att samla föroreningarna, i väntan på borttransport och behandling, alternativt behandling i själva dammen eller för att enbart utjämna flöden.

Enklaste tätskiktet i en damm är ett icke täckt syntetiskt geomembran. Påverkan av is eller annan risk för mekanisk skada är viktigt att beakta, särskilt om vätskeytan skall fluktuera i dammen. Man bör också vid syntetiskt geomembran uppmärksamma att beständigheten mot UV-ljus kan vara begränsad hos materialet.

Ett inte ovanligt belastningsfall på tätskiktet i en damm är upptryckning, via grundvattnet eller underliggande gas, när dammen är tömd eller delvis tömd. I sådana fall bör tätskiktet förses med motvikt. Ofta lägger man ett skikt av makadam eller liknande på tätskiktet. Hög friktionsvinkel eftersträvas eftersom dammar ofta byggs med relativt branta slänter.



Figur 2:7. Exempel på tätskikt i damm.

En kritisk punkt i en damm är utloppet. Ofta uppträder läckor kring utloppsröret där detta dras genom tätskiktet. Utloppet från en damm bör därför placeras i dess botten och inte i dammens slänt. Installatören kan på detta sätt arbeta på en plan yta, varvid skarpa veck undviks och arbetet blir lättare att kontrollera.

Tunnlar

Tätskikt i tunnlar krävs normalt av två orsaker; för att hindra inläckage av grundvatten som kan leda till grundvattensänkningar i ovanliggande markområden och för att skapa en acceptabel miljö i tunneln.

Stora krav ställs på dessa tätningar och deras funktion under lång tid. 100 år är inget ovanligt krav på livslängd.



Figur 2:8. Tunneltätning under montering.

Färdiga system med syntetiska geomembran som tätskikt finns utvecklade från leverantörer. Principen går ut på att gjuta in infästningsdetaljer med sprutbetong på tunnelväggarna. Geomembranet fästs sedan mekaniskt eller genom svetsning. Vid mekanisk infästning svetsas skarvarna efter upphängning. Geomembran för tunneltätning skall vara brandsäkert.

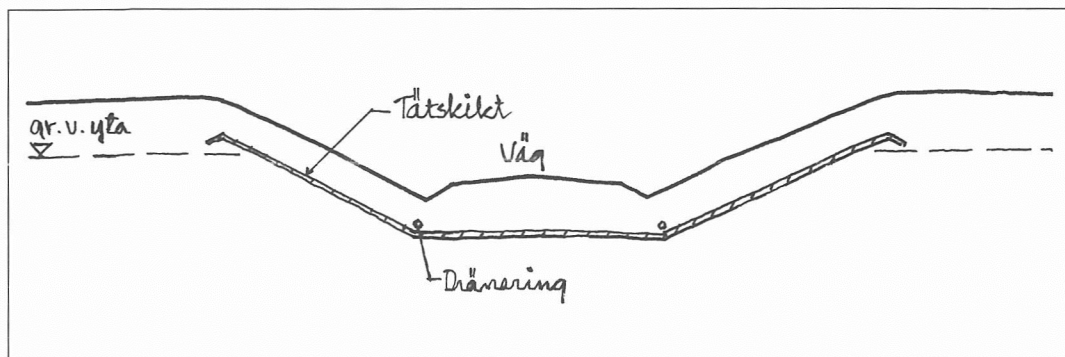
Minsta tjocklek som används vid tunneltätning är 2,0 mm, men tjockare geomembran kan krävas om tätskiktet förväntas utsättas för vattentryck. Vidare kan tjockare skikt krävas vid installationer under tunnelns körbanor.

Styra grundvattennivå

Tätskikt används i allt större utsträckning för att styra grundvattennivåer i olika sammanhang. I tidigare avsnitt har detta antytts, bl a vid vägar och vid förorenade områden.

En tillämpning visas i figur 2:9, som kan gälla i

en skärning för en väg. Tätningen hindrar grundvatten att strömma ut i den nedskurna sektionen. Vad som särskilt måste beaktas är lyftkraften på tätningen och de överliggande massorna samt att det vatten som däms upp kan dräneras bort.



Figur 2:9. Tätning för att styra grundvattennivå.

3. Konstruktion

Konstruktionen av ett tätskikt kräver kunskap om funktionskraven och hur man tillfredsställer dessa, men också kunskap om tillgängliga material och deras egenskaper samt om metoder för utförandet. Inte sällan blir t ex materialets friktionsvinkel styrande för schaktslänters lutning eller så måste speciella konstruktionsanordningar göras för att t ex förankra geomembranväder.

Det är en mängd uppgifter som skall specificeras när en tätskiktskonstruktion skall föreslås. Några av de viktigaste är:

- tillåten genomströmning genom tätskiktet av det/de ämne/ämnen som tätskiktet skall avskilja
- gradienten över tätskiktet (tryck- eller koncentrationsgradient)
- permeabiliteten hos tätskiktet för det/de ämne/ämnen som tätskiktet skall avskilja
- ”kemisk belastning” på tätskiktet från förekommande ämnen
- kemisk motståndskraft hos tätskiktet för det/de ämne/ämnen som tätskiktet skall avskilja
- fysisk belastning på tätskiktet (t ex överfyllnad och sättningar)
- fysisk motståndskraft hos tätskiktet (t ex mot uttorkning, sättningar och penetration)
- drifttid för tätskiktet
- installationsförutsättningar (t ex väderlek och utrymme)

Geomembran

Enkelt tätskikt

Konstruktionen i ett enkelt tätskikt består av ett syntetiskt geomembran eller ett lergeomembran.

■ Underlaget

Underlaget skall vara avjämnat, packat och fin-kornigt med en maximal kornstorlek på 4 mm. Underlaget skall vara fritt från rötter och andra föremål. Ojämnheten bör inte vara större än 50 mm/m. Om dessa förutsättningar inte förväntas uppnås för det naturliga underlaget skall ytan förses med någon typ av skydds- och avjämningskikt t ex sand 0-4 mm eller en skyddsgeotextil. Sandskiktet skall packas och behöver inte utföras med större mäktighet än att det täcker det grövre underlaget.

■ Tätskiktet

Val av tätskikt, syntetiskt geomembran alternativt lergeomembran, görs utifrån förutsättningarna. I kapitel 7 och 9 rekommenderas de parametrar som skall anges vid specifikationen i förfrågningsunderlaget, nedan nämns några viktiga parametrar.

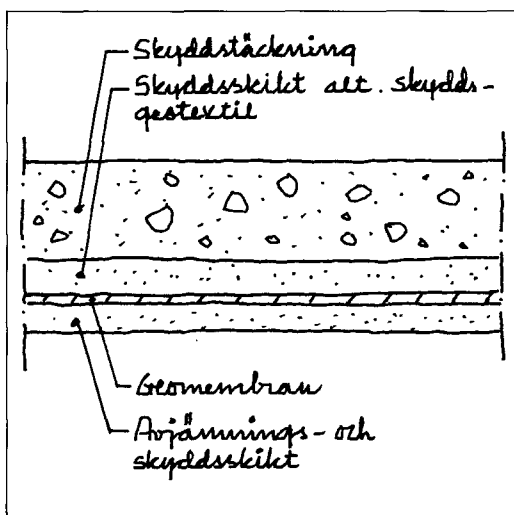
För syntetiska geomembran bestäms vilken polymertyp, tjocklek och skarvningsteknik som skall föreskrivas. För lergeomembran bör bentonittyp, bentonitmängd per m², typ av geotextiler och sammanbindningstyp utredas. Beakta också kravet vid konstruktion av lergeomembran att dessa måste belastas före svällning inom 24 timmar med minst 4 kPa för att fungera.

■ Skyddskikt och skyddstäckning

Överfyllningen är lika viktig som underlaget. För syntetiska geomembran skall skyddsskiktet antingen bestå av ett skyddslager sand 0-4 mm ca 0,1 m tjockt eller en skyddsgeotextil. För lergeomembran används normalt inte skyddsgeotextil som skyddsskikt.

Skyddstäckningen ovanpå skyddsskiktet kan bestå av en blandkornig jordart. Den totala mäktigheten på överfyllnadens tjocklek bör minst vara 0,5 m. Detta gäller också för körbara ytor. Skyddstäckningens mäktighet bedöms utifrån mekanisk påverkan, rotnedträngning och frostdjup.

Utläggning av skyddsskikt av sand och skyddstäckningsjord skall alltid utföras i motlut, även om lutningen är liten. Utbredning med schaktblad bör inte göras.



Figur 3:1. Principskiss enkelt tätskikt.

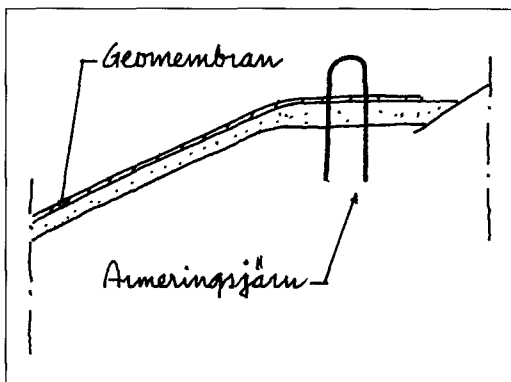
Om dräneringsskikt över tätskiktet behövs och detta utförs med grövre material (t ex makadam 8-32 mm) skall detta skikt läggas ovanpå skyddsskiktet. Används sand som skyddsskikt kan i de flesta fall sandens tjocklek inkluderas i dräneringsskiktets tjocklek.

Skyddstäckning på geomembran i t ex lakvatten- eller dagvattendammar kan ofta vara praktiskt svår och kostsam att utföra, se avsnittet lakvattendammar.

■ Slänter

Geomembran i slänter skall alltid avslutas i överkant slänt med en förankringszon, antingen som temporär förankring under installationen eller som permanent förankring. Släntens lutning bör inte överstiga 1:3. Brantare slänter kan dock ibland vara nödvändiga för konstruktionen. För alla konstruktioner i slänter beaktas följande:

- släntens längd,
- egenvikten av geomembranet,
- erforderlig förankringslängd,
- typ av förankring (dike eller mekanisk infästning),
- jordens hållfasthet framför förankringspunkten,
- armering av skyddstäckning (vid låg friktion mot geomembranet).

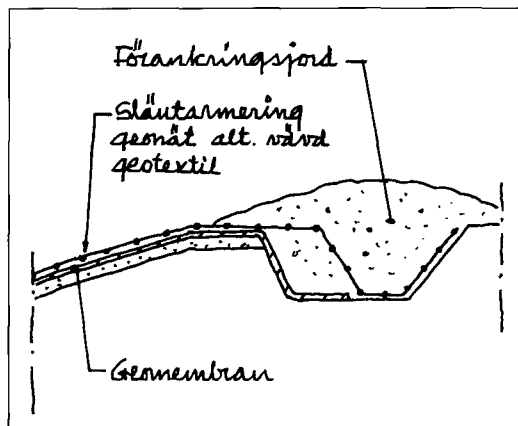


Figur 3:2. Exempel på temporär förankring.

Eftersom både jord och geotextiler har låg friktion mot släta syntetiska geomembran, se kap 4, kan den skyddstäckande jorden bli instabil i en slänt. För att motverka detta kan flera åtgärder vidtas, t ex

- flackare slänt
- flackare lutning på skyddstäckningen än på geomembranet
- ökad mäktighet på skyddstäckningen
- skyddstäckningsjord med högre friktionsvinkel
- armering med geonät eller vävd geotextil ovan geomembranet som förankras separat
- installation av syntetiskt geomembran med friktionsyta

Beträffande beräkning av stabilitet och dimensionering av armering för skyddstäckningen i slänter, se *bilaga 1*.



Figur 3:3. Principskiss på permanent förankring av geomembran med släntarmering.

■ Genomföringar och infästningar

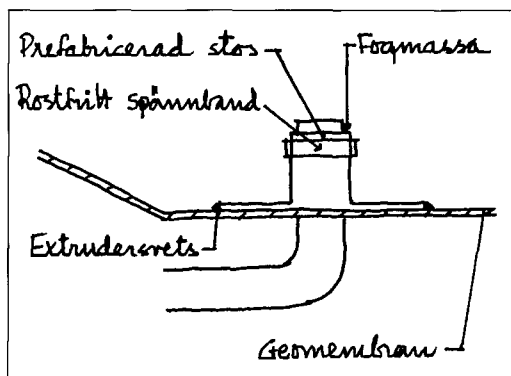
Alla typer av genomföringar eller infästningar till andra konstruktioner är alltid svaga punkter i en tätskiktsskonstruktion och bör därför minimeras. I detta avsnitt behandlas följande typer:

- Rör och brunnar
- Betongfundament
- Betongväggar

Redan på konstruktionsstadiet är det viktigt att genomföringar utformas på ett sätt att de är möjliga att installera med högsta kvalitet. Några tumregler är:

- Vinkelrät genomföring mot geomembranen
- Endast släta rör eller brunnar
- Undvik trånga utrymmen för infästningar eller genomföringar
- Täta infästningar måste alltid utföras med någon typ av stabil list.

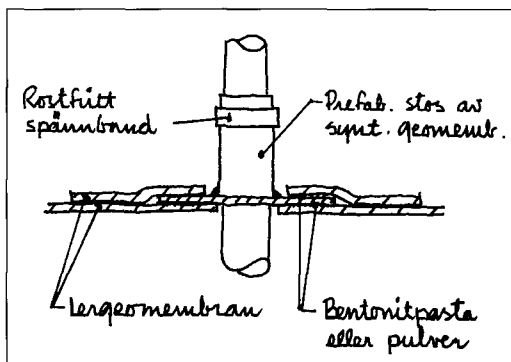
För syntetiska geomembran bör rör genomföringen om möjligt utföras med en prefabricerad stos. Stosens flata del extrudersvetsas mot geomembranen med en inlagd koppartråd för kontroll av täthet. Stosen mot röret tätas med fogmassa och ett rostfritt spännband, se princip i *figur 3:4*. Om rörmaterialet är av samma typ som geomembranen kan de svetsas mot varan-



Figur 3:4. Principskiss på rör genomföring genom syntetiska geomembran.

dra, vilket möjliggör ett utförande med rörets överkant i geomembranets plan.

Lergeomembran skarvas genom överlapp med bentonitpulver utan permanent fixering. Genomföringen kan principiellt utföras på samma sätt och med utformning som för syntetiska geomembran. En variant kan vara att komplettera med en syntetisk stos, se *figur 3:5*.

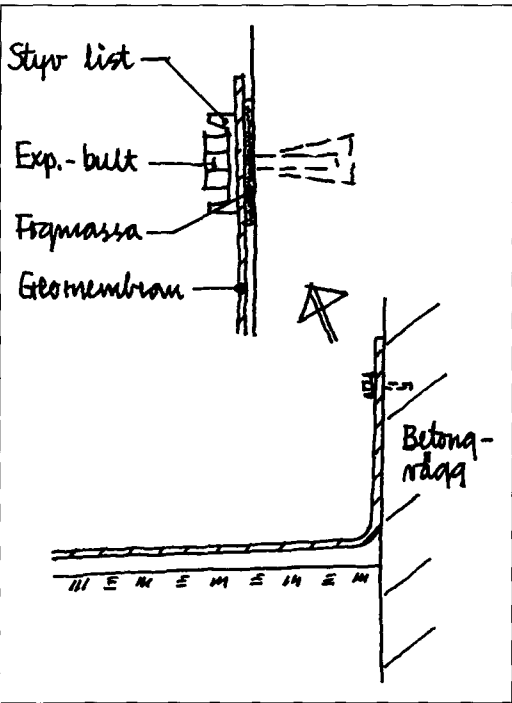


Figur 3:5. Princip kombinerad genomföring lergeomembran/syntetiskt geomembran.

Mot kantiga genomföringar, t ex rektangulära stolpfundament av betong, bör infästningen mot fundamentet göras enligt *figur 3:6*. Ibland måste tätning också göras mot andra ingående konstruktioner, t ex ett brofundament. Geomembranen fixeras kontinuerligt för att inte "krypa" ur bultskallar. En styv list av ett inte krypbenäget material, t ex vinkelprofil av rostfritt stål eller polyesterlist, monteras därför ut- anpå geomembranen för att fungera som en

bricka och för att ge ett kontinuerligt tryck mot den fogmassa som läggs mellan geomembranet och fundamentet. Infästningen bör ske med expanderbult, se figur 3:6.

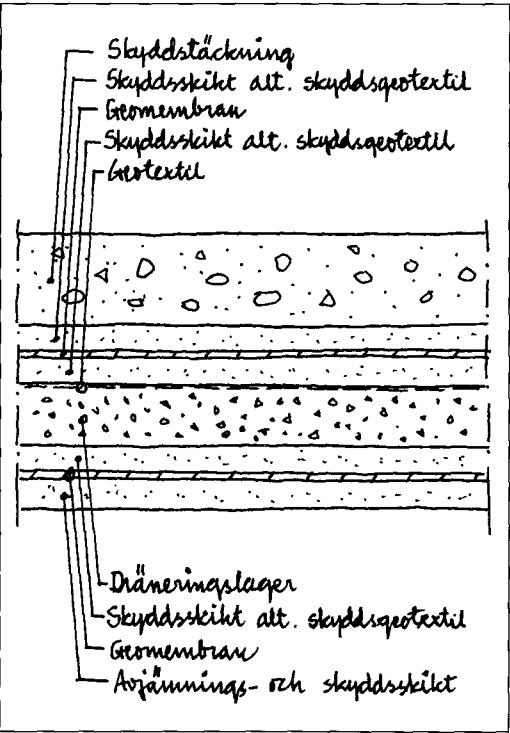
Ett alternativ är ingjutningsprofiler bestående av samma polymer som det syntetiska geomembranet. Geomembranet svetsas direkt på profilen med en extrudersvets. Profilen ingår som en del i betongkonstruktionen.



Figur 3:6. Exempel på tät infästning av geomembran mot andra konstruktioner.

Dubbelt tätskikt

Dubbelt tätskikt installeras ofta för att skapa ett mellanliggande lager av något slag. Konstruktionen är frekvent i USA där det mellanliggande lagret består av ett dräneringsskikt. Det undre tätskiktet fungerar som kontroll för eventuella läckande vätskor genom det övre skiktet. Det undre skiktet står i kontakt med ett uppsamlingssystem för mätning av läckagemängder och läckagets sammansättning. I övrigt utförs konstruktionen på samma sätt som för ett enkelt tätskikt. Typen av dränerande material och tjockleken på lagret bör dimensioneras från fall till fall.



Figur 3:7. Principskiss dubbelt tätskikt.

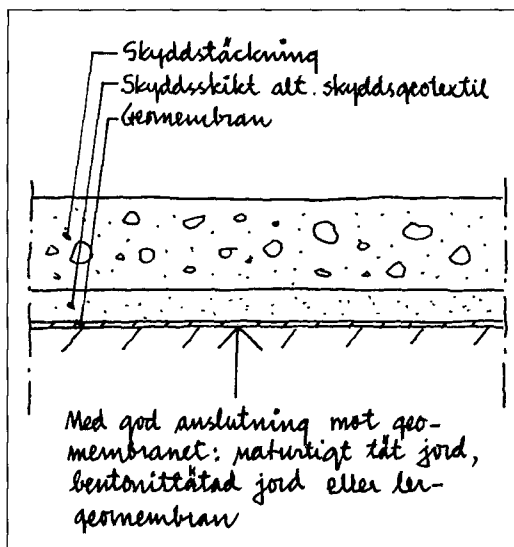
Komposittättskikt

Kompositkonstruktionen består oftast av ett syntetiskt geomembran som läggs på ett lergeomembran, på en tät naturlig jord eller på en bentonittätad jord. Konstruktionen minskar avsevärt eventuella läckagemängder, även om en stor mängd skador såsom hål och revor uppstår i det syntetiska geomembranet. För jämförande läckageberäkningar se bilaga 1.

Det ovanliggande geomembranet skall ha kontinuerlig kontakt med det underliggande tättskiktet. Ett lergeomembran som ingår i kompositen bör överlappas. Skarven bör pudras med bentonitpulver.

Kompositmembran är en färdig produkt med kombinationen syntetiskt geomembran/lergeomembran. Det syntetiska geomembranet skall vara svetsat för att ett fullgott tättskikt ska fås.

Komposittättskikt utförs i princip på samma sätt som enkelskikt.



Figur 3:8. Exempel på konstruktion med komposittättskikt.

Naturlig jord

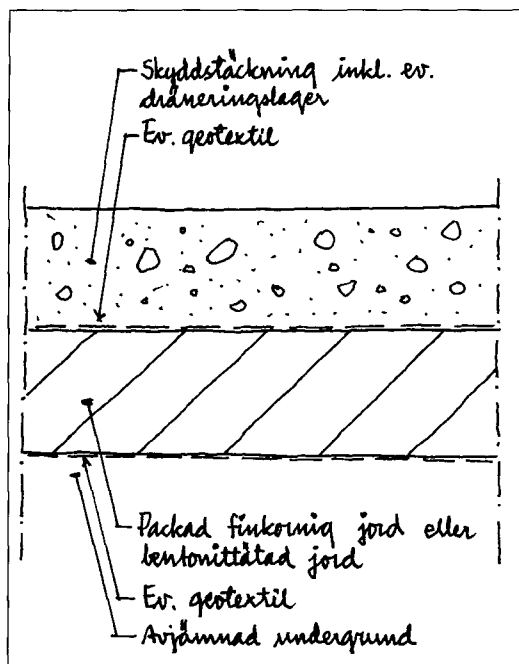
Vid användning av naturlig jord som tättskikt skall underytan vara väl avjämnad och packad. Ytans jämnhet är viktig för att hålla tättskiktets tjocklek vid installationen. Materialskiljande lager av t ex en geotextil kan vara nödvändigt att använda för att separera tättskiktet från underlaget.

Val av jordmaterial görs med utgångspunkt från kravet på täthet och tillgång på lämpligt material. Tätning med jord i minst två delskikt rekommenderas för att reducera påverkan från dåliga partier i materialet. De olika delskikten bör överlappa varandra så att skarvar inte ligger mitt över varandra. Bredden på varje delskikt avgörs i första hand av den utbredningsutrustning som skall användas. Normalt kan man räkna med bredder på 3-5 meter.

Principen för skyddstäckning gäller som för övriga tättskikt. Möjligen kan man vid mäktiga tättskikt reducera skyddstäckningens tjocklek jämfört med tättskikt av geomembran.

Dräneringsskikt ovan tättskiktet kan vara aktuellt för att begränsa tryckgradientens storlek och därmed minska mängden genomströmmande vatten. Dräneringsskiktet läggs lämpligen på en geotextil med uppgiften att separera tättskiktet och dräneringsskiktet.

Utbrednings- och packningförfarande bör beskrivas noggrant för de ingående skikten i konstruktionen.



Figur 3:9. Principskiss för tätskikt av naturlig jord eller bentonittätad jord.

Bentonittätad jord

Samma underlag skall gälla för bentonittätad jord som för naturlig jord.

Vanligast vid bentonittätning av jord är att använda en mineraljord i sandfraktion, men man bör inte utesluta andra typer och fraktioner. Blandningarna bör alltid kontrolleras vad gäller tätheten, vilket bäst görs i permeabilitetscell i laboratorium. Man studerar därvid permeabiliteten hos proverna som funktion av bentonitblandning och densitet. Densiteten (vid given bentonithalt) är sedan den parameter som kontrolleras i fält. Tätheten i bentonitblandad jord styrs praktiskt taget helt av hur väl man kan packa skiktet.

Behöver man anlägga dräneringsskikt bör man överväga om materialskiljande lager behövs, t ex i form av geotextil.

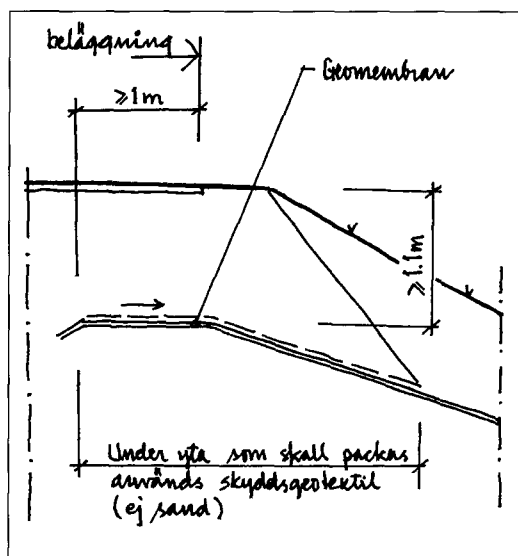
Typ av skyddstäckning och mäktighet anges och utförs i likhet med övriga tätskiktskonstruktioner. Eftersom bentoniten skall svälla under belastning för att få en god tätande verkan så skall tätskiktet belastas med minst 4 kPa inom 24 timmar.

Allt arbete med blandning, utbredning och packning skall noggrant beskrivas vid bentonitblandad jord. I kapitel 8 finns utförandet mer detaljerat beskrivet.

Konstruktioner och problemställningar vid olika tillämpningar

Vägar

Dikestättning är ofta den lösning man använder vid befintliga vägar. Vid dikestättning läggs geomembranet ca en meter in i vägkroppen. Syntetiska geomembran bör skyddas med t ex en geotextil som dimensioneras för att klara vägkroppens uppbyggnadsmaterial samt den packning som utförs för att erhålla en stabil vägkant. Den del av geomembranet som läggs in i vägkroppen skall ha lutning mot diket. Konstruktionen innebär att en extra terrassdränering eventuellt kan uteslutas.



Figur 3:10. Exempel på utformning mot vägkroppen vid dikestättning.

Dikets lutning och dränering är väsentlig eftersom dikesvatten inte får bli uppdämt på tätskiktet. Även vid små skador på geomembranet kan läckagemängderna bli avsevärda med tiden.

Några frågor att ta hänsyn till vid utformningen av tätskikt kring vägar:

- Vilka föroreningar kan förekomma och hur skall dessa samlas upp?

- Vilken utbredning i tvärlängd mot ytterslänt erfordras?
- Till vilken nivå i förhållande till vägytan skall tätskiktet läggas?
- Skall tätning under hela vägkroppen utföras?
- Hur långt längs med vägen skall tätningen utföras?
- Vilket är kravet på täthet hos tätskiktet?
- Hur skall tätskiktets funktion säkerställas?
- Hur utförs genomföringar vid korrugerade vägtrummor?
- Vilka skyddsskikt för geomembran skall användas?
- Hur är slänternas stabilitet?
- Hur utformas genomkörningsskydd och vilken tjocklek på skyddstäckningen skall föreskrivas?
- Hur ansluts tätskikt mot brofundament?

Utöver konstruktionen finns flera frågor kring drift- och underhåll, t ex

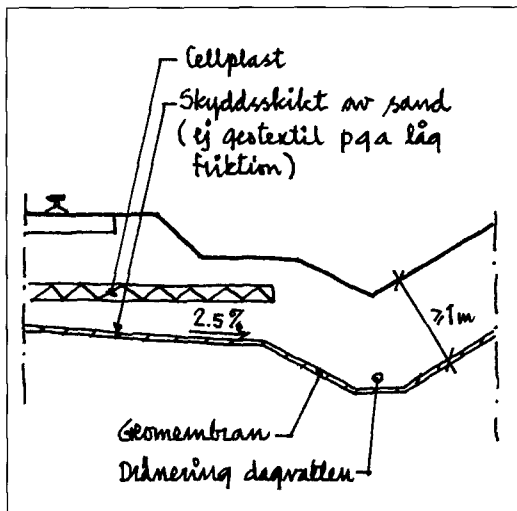
- vilka åtgärder skall vidtas vid olyckstillbud?
- hur skall tätskiktet återställas efter olyckstillbud?

Vid användning av naturliga jordar rekommenderas finkorriga moräner eller lermoräner, som har goda packningsegenskaper och låg permeabilitet. Skiktets tjocklek bör vara 0,25 - 0,5 m och skall överlagras av ett genomkörningsskydd med en tjocklek på minst 0,7 m. Frostfritt djup bör beaktas om vatten finns i och under tätskiktet, t ex som kapillärt bundet vatten.

■ Järnvägar

Banvallen består av grovt ballastmaterial, som vilar på lager av underballast av grov friktionsjord, krossmaterial eller sprängsten. Tätskiktet måste därför utföras under hela banområdet.

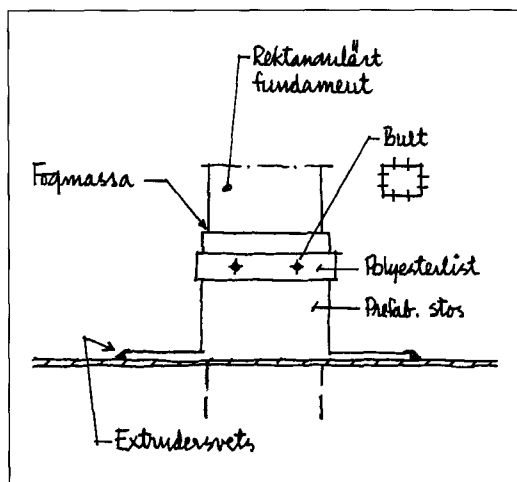
På båda sidor om banvallen installeras stolpar för kontaktledningen med olika avstånd i banriktningen. Stolparna monteras på ett betongfundament grundlagt på frostfritt djup. Tätskiktet kan normalt inte anläggas lägre än denna nivå, vilket innebär att ett relativt stort antal genomföringar skall göras. I bygghandlingarna



Figur 3:11. Exempel på utformning av tät-skikt vid upprustning av befintlig järnväg. Exemplet visar en skärning.

bör det beskrivas hur tätningen kring dessa skall utformas.

Beträffande frågor som bör beaktas vid konstruktion, se avsnitt Vägar.



Figur 3:12. Exempel på genomföring för rektangulärt stolpfundament för kontaktledning.

■ Flygplatser

Flygplatsens stora ytor kräver ett utbredd nät av ledningar och brunnar för att omhänderta allt det dagvatten som kan vara förorenat. Normalt sträcker sig tätningskravet upp till ca 50 m ut från start och landningsbana och upp till ca 35 m ut från taxibana.

Vanligt är att tätning inom banområdet utförs av bitumenbundna skikt som ingår som en del i beläggningen. Uppställningsplatser på större flygplatser utförs ofta av betong. Betongen anses här fungera som tätskikt.

Utanför banområdet kan andra tätskikt vara aktuella, t ex geomembran som ansluts till systemet för uppsamling av dagvatten.

Eftersom stora mängder dagvatten skall tas om hand bör oftast utjämningsdammar anläggas inom flygplatsområdet. För tätning av dessa kan ett enkelt tätskikt av geomembran vara en tillfredsställande konstruktion, se också avsnitt deponi och lakvattendamm.

■ Deponier

Inom en avfallsanläggning förekommer ett flertal områden som kan kräva tätande åtgärder både för att minska lakvattenmängden och för att hindra spridning av förorenat vatten. För uppsamling av lakvatten utförs botten-tätning för exempelvis rötningsceller, komposterings-ytor, avfallsupplag och lakvattenmagasin.

Begränsning av mängden lakvatten ut från deponin sker efter principen "inget vatten in, inget vatten ut". Lakvattenbegränsande åtgärder domineras av tätskikt på överytan av upplaget. Tätningen kan utföras i en mellantäckning (under drift) eller som en del i sluttäckningen. I vissa fall behöver särskilda tätningar utföras för att hindra inträngning av grund- och ytvatten.

Bottentätning

Bottentätningens funktion är att säkra att lakvattnet leds till bestämda punkter, t ex lakvattendamm.

Några punkter att beakta för en botten tätning är:

- Lakvattnets sammansättning
- Krav på livslängd hos tätskiktet
- Krav på täthet hos tätskiktet
- Statisk last och annan påverkan (t ex risk för stickhål) från avfallet
- Tjocklek på skyddstäckning på grund av avfallet
- Särskild skyddstäckning för vägar (t ex kompaktörvägar)
- Underlagets bärrighet och deformation
- System för dränering av lakvatten
- Släntlutningar och släntlängder
- Vilka krav finns på läckage och hur skall kontroll av eventuellt läckage ske?

Tätning i mellantäckning

En tätning i en mellantäckning kan i deponi-sammanhang ses som en temporär åtgärd även om tätningen skall fungera under många år. Tätskiktet anläggs för att begränsa lakvattenbildning under fortsatt deponering. För att tekniken skall fungera bör mellantäckningsytan indelas i mindre delytor som avgränsas med mindre vallar. Från varje delyta utgår en avloppsledning som leder renvatten utanför deponiområdet. När deponering av avfall påbörjas inom en delyta leds vattnet till lakvattensystemet.

Några punkter att beakta vid mellantäckning är:

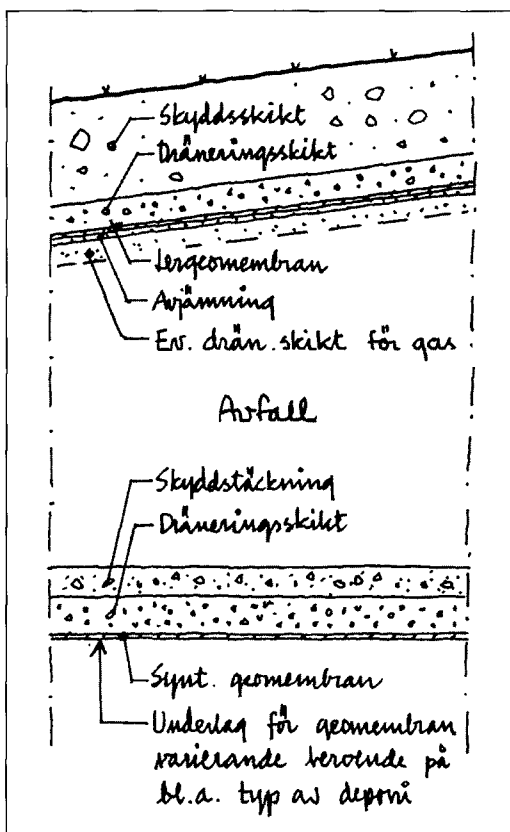
- Storlek på delytor för fortsatt deponering (bl a med hänsyn till inflöde av avfall)
- Access till delytor med kompaktör och lastbilar
- Sättningsarna hos liggande avfall (under mellantäckningen)
- Krav på avjämningen (material, tjocklek, lutning och jämnhet) på liggande avfall
- Dränering av dagvatten och lakvatten
- Dränering av gas från underliggande avfall
- Lyftkrafter från vind (speciellt vid syntetiska geomembran)
- Släntlutningar och släntlängder
- Skyddstäckningar

Sluttäckning

Den slutliga åtgärden för en deponi är att täta överytan för att begränsa mängden framtida lakvatten. Sluttäckningen skall också fungera som barriär mot inträngning av syre. Naturvårdsverket har i sin "Allmänna råd" angivit generella krav som skall gälla för en sluttäckning, se också kapitel 2.

Utmärkande för en sluttäckning på en deponi är den långa tidsperiod, ofta ett 1000-årsperspektiv, som skall gälla för funktionen. Detta ställer särskilda krav på tätskiktets material och tätskiktets utformning.

Ovanpå tätskiktet i en sluttäckning bör normalt ett dräneringsskikt läggas för att hindra, eller begränsa, att en tryckgradient uppstår över tätskiktet, se också *bilaga 1* över beräkningar. I de fall där sluttäckningen har en viktig funktion



Figur 3:13. Exempel på konstruktion av botten tätning och toptätning i deponi.

som syrebarriär kan dräneringsskiktet utslutas eller läggas högre upp i täckmassorna. Förut-sättningar för en vattenbarriär mot tätskiktet finns då genom att porerna vattenfylls i det ma-terial som ligger mellan dräneringen och tät-skiktet. Syrediffusionen minskar därmed vä-sentligt.

För tätskikt i sluttäckningar skall hänsyn tas till frostdjup och rotnedträngning.

Några punkter att beakta vid konstruktionen för ett tätskikt i en sluttäckning är:

- Krav på tätskiktets livslängd
- Krav på täthet (hydraulisk konduktivitet)
- Framtida markanvändning
- Belastningar på tätskiktet av framtida sätt-ningar i upplaget
- Skydd för yttre mekanisk påverkan (borr-ning, schaktning, förslitning)
- Skydd för frost och rotpenetration
- Skydd för vindfällan
- Fortsatt gasbildning i avfallet

Lakvattenbassänger

Bassänger för uppsamling av lakvatten finns el-ler anläggs inom de flesta avfallsanläggningar. Bassängerna kan användas både som utjäm-ningsmagasin och som en del i en reningspro-cess. Installation av luftningsanordningar och strömbildare i bassängerna är vanligt.

Syntetiska geomembran är mest vanligt före-kommande i lakvattenbassänger.

Tätskiktet i lakvattenbassänger behöver nor-malt inte skyddstäckas annat än där snabbt strömmande vatten förekommer, t ex vid ejek-torluftare. Ibland kan tillträde med maskiner inom bassängen behövas, vilket kräver skydds-täckning. I de fall där risk finns för botten-upptryckning behöver tätskiktet täckas för att åstadkomma tillräcklig motbelastning.

Om dammens livslängd är extremt lång kan skyddstäckning vara nödvändig av beständig-hetsskäl. De flesta geomembran klarar dock att ligga oskyddade under begränsad tid. Vid

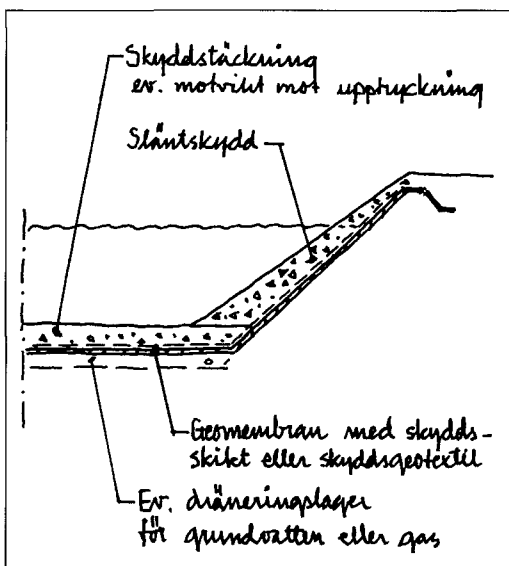
oskyddat geomembran blir livslängden kortare främst beroende på påverkan från UV-ljus. Vi-dare kan många års mekaniska påverkan, t ex iserosion och aktiviteter från djur och männis-kor, bli kritisk för beständigheten.

Den tid ett syntetiskt geomembran klarar att vara oskyddat beror på materialet och de om-ständigheter som råder i varje särskilt fall. Slänterna kan normalt göras brantare i bassäng-er där skyddsskikt inte behöver läggas ut.

Vattennivån i en lakvattenbassäng varierar, vil-ket kan innebära kraftig påverkan av isrörelser under vintern.

Några punkter att beakta vid konstruktionen av ett tätskikt i en lakvattenbassäng är:

- Krav på tätskiktets livslängd
- Krav på täthet (hydraulisk konduktivitet)
- Lakvattnets sammansättning
- Undergrundens egenskaper
- Grundvattennivåer (bottenuppträckning)
- Gasbildning under tätskiktet
- Rörgenomföringar och anslutningar mot fun-dament
- Iserosion



Figur 3:14. Exempel på tätskikt i lakvatten-damm.

4. Material

Materialen som används i tätskikt varierar i egenskaper och konstruktion. Kravspecifikationen avseende materialens egenskaper anges i varje enskilt fall i teknisk beskrivning. Beträffande rekommenderade parametrar se kapitel 7.

I detta avsnitt anges egenskaperna hos materialen i mera generella termer och exempel. Indelningen i material som kommer att behandlas är följande:

- syntetiska geomembran
- lergeomembran
- naturliga jordar
- bentonittätade jordar
- bitumenbundna lager.

Syntetiska geomembran

Ett syntetiskt geomembran består av en tillverkad plan, tunn struktur med hög täthet. Syntetiska geomembran tillverkas av en mängd olika material med varierande dimensioner, 0,5 - 5,0 mm tjocklek och bredder på 2 - 20 meter.

Tillverkningen sker genom extrudering, valsning eller sk co-extrudering. Co-extrudering innebär att flera skikt kan sammanfogas samtidigt vid tillverkningsprocessen. Denna metod möjliggör bl a att man kan lägga till tunna skikt av andra material för att förbättra en viss egenskap.

Syntetiska geomembran sammanfogas normalt på arbetsplatsen. För mindre ytor kan geomembranet prefabriceras. De vanligaste fogningsmetoderna är smältsvetsning, vulkning eller limning. Svetsning med dubbla svetsfogar ger en luftkanal i vilken skarvens täthet kan kontrolleras. Syntetiska geomembran är praktiskt

taget "helt" täta för vatten. Det är därför inte relevant att ange något värde på den hydrauliska konduktiviteten.

De vanligaste polymera råmaterialen som används vid tillverkning av geomembran är följande:

- HDPE, högdensitetspolyeten
- LDPE, lågdensitetspolyeten
- PVC, polyvinylklorid
- FPP, flexibel polypropen
- Butylgummi
- EPDM

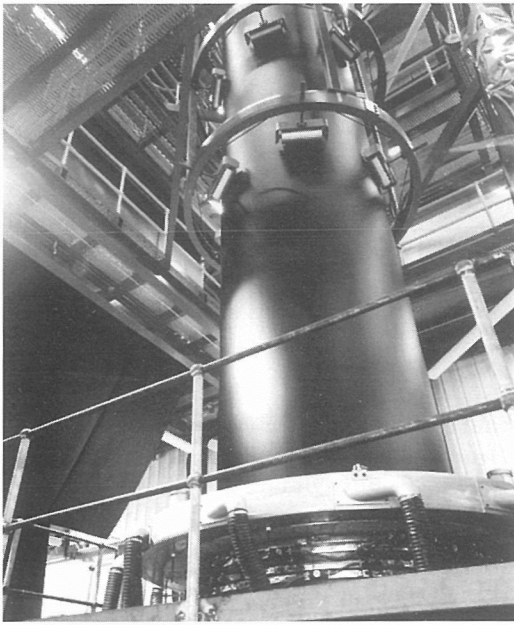
Även andra beteckningar på polyetenmaterial förekommer, t ex VFPE och LLDPE.

Polyeten (generellt)

Geomembran av polyeten tillverkas med olika densiteter på den ingående polymeren. Detta görs för att erhålla varierande egenskaper. Vid lägre densitet ökar flexibiliteten. Vid högre densitet ökar beständigheten mot kemikalier och åldring. De vanligaste typerna av polyetenkvaliteter beskrivs nedan.

Polyeten har hög termisk utvidgning, vilket innebär att vid en ökning/minskning av temperaturen med 20 °C kan förlängningen/förkortningen bli större än 20 %. Temperaturutvidgningen kan ibland vid stora ytor skapa veck eller vågbildning som måste åtgärdas. Motsatt, om temperaturen sjunker, kan detta ge upphov till dragpåkänningar i materialet som inte är önskvärda.

Geomembran av polyeten sammanfogas genom smältsvetsning.



Figur 4:1 Produktion av geomembran i røretruder.

HDPE

Geomembran av HDPE tillverkas genom extrudering i rör- eller planextruder, vanligast i tjocklekar 0,5-5,0 mm och bredder på 5-9 meter. HDPE har hög kemikaliebeständighet och anses vara mycket åldringsbeständigt. HDPE har en densitet på minst $0,94 \text{ g/cm}^3$.

HDPE-geomembran tillverkas med slät yta som har relativt låg friktion mot jordmaterial. Friktionsvinkeln mot sand är ca 16° , mot skyddsgeotextiler kan friktionen reduceras till endast 6° . Detta förhållande är viktigt att ta hänsyn till vid installation i slänter. Friktionsvinkeln varierar för olika typer av geosyntetprodukter, se *tabell 4:1*.

Tillverkning med friktionsyta (texturering) utförs för att erhålla bättre friktionsegenskaper. Släta geomembran innebär dock normalt bättre kvalitet med avseende på material, kontroll och installation.

HDPE är ett material som lätt bygger upp inre spänningar när det utsätts för överhettning eller mekanisk påkänning. Det krävs stor noggrannhet och kunskap vid installation för att undvika

sådana effekter.

Vid draghållfasthetsprovning ger HDPE ett pikvärde redan vid 10 % töjning, den s k flytgränsen, se *diagram 4:1*. Efter denna punkt har materialet förlorat sina ursprungliga egenskaper, bl a så spricker materialet. Brottvärdet som anges i specifikationer vid töjningen ca 800 % är således inte relevant med avseende på tätheten i en konstruktion.

Utöver polyeten innehåller den färdiga produkten ca 2 % kolpulver som tillsätts för UV-stabilisering samt små mängder antioxidationsmedel.

LDPE

Geomembran av LDPE tillverkas genom extrudering på samma sätt som HDPE. LDPE är samma polymer som HDPE men med något lägre densitet, $0,92 \text{ g/cm}^3$. LDPE-geomembran är ett mjukare material än HDPE och inte lika benäget att bygga upp inre spänningar.

LDPE har något lägre kemikalie- och åldringsbeständighet än HDPE. Friktionsvinkeln mot sand är ca 17° . Friktionsvinkeln mellan geomembranet och en geotextil kan vara så låg som 7° . Detta bör särskilt beaktas vid installationer i slänter.

Utöver polyeten innehåller LDPE kolpulver för UV-stabilisering och små mängder antioxidationsmedel.

PVC

PVC-geomembran tillverkas genom att en uppvärmd PVC-massa valsas till en tunn plan duk. Tekniken innebär att flera skikt enkelt kan byggas in i membranet. PVC-dukar är ofta armerade. Utan armering är PVC mycket flexibelt. Tillverkningsbredden är vanligen ca 2 m. Geomembranet kan tillverkas med friktionsyta. Större bredder kan sammanfogas på fabrik.

PVC har god kemisk beständighet men kan sägas ha låg åldringsbeständighet jämfört med t ex HDPE. PVC innehåller mjukgörare som med tiden diffunderar ut ur materialet, vilket gör materialet sprött och begränsar livslängden.

Friktionsvinkeln mot sand är för PVC ca 22°. Friktionsvinkeln mot geotextil är 10°-24°, främst beroende på typen av geotextil. Lägsta friktionen avser vävd geotextil, monofilament.

Geomembran av PVC fogas i första hand genom svetsning men kan också limmas. PVC är inte lika känsligt för överhettning eller uppbyggnad av inre spänningar som t ex polyeterna.

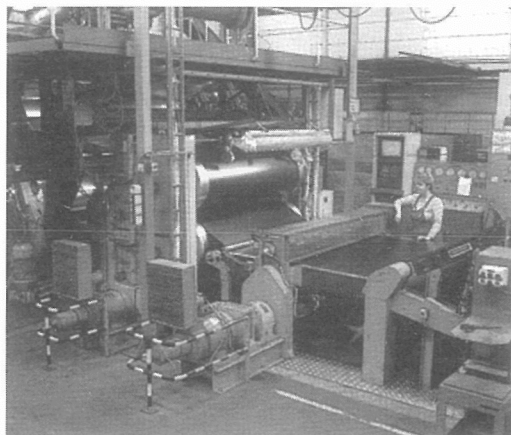
FPP

Geomembran av flexibel polypropen är ett relativt nytt material och tillverkas på samma sätt som polyeten. Bredderna är 5-7 meter. FPP har god kemikalie- och åldringsbeständighet. Materialets flexibla egenskaper innebär att geomembranet vid installation inte är känsligt för inre spänningar eller mekanisk påkänning.

Friktionsvinkel för FPP mot sand är ca 29°, vilket betyder att utförande med friktionsyta (texturering) inte behövs. Friktionsvinkeln mot en geotextil är 8°- 15° beroende på typ av geotextil.

FPP-geomembran fogas samman med smältsvetsning.

FPP har tillsats av syntetgummi, kolpulver och antioxidationsmedel.



Figur 4:2. Produktion av geomembran av Butylgummi genom valsning.

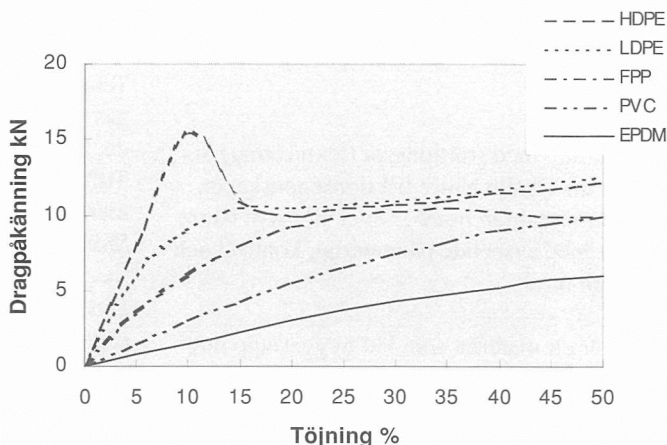
Butylgummi och EPDM

Geomembran av butylgummi och EPDM tillverkas genom valsning av varm syntetgummimassa som sedan vulkas i autoklav. Tillverkningsbredden är ca 2 m och tjockleken 0,75-2 mm. Butyl består i huvudsak av polymer och sot (kimrök), medan EPDM dessutom innehåller olja.

EPDM beskrivs vara ett gastätt material. Geomembran av butylgummi och EPDM är mycket flexibla. Vid åldring minskar främst draghållfastheten hos Butyl medan för EPDM minskar främst brotttöjningen.

Friktionsvinkel mot sand är ca 23°. Friktionsvinkeln mot geotextil är 17°-23°.

Diagram 4:1
Hållfasthets/töjningsskurvor
för de vanligaste syntetiska
geomembranmaterialen.



Geomembran av butylgummi och EPDM fogas samman genom vulkning. Det är vanligt att gummiduken fogas i relativt stora ytor på fabrik för att man skall kunna minimera vulkningen på installationsplatsen.

Lergeomembran

Lergeomembran är beteckningen på förtillverkade tätskikt, där bentonit är den tätande beståndsdel. Beträffande bentonit se avsnittet bentonittätade jordar, sidan 33.

Geomembranet byggs vanligtvis upp med två geotextiler som omsluter bentonitpulvret eller granulatet. Tekniken att binda samman de två geotextilerna varierar; nålfiltning, syning, termisk eller kemisk fixering. Skjuvhållfastheten varierar mellan produkterna beroende på de olika sammanbindningsteknikerna. De flesta produkterna levereras torra (vattenkvot 10-15 %) för att sedan svälla av markfukten efter installa-

tion. Det finns även produkter som är försvälda under belastning i tillverkningsprocessen.

De färdiga produkterna innehåller normalt 3 till 5 kg bentonitpulver eller granulat per m². Lergeomembranens hydrauliska konduktivitet varierar beroende på produkt och ligger i intervallet $k = 10^{-14}$ - 10^{-10} m/s. Det lägsta värdet är det som redovisas för försvälda lergeomembraner.

Lergeomembran skarvas genom överlapp. Extra lös bentonit läggs normalt i fogen.

En kombinationsprodukt är syntetiskt geomembran av till exempel HDPE med bentonitpulver limmat på undersidan. Benämningen för denna typ av kombination är kompositmembran. Geomembranet läggs med överlapp alternativt svetsning. Tätskiktets hydrauliska konduktivitet beror på dess syntetiska del.

Tabell 4:1. Exempel på några viktiga fysikaliska egenskaper hos geomembran.

Material	Draghållf vid brott/ flytgräns kN/m	Töjning %	Friktions- vinkel mot sand (grader)	Friktions- vinkel mot geotextil (grader)	Punkterings- motstånd (1 mm)	Tjock- lek mm
Syntetiska geomembran						
HDPE	27/15*	5**	15-17	6-11	270 N***	0,5-5
HDPE med friktionsyta	"	"	20-30	25-30	"	"
LDPE	16/-*	10**	16-18	7-12	175 N***	0,5-5
FPP	18/-*	15**	29	8-15	200 N***	0,5-3
PVC	17/-*	20**	22-24	10-24	-	0,5-2
PVC med friktionsyta	"	"	25-27	11-28	-	"
EPDM	11/-*	25**	22-25	17-23	-	0,5-2
Lergeomembran						
"Bentonitmatta"	10-20/-	5**	22-26	20-25	1,2 kNm***	10-15
"Kompositmembran"	27/15*	5**	15-17	6-11	270 N***	0,5-1
HDPE + bentonitgranulat						+bent

*) Gäller för materialtjocklek 1,0 mm
**) Maximal rekommenderad töjning vid belastning i en konstruktion
***) HDPE, LDPE och FPP är testade enligt FTMS 101 C, Metod 2065, Bentonitmattan är testad enligt BAW BT3.

Lergeomembran tillverkas i en mängd olika dimensioner med bredder 2-5 m och längder 30-100 m.

Vid mindre skador (några mm stora hål eller revor) på ett lergeomembran är bentoniten självläkande.

Bentonitens egenskaper kan påverkas av frys-tö cykler och bör därför anläggas på frostfritt djup om inte annat kan påvisas. Bentonit som utsätts för upprepad uttorkning och svällning kan med tiden få minskad täthet.

Vatten som innehåller elektrolyter, t ex salter, har negativ effekt på bentonitens svällningsförmåga och täthet. Nedsättningen står ungefär i proportion till koncentrationen av salter.

Natriumbaserad bentonit i kontakt med kalkhaltigt vatten utsätts för jonbyte (natriumjoner byts ut mot kalciumjoner), vilket på sikt försämrar bentonitens tätande egenskaper.

Naturliga jordar

Finkorniga moräner och leror kan användas som tätskikt om kravet på hydraulisk konduktiviteten ligger mellan $k = 10^{-10}$ - 10^{-7} m/s. Några exempel på jord och dess generella egenskaper behandlas nedan.

Lera uppträder med varierande sammansättning i vårt land. Konsistensen är allt från mycket lös till mycket fast och ibland med inslag av sand- och siltskikt.

Som tätskikt måste lera bearbetas och komprimeras på ett sådant sätt att den bildar ett homogent kontinuerligt skikt. Lerans vattenkvot skall vara högre än plasticitetsgränsen W_p och med god marginal under flytgränsen W_L . Faktorn $1,2 \times W_p$ kan vara ett riktvärde. Vid för hög vattenkvot minskar skjuvhållfastheten, vilket påverkar bärigheten för maskiner som skall bearbeta och köra på skiktet. Lämplig vattenkvot ligger mellan 30 och 40 %. Lämplig lera är vanligen torrskorpelera ca 1- 2,5 m under markytan.

Leriga moräner med lerhalt 5-20 % av finjordshalten varierar mindre vad gäller plastiska egenskaper och det naturliga vatteninnehållet. Det är möjligt, men svårt, att reglera vattenkvoten vid packning av leriga moräner. Det rekommenderas därför inte. Marginalen till för hög eller för låg vattenkvot är liten. Vid t ex regn ökar vatteninnehållet snabbt, vilket kan påverka bärigheten vid utläggnings- och packningsarbetet.

Bestämning av konsistensgränser kan vara svår att utföra, speciellt vid lägre lerhalter. Den lägsta hydrauliska konduktiviteten nås om packningen sker vid en vattenkvot som överstiger den optimala med några procent. Nivån ligger mellan 8 och 15 %.

Ett tätskikt av jord kan kombineras med ett syntetiskt geomembran som då installeras ovanpå jordskiktet i ett skikt komposittätskikt.

I tabell 4:2 ges exempel på riktvärden för de parametrar som man bör ta hänsyn till vid val av jordmaterial. Jordmaterial som skall användas för tätning bör noggrant analyseras med avseende på kornstorleksfördelning, konsistensgränser, packningsegenskaper och hydraulisk konduktivitet.

Hydrauliska konduktiviteten varierar för ett och samma jordmaterial beroende på homogeniserings- och packningsresultatet. Kontroll av jorden och utförande är därför ytterst viktiga moment vid anläggning av tätskikt med såväl lera som leriga jordar.

Beträffande checklista för kontroll se bilaga 3.

Tabell 4:2. Exempel på riktvärden för egenskaper hos naturliga jordar som kan användas som tätskikt.

Jordart	Lerhalt av finjordshalten	Vattenkvot vid packning	I_p^* %	Hydraulisk konduktivitet, m/s
Lerig morän	5 - 20 %	$< W_L$ $> W_P$	5 - 20	$< 10^{-7}$
Lermorän	> 20 %	$< W_L$ $> W_P$	5 - 40	$< 10^{-8}$
Lera	> 40 %	$< W_L$ $> W_P$	5 - 50	$< 10^{-9}$

* Plasticitetstalet $I_p = W_L - W_P$

Bentonittätade jordar

Bentonit är handelsnamnet för processade, fin-korniga svällande leror. Bentoniten bryts ur sedimentära jordlager som är bildade genom vitting av vulkanaska avsatt i marin miljö. Bentonit har hög halt av svällande lermineral, smektit-ter, ofta angivet av leverantörer som montmorillonit. Vid vattentillförsel är bentonit svällan-de med stora tätande egenskaper, se även av-snittet lergeomembran.

Bentonit som finns på marknaden kommer van-ligtvis från Europas medelhavsländer och USA.

Bentonitmineralens svällning sker under upp-tagning av vatten som absorberas till kristall-gittret (skiktsilikattyp). Bindningspotentialen och därmed svällningens storlek påverkas av förekomsten av katjoner och den allmänna jon-styrkan i det omgivande vattnet. De aktuella katjonerna är främst kalcium och natrium. Na-triumbentonit har en större svällande förmåga än kalciumbentonit och ger därmed högre tät-het. För att öka svällningsförmågan hos kalci-umbentonit byts kalciumjoner mot natriumjo-ner s k natriumaktiverad kalciumbentonit. Hy-drauliska konduktiviteten hos ren bentonit är låg, mindre än 10^{-11} m/s.

Tabell 4:3. Exempel på inblandningsparametrar för bentonittätade jordar.

Typ av bentonittätad jord	Portal	Bentonit-typ	Halt av smektit-er %	Vattenkvot vid inblandning %	Bentonithalt i viktsprocent %	Hydraulisk konduktivitet m/s
Sand månggraderad	0,15 - 0,4	Na/Ca* Na-aktiverad	> 80	8 - 16	5 - 14	$< 10^{-9}$
Stenmjöl	0,1 - 0,3	Na/Ca* Na-aktiverad	> 80	5 - 14	4 - 10	$< 10^{-9}$
Morän	0,1 - 0,3	Na/Ca* Na-aktiverad	> 80	5 - 11	3 - 10	$< 10^{-9}$

* Ren kalciumbentonit är en ovanlig produkt.

Före försäljning mals bentoniten ner till granulat eller pulver. Den färdiga produkten levereras normalt i säck, storsäck eller bulkbil. Bentonit som levereras anges vara torr, men vattenkvotsbestämningar ger 10-15 %. Vid inblandning betraktas detta dock som torrt.

De viktigaste momenten för att erhålla ett bra tätskikt av bentonittätad jord är homogeniseringsgraden vid blandning och packningsresultatet. Blandningen bör utföras i tvåångsblandare.

Tätskikt av bentonittätad jord kan kombineras med ett syntetiskt geomembran som då anläggs direkt ovanpå. Konstruktionen blir ett s.k. komposittätskikt.

Bentonit enbart blandad med vatten s.k. slurry, används för tätning av borrhål eller vertikala tätskärmar (slitsar) m.m.

Den vanligaste bentonittätade jorden är bentonittätad sand, s.k. BES (Bentonite Enhanced Sand).

Bitumenbundna skikt

Bitumen, eller i dagligt tal asfalt, ingår som tätningskomponent i många produkter, men är inte lika vanligt som geomembran.

Vägbeläggning som består av bitumen (asfalt), filler och ett ballastmaterial (oftast en krossprodukt) anses i de flesta fall ingå i tätskiktskonstruktionen, där övrig tätning i t.ex. diken utförs med någon form av geomembran. Beläggning utförs (enligt VÄG 94) med låg porositet och med hög bindemedelshalt. För att öka tätheten kan beläggningen kombineras med en geosyntet som förstärker och bygger upp ett första lager ren bitumen.

Broisolering, för att skydda brovägbanor används i form av en förbättrad "takpapp". Materialet består av en syntetisk textil som bärare av ett på båda sidor pålagt skikt av en polymermodifierad bitumenmassa. Produkten levereras i rullar med dimensionen ca 1 x 6 m. Mattan skarvsvetsas eller helsvetsas mot underlaget

med flamma i en speciellt konstruerad utrustning.

Gjutasfalt består i huvudsak av asfaltmatrix. Den läggs ut ca 10 mm tjockt vid en temperatur på ca 200°-250°.

Asfaltbetong innehåller krossad sten tillsammans med hög halt av bitumen och utnyttjas vanligen som skyddsskikt på t.ex. broisolering.

Övriga tätskiktsmaterial

Geomembran av polymertyp

- CPE, klorinerad polyeten
- PA, polyamid
- EVA, etylenvinylacetat
- CSPE, "Hypalon", klorosulfoonerad polyeten

Ovanstående typer av syntetiska geomembran har egenskaper och tillverkningsmetoder som liknar de som tidigare beskrivits mera ingående. De har en tunn plan struktur med hög täthet och tillverkas i varierande dimensioner. Skarvning utförs på installationsplatsen genom svetsning, limning eller vulkning.

Härdande produkter

■ Betong

Cement och ballast kan utföras som ett relativt tätt material. Materialets genomsläpplighet betingas av de sprickor som uppstår eftersom betongmassan krymper vid härdning. Vattentät betong har en hydraulisk konduktivitet i storleksordningen 10^{-12} m/s. Särskilda krav på finmaterialhalt och vattencementtal ställs för att gjuta sådan betong.

■ Cementstabiliserad flygaska

Produkten består av flygaska med puzzolana (härdande) egenskaper med en tillsats av cement. Vid tillsats av vatten hårdnar materialet och blir betongliknande. Produkten marknadsförs under varumärket Cefyll. Genomsläpplighe-

Tabell 4:4. Jämförande generella egenskaper för olika tätskiktsmaterial.

Geomembran/ Materialtyp	Fogmetod	Generell kemikalie- beständighet	Generell åldrings- beständighet	Flexibilitet -böjlighet/ töjbarhet
Syntetiska geomembran				
HDPE	Svetsning	+++++	++++	+
LDPE*	Svetsning	++++	+++	+++
FPP*	Svetsning	++++	+++	++++
PVC*	Svetsning/limn.	+	+	++++
Butylgummi och EPDM*	Vulkning/limn.	++	++	+++++
Lergeomembran				
"Bentonitmatta"	Överlappning	++	+++++	++
"Kompositmembran" fabrikstillverkad syntet geomembran bentonit	Överlappning alt svetsning	++++	+++++	+
Naturliga jordar				
Morän	Packning	+++++	+++++	++
Lera	Bearbetning	+++++	+++++	++
Bentonittätade jordar				
Bentonittätad sand	Packning	++	+++++	++
Bitumenbundna skikt				
Vägbeläggning, asfalt	Packning	+	++	++

*) Kan prefabriceras i begränsade format och tunnare tjocklekar.

ten för Cefyll ligger i intervallet 10^{-8} - 10^{-12} m/s, beroende på cementshalt, askkvalitet, tillsatsmedel och konsistens vid tillverkning.

■ Flygaska från kolförbränning

Vissa askor från kolförbränning uppvisar hårdnande egenskaper vid tillsättning av vatten och liknar betong. Framförallt gäller detta aska från eldning av kol i s k trycksatt fluidiserande bädd (PFBC-aska). Askkvaliteten varierar både mellan och inom anläggningar. Skrymdensiteten hos de flesta flygaskor är normalt lägre än för naturmaterial och ligger under $1,5 \text{ ton/m}^3$. Permeabiliteten varierar inom ett stort intervall från 10^{-5} till 10^{-11} m/s.

■ Rötslam

Rötslam fås från avloppsreningsverk. Undersökningar har visat att genomsläppligheten är i storleksordningen 10^{-9} m/s eller lägre. För att erhålla sådan täthet måste slammet dock belastas med storleksordningen 30 kPa, vilket motsvarar ca 2 m jordfyllning.

Kap 5. Metoder för installation, fogning och kontroll

Vid alla typer av tätskiktsinstallationer behövs hjälputrustningar.

Vid syntetiska geomembran krävs normalt både maskinell hjälp för lyft av materialrullar och för skarvning. För lergeomembran räcker det vanligtvis med utrustning för rullhantering. Bentonittätad jord kräver blandningsverk, utbrednings- och packningsmaskiner. Vid installation av naturliga jordar krävs schakt-, utbrednings- och packningsmaskiner.

Förutom installationsutrustning ingår vid alla typer av tätskiktsinstallationer utrustning för kvalitetskontroll.

Nedan beskrivs kortfattat de vanligaste förekommande hjälputrustningarna indelat efter de olika tätskiktstyperna.

Geomembran

Syntetiska geomembran

För hantering av materialrullar används ett specialtillverkat lyftok som bärs av en grävmaskin. Vissa rullar kan överstiga en vikt på ett ton. I andra fall kan rullarna vara hanterbara av mänsklig kraft, vilket framför allt kan gälla PVC och EPDM, som ofta levereras i mindre format. De övriga materialen levereras normalt i stora bredder och längder för att minimera längden på svetsfogar.

Lyftoket skall vara dimensionerat med hänsyn tagen till typen av materialrulle, t ex vikt, längd och styv eller icke styv upprullningscylinder. Geomembranrullen får inte vika sig, vilket skulle skada materialet.



Figur 5:1. Exempel på lyftok hängande i grävmaskinsarm.

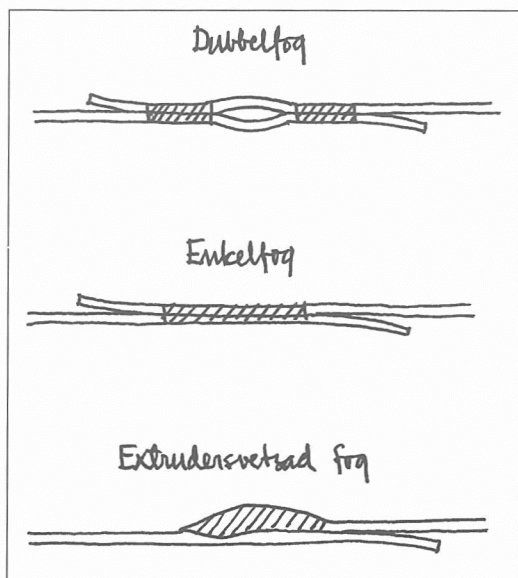
Flera olika typer av svetsutrustningar finns för skarvning av syntetiska geomembran. Valet av maskintyp beror både på vilken typ av geomembran som används och vilken typ av fog som skall utföras.

Överlappsfog utförs i första hand med självgående svetsmaskiner typ kilsvets, varmluftsvets och vulkningsmaskin. För viss skarvning, t ex vid lagningar, behövs en sk handfön (varmluftspistol).

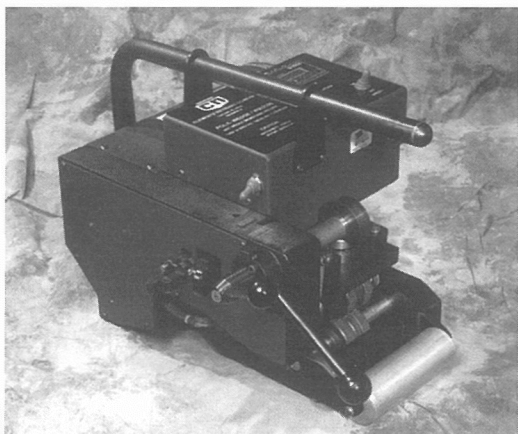
Extrudersvetsmaskin används endast vid trånga utrymmen, genomföringar och lagningar.

En överlappssvets kan antingen utföras som enkelfog eller en dubbelfog. Vanligast är dubbelfog som möjliggör kontroll av svetsens täthet.

De olika fogtyperna visas i *figur 5:2*.



Figur 5:2. Principskiss på tvärsnitt hos de vanligaste fogtyperna.



Figur 5:3. Kilsvetsmaskin. En värmekil smälter geomembranet mellan överlappen. Dubbla eller enkla tryckrullar driver maskinen framåt och pressar samman de båda skikten till en homogen fog.

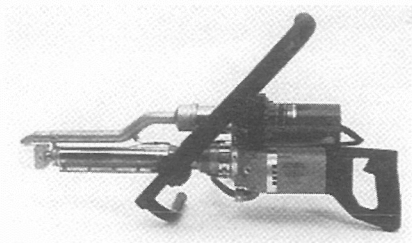


Figur 5:4. Varmluftsvets. Ett munstycke blåser varmluft mellan överlappen som smälter geomembranet. Dubbla eller enkla tryckrullar driver maskinen framåt och pressar samman de båda skikten till en homogen fog.

Dimensionen på tryckrullar och avstånden mellan dem (om dubbla) varierar mellan olika maskinprodukter. Vanligt avstånd mellan dubbla tryckrullar är 10-20 mm. Tryckrullarnas bredd korrelerar normalt till spaltbredden. Bredden på enkla tryckrullar ligger oftast mellan 30 och 40 mm. På dessa maskiner kan temperatur och framdrivningshastighet ställas in i relation till väderlek, materialtyp och tjocklek, enligt utförd provsvetsning.

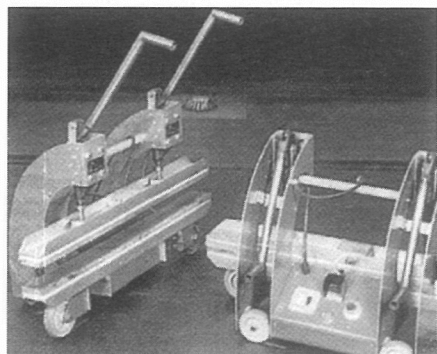


Figur 5:5. Handfön. Handhållen utrustning med ett munstycke som blåser varmluft. Varmluften smälter geomembranet mellan skikten som sedan pressas samman för hand med en tryckrulle.



Figur 5:6. Extrudersvetsmaskin. En svets-tråd drivs igenom maskinen och smälts av varmluft i den slutliga delen. En smält sträng av polymermaterialet läggs ut via ett munstycke i den tilltänkta fogen. Maskinen är handhållen.

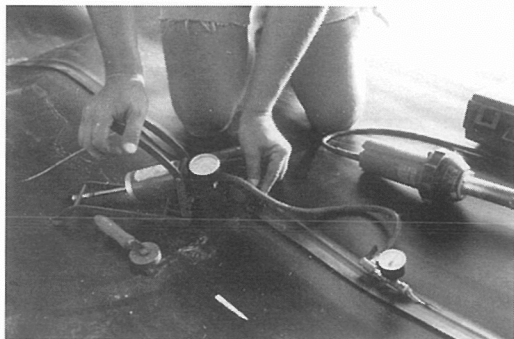
Extrudersvetsmaskin används vid kant mot kantsvets, förstärkning med lagningslapp, kryssförstärkning där tre eller flera överlapps-svetsar går in i en punkt, rörgenomföringar samt i trånga utrymmen.



Figur 5:7. Vulkningsmaskin som används för skarvning av geomembran av EPDM och Butylgummi.

För kontroll av att inga fel har uppstått vid skarvningen utförs oftast tryckprovning i luftspalt, gnisttest eller vakuumtest.

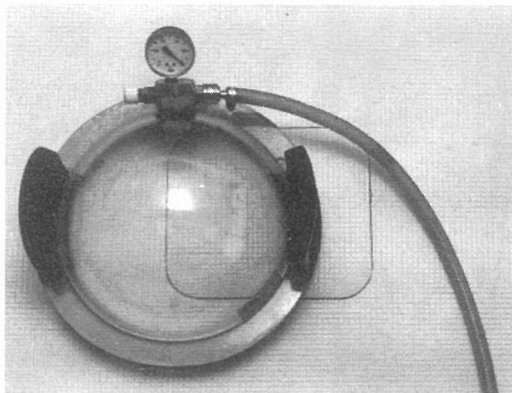
Utrustning för provtryckning av dubbelfog kan t ex vara provtryckningsnål, manometer, luftpump och en handfön (för förslutningar). Alternativ till provtryckningsnål är en nippel som svetsas direkt på änden av luftspalten. Provtryckningsförfarandet beskrivs också i *bilaga 4*.



Figur 5:8. Provtryckning av luftspalt.

För gnisttestning läggs en tunn koppartråd in i enkelfogen. Provningen utförs med en elektrod kopplad till ett spänningsaggregat. Elektroden förs längs med svetsen och en gnista uppstår där hål finns.

Vid vakuumtest sätts ett undertryck med vakuumplocka över den delen av en skarv som skall provas. Skarven är penslad med såpvatten, vilket skapar bubblor vid ett hål.



Figur 5:9. Vakuumtest.

Lergeomembran

För hantering och utrullning av lergeomembran krävs normalt stora lyftok eftersom materialet är tungt. Materialrullarna får inte knäckas så att bentonitskiktet eller omgivande geotextiler skadas. Lyftoket bör också vara konstruerat så att det är enkelt att skifta från rulle till rulle. Det är vanligt att en materialrulle väger mer än 800 kg, vilket fordrar t ex en grävmaskin för lyft och utrullning.

Skarven på ett lergeomembran utförs genom överlappning enligt de anvisningar som angiv-

vits av projektören eller leverantören. Ibland kan extra bentonitpulver eller bentonitpasta behövas för att säkerställa tätheten i skarven. Spridningen av pulvret/pastan kan utföras på en mängd olika sätt beroende på de mängder som föreskrivs; direkt från säck med skyffel, modifierad gödselspridare mm.

Utrustning eller teknik för att kontrollera tätheten hos lergeomembranets skarvar saknas. Utförandekontrollen är därför särskilt viktig.



Figur 5:10. Utrullning av lergeomembran med grävmaskin och lyftok.

Övriga material

Bentonittätad jord

Förutsatt att ingående mängder av jord och bentonit är levererade var för sig behövs utrustning för blandning och installation enligt nedan.

Blandning sker med blandare som bör vara av typ tvångsblandare (t ex betongblandare) och vara uppställd på plats i anslutning till installationsområdet.

För utlastning av färdigblandad jord kan olika maskiner användas, t ex baklastare. För utbredning används t ex vägskrapa eller vägsladd.

Packningsarbetet kan utföras med vibrovält. Även andra utrustningar kan komma i fråga och bör utprovas.



Figur 5:11. Vibrovält.

Den viktigaste parametern att kontrollera för ett tättskikt är den hydrauliska konduktiviteten. Denna är svår och tidskrävande att bestämma i fält, speciellt för bentonitblandad jord (bl a på grund av att bentoniten skall svälla innan den tätar).

För bestämning av hydraulisk konduktivitet kan t ex ringpermeameter användas, vilket i princip är en vattenförlustmätning under kontrollerad form. Vid tjockare skikt kan s k BAT-spets också fungera tillfredsställande. Provtagning av ostört prov för bestämning i laboratorium är ytterligare en metod, dock är denna metod vid bentonitblandad jord i de flesta fall omöjlig.

Ovanstående svårigheter med direktkontroll av hydrauliska konduktiviteten i fält medför att indirekta metoder ofta föredras, främst densitetsskontroll av det packade skiktet.

Vid densitetsskontroll bestäms först hydrauliska konduktiviteten på laboratoriepackade prover. Hydrauliska konduktiviteten registreras därvid som funktion av densiteten, vilket möjliggör tolkning av tätheten utifrån densitetsvärdet bestämt i fält. Receptet jord/bentonit i laboratorieförsöket måste naturligtvis stämma överens med det recept som skall användas vid utförandet i fält.

För kontroll av densiteten finns flera metoder och utrustningar, t ex volymetrar av olika slag och nukleära densitetsmätare. Den bästa metoden bedöms vara nukleär-mätaren som inte fordrar någon provtagning i skiktet och som direkt vid mätning ger resultatet. Metoden möjliggör

också bestämning i ett stort antal punkter inom rimlig tid. Nukleär-mätaren måste dock först kalibreras, vilket t ex kan göras mot vattenvolymeterförsök.



Figur 5:12. Kalibrering av nukleär densitetsmätare genom densitetsmätning med vattenvolymeter (mätning på bentonitblandad sand, nukleär-mätaren i bakgrunden).



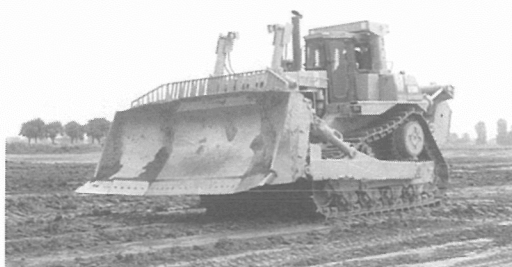
Figur 5:13. Bestämning av hydraulisk konduktivitet i laboratorium.

Naturliga jordar

En mängd olika typer av utrustning behövs för transport, utbredning och packning av naturliga jordar. Typ av utrustning bör utprovas från fall till fall, bl a beroende på undergrund, jordart, installationsområdet storlek och topografi (t ex slänter och deras lutning).

I figur 5:14 och 5:15 visas exempel på några maskintyper som kan vara lämpliga vid packnings- och utbredningsarbete.

Kontroll av tätskikt bestående av naturliga jordar utförs med samma typ utrustning som för bentonitfattade jordar.



Figur 5:14. Bladschaktmaskin för utbredning och packning.



Figur 5:15. Padfotsvält, mest lämpad för packning av lerjordarter.

Kap 6. Material ovan och under tätskikt

Underlag

Underlaget för ett tätskikt skall vara av sådan beskaffenhet att det inte skadar tätskiktskonstruktionen. Underlaget skall vara fritt från stenar och rötter.

Vid installation av syntetiska- eller lergeomembran rekommenderas att underlaget skall vara avjämnat med en finkorning jord 0-4 mm. Alternativt används en geotextil som är dimensionerad så att inga grövre partiklar kan skada geomembranet. Underlagets ojämnhet bör inte vara större än 50 mm/m.

Vid installation av naturliga jordar eller bentonittätade jordar (beskrivna tidigare) behöver ovanstående krav normalt inte uppfyllas. Geotextil som materialskiljande lager mellan befintlig jord och tätskiktet kan dock behövas.

Skyddsgeotextil och skyddsjord

Syntetiska geomembran är mer känsliga än andra tätskiktsmaterial och bör skyddas mot mekaniska skador som grovt överfyllnadsmaterial, trafiklast eller stora överlagringstryck.

En skyddsgeotextil skall vara av nålfiltad kvalitet. Geotextiler av sådan typ tillverkas i vikter från 500 g/m² upp till mer än 2000 g/m².

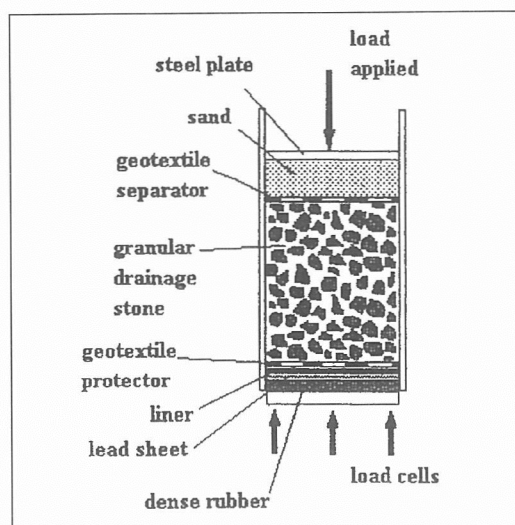
Skyddseffekten beror dock inte enbart på ytvikten. För att värdera de skyddande egenskaperna bör CBR-värdet (California Bearing Ratio) användas; ju högre värde desto bättre skydd. De flesta leverantörer av geotextiler anger detta värde i produktspecifikationen. Generellt kan nämnas att en skyddsgeotextil med ett CBR-värde högre än 6500 N i många fall ger ett acceptabelt skydd. En teknik för att undersöka ef-



Figur 6:1. Utläggning av skyddsgeotextil.

fekten av en statiskt last är s k cylindertest, se figur 6:2.

Skyddsjord bestående av sand 0-4 mm kan rekommenderas som alternativ till skyddsgeotextil. Sand ger bättre friktion mot geomembranet jämfört med en geotextil.



Figur 6:2. Apparat för cylindertest (finns som förslag till Europeisk standard prEN:WI000189-55)

Armering

Geonät eller vävd geotextil används som förstärkning av skyddstäckningen ovan geomembran i slänter, eftersom låg friktion mellan överfyllnadsjorden och geomembranet kan medföra instabilitet. Förstärkningen innebär också att tätskiktet inte utsätts för några skjuvspänningar. Armeringens draghållfasthet dimensioneras för de laster som blir aktuella vid utfyllnaden av överfyllnadsjorden. För dimensionering av erforderlig draghållfasthet i armeringen rekommenderas Vägverkets publikation 1992:10.

Geonät och vävd geotextil tillverkas av polypropen, polyeten och polyester. Geonätet har stor maskvidd, den kan vara 10-100 mm. För

att utnyttja geonätets masköppning bör fyllnadsmaterialets d_{50} vara 1,5 x minsta maskvidden hos geonätet.



Figur 6:3. Armerad slänt med geonät.

Dräneringsskikt

Som dräneringsmaterial över eller mellan tätskikt finns ett stort urval; krossmaterial, naturgrus, sand eller syntetiska material s k geokompositer. Geokompositer består av två eller flera sammansatta geosynteter. En vanlig produkt är extruderat nät mellan två geotextiler. Nätet fungerar där som den vattentransporterande komponenten. Dränskikt bör anläggas med en minsta lutning på 2 %.

I tabell 6:1 har en sammanställning gjorts vad gäller material som används vid tätskiktskonstruktioner.

Tabell 6:1. Översikt över olika material som förekommer vid konstruktion av tätskikt i mark.

Benämning	Tillämpning	Undergrupper	Exempel på material/produkt
Geomembran	Tätskikt i mark	Syntetiska geomembran Lergeomembran	PE,FPP, PVC, EPDM s k "Bentonitmatta"
Övriga tätskikt	Tätskikt i mark	Naturliga jordar Bentonittätade jordar	Morän, Lera Bentonittätad sand
Geotextil	Materialskiljande lager	Ikke vävda geotextiler Vävda geotextiler	Nålfiltad, termiskt bunden av PP- eller PE-fiber PP- eller PE-fiber, monofilament, multifilament eller flat tape
Skyddsgeotextil	Skyddsskikt för syntetiska geomembran	Nålfiltade geotextiler Mixade, nålfiltade/vävda	PP- eller PE-fibrer 500 - 2000 g/m ²
Geonät	Förstärkningsmaterial; dels i slänter med överfyllnadsmaterial, dels som förstärkning i underlag	Geonät Vävd geotextil	PP-, PE- eller PETP-fiber
Geokomposit	Minsta två sammansatta syntetiskt produkter för dränering, vatten- avledning ovan tätskiktet	Drännät Dränmatta Vertikaldrän	Geotextil av PP- och PE-fiber Extruderade nät av PP eller PE Fiberkrull av PP eller PE
Sand	Skyddsskikt direkt under eller ovan ett geomembran	Sand, månggraderad	Kornfördelning, 0 - 4 mm
Grovjord	Dräneringsskikt ovan tätskiktsskonstruktion	Krossmaterial Naturgrus	Makadam 8 - 32 mm Singel 8 - 32 mm
Jord	Skyddstäckning av en tätskiktsskonstruktion mot t ex grävning, rotned- trängning, frost och torkning	Blandkorniga jordarter Finkorninga jordarter	Morän Lera

Kap 7. Kravspecifikation för material

Allmänt

Vid projekteringen, förfrågningen eller köpet av material till tätskikt upprättas en kravspecifikation rörande materialens egenskaper. Specifikationen grundas på den funktion som tätskiktet skall ha och de belastningar/påfrestningar som materialen i skiktet kan bli utsatta för.

Det är viktigt att kraven på materialegenskaperna analyseras i varje konstruktion. Är t ex kraven på hållfasthet låga skall inte onödigt höga krav anges på hållfastheten i specifikationen.

En kravspecifikation på material innehåller normalt en uppräknig av aktuella parametrar, parametervärden och verifieringsmetod (testmetod för att bestämma respektive parametervärde). I *tabell 7:1* har givits ett exempel för syntetiskt geomembran.

Tabell 7:1. Exempel på materialkravspecifikation.

Parameter	Minsta värde	Provningsmetod
Tjocklek, mm	1,35	ASTM D751
Densitet, gram/cm ³	0,85	ASTM D792, metod A
Draghållfasthet vid brott, N/mm	20	ASTM D638
Töjning vid brott, %	500	ASTM D638
Rivmotstånd, N	60	ASTM D1014
Punkteringsmotstånd, N	200	FTMS 101C, metod 2065
Smältindex, gram/10 min	1,0	ASTM D1238, metod B
Kolpulverhalt, %	3	ASTM D1603

Vilka parametrar skall anges?

Med parameter menar vi t ex hållfasthet, töjning, frostbeständighet etc. Parametrar kan vanligtvis beskrivas kvantitativt, dvs med ett värde, se *tabell 7:1* och även *bilaga 6*. Parametrar kan också vara kvalitativa och beskrivas med ord, t ex för beständighet: "skiktet skall vara intakt minst i 10 år mot nötning av det slamhaltiga strömmande vattnet som beskrivs i *bilaga*".

Nedan ges en rekommendation på de parametrar som normalt bör ingå i en materialkravspecifikation för olika tätskiktsmaterial. Observera dock att det är konstruktören som slutligen utifrån sina krav på tätskiktet avgör vilka parametrar som bör ställas upp.

Generellt för alla typer

Följande parametrar tas upp för alla typer av tätskiktsmaterial:

- antalet tätskiktsg lager i konstruktionen
- benämning på materialen i tätskiktet
- högsta tillåtna permeabilitet med avseende på aktuellt medium (hydraulisk konduktivitet för vatten) i varje lager.

Syntetiska geomembran

Utöver generella parametrar (se ovan) anges för varje lager av syntetiska geomembran:

- tjocklek
- densitet
- draghållfasthet vid brott (eller vid flytgräns)
- töjning vid brott (eller vid flytgräns)
- rivmotstånd
- punkteringsmotstånd
- smältindex
- krav på beständighet mot kemikalier

Lergeomembran

Utöver generella parametrar (se ovan) anges för lergeomembran:

- typ av undre lager i geomembranet
- typ av övre lager i geomembranet
- bentonitmängd per m²
- draghållfasthet vid brott
- töjning vid brott
- skjuvhållfasthet
- krav på beständighet mot kemikalier

Naturliga jordar

Utöver generella parametrar (se ovan) anges för varje lager av naturlig jord:

- kornstorleksfördelning
- lerhalt
- konsistensgränser

Bentonittätade jordar

Utöver generella parametrar (se ovan) anges för varje lager av bentonittätade jordar:

- kornstorleksfördelning för jorden
- typ och kvalitet på bentonit
- blandningsförhållande bentonit/jord
- vilken blandningsutrustning som skall användas och erforderlig blandningstid
- hur lagring av den bentonitblandade jorden skall ske.

Testmetoder

Leverantörer av tätskiktsmaterial från olika länder redovisar olika standardmetoder i sina materialspecifikationer. En del av metoderna kan omfatta samma procedurer och resultat men skiljer i standardbeteckningen. Dessa förhållanden medför svårigheter vid jämförelser mellan olika produkter.

Europastandard EN för geosynteter är under utarbetning. Standardmetoder för geomembran ingår i arbetet och ett förslag till relevanta parametrar i en materialspecifikation föreligger, se *bilaga 6*.

Kap 8. Utförande

I detta kapitel tas specifika frågor upp kring utförandet av tätskikt. Frågorna är direkt tillämplbara i utförandefasen men påverkar också tidigare byggskedet, t ex projekteringen. Ett förslag till kravspecifikation kring utförande av tätskikt redovisas i kapitel 9.

I framställningen nedan antas att särskild tätskiktsentreprenör anlitas, som tillsammans med en markentreprenör utför tätskiktet. Beträffande upphandlings- och samordningsfrågor se *bilaga 2*.

Kontroll och kvalitetssäkring

I kapitel 5 har utrustningar för installation och kontroll redovisats. Där påpekas svårigheten att mäta "tätheten" (t ex hydrauliska konduktiviteten) hos ett tätskikt. I stället koncentrerar man sig på att t ex konstatera att skarvarna på ett geosyntetiskt geomembran är täta eller att densiteten hos en packad finkornig morän nått den nivå man förutbestämt.

Funktionskontrollen (att mäta tätheten) ersätts således med utförandekontroll (utförandet). Genom utveckling av indirekta mätmetoder, t ex genom registrering av anomalier (skillnader i någon egenskap eller effekt) i tätskikten, kommer dock sannolikt i framtiden en kontroll att kunna genomföras som närmar sig funktionskontrollen.

I utförandeskedet finns det många faktorer som påverkar kvalitet och livslängd på en konstruktion. För att kunna visa att ställda krav uppfyllts måste man använda ett system för att kvalitetssäkra och dokumentera arbetena under utförandet. Ett förslag till checklista för kontrollpunkter finns i *bilaga 3*.

Ett generellt förhållande som inte nog kan betonas är vädrets påverkan på resultatet för ett tätskiktsutförande. Vid alla installationer av tätskikt bör därför särskilt uppmärksammas den årstid då tätskiktet skall installeras och de väderförhållanden som då kan förväntas. Denna uppmärksamhet gäller generellt för alla tätskiktsmaterial och typer av tätskikt.

Det är av stor vikt att systemet för kvalitetssäkring harmonierar med kravnivån på objektet i stort, och att *hela* arbetets dokumentation integreras till en begriplig helhet som går att överblicka.

I kapitel 10 tas frågor kring kvalitets- och miljössäkring upp närmare. I kapitel 7 ges förslag till kravspecifikation rörande material och i kapitel 9 ges förslag till kravspecifikationen på utförandet, vilka bl a bildar grunden för kontrollplanen.

En allmän synpunkt på administrationen av ett projekt där tätskikt ingår är att tätskiktsentreprenören bör kallas till och delta på byggmöten. Tätskiktsentreprenören bör också föras upp på listan för ritningsdistribution, så att eventuella revideringar kommer till dennes kännedom i tid för planeringen av arbetet.

Arbetsberedning - tätskiktsinstallation

Innan arbetena påbörjas, skall en *arbetsberedning* göras. Den bör innehålla en beskrivning av hur förberedande och efterföljande markarbeten skall bedrivas och en beskrivning av hur tätskiktsinstallationen skall utföras, inklusive redovisning av detaljlösningar för rörgenomföringar m m.

Om markentreprenören och tätskiktsentreprenören utför sina respektive delar i arbetsberedningen krävs att dessa samordnas. Vid ett samordningsmöte skall även detaljlösningar ytterligare gås igenom, se vidare avsnittet "Tätskiktsarbeten - installation".

Samtliga steg i arbetsberedningen skall dokumenteras skriftligt enligt en objektpassad mall.

Förberedande markarbeten - grundläggning

Markarbetena som föregår tätskiktsinstallationen skall uppfylla följande krav:

- **Ytstorlek.** För att generera så stora etapper som möjligt. En för snäv etappindelning ger onödigt stort antal uppstarter, vilket medför ökade kostnader för ometableringar, och risk för kvalitetsproblem, eftersom avslutningen på en installationsetapp alltid måste skyddas med särskilda åtgärder. Risken för skador på "slutänden" är annars stor vid fortsatta förberedande markarbeten.

- **Ytjämnhet.** Ojämnheten på ytan som ska täckas bör inte överstiga 50 mm/m. Detta gäller huvudsakligen syntetiska- och lergeomembran. Skälen är fler, man utsätter tätskiktet för oönskad spänningar om detta skall formas av ojämnheter i underlaget. Eftersom flera av de vanligaste materialen är känsliga för dragpåkänningar skall dessa undvikas. Vidare får man problem vid installationen, eftersom gropar och kullar i underlaget gör att överlappen i skarvzonen kan variera kraftigt. Vid svetsning kan följande inträffa; antingen stannar svetsmaskinen vid för stor överlapp (= bränner hål på materialet $\Rightarrow$ lagning), eller så försvinner överlappen (= urspårning $\Rightarrow$ lagning eller omläggning). Problemet är likartat vid läggning av lergeomembran, eftersom överlappen inte får vara för små.

- **Stabilitet.** Sättningsbenägna eller sviktande underlag bör antingen undvikas eller förstärkas. Anledningen är främst det som beskrivs i föregående stycke om dragpåkänning. Även stabilitet m a p packning, skred eller erosion i överliggande material skall beaktas. Konstruktionen dimensioneras för detta i projekteringsskedet.

- **Förankringszoner.** I de flesta fall måste en förankringszon i form av en tillräckligt bred hylla eller ett dike anordnas, omfattningen av denna ska framgå av handlingarna, se avsnittet "Konstruktion". Förankringszoner som inte behövs för färdig konstruktion men som är absolut nödvändiga för installationen förekommer.

Efterföljande markarbeten - återfyllning

Efter färdigställt och överlämnat tätskikt bör följande noteras.

Vid återfyllningsarbetena bör alltid en person följa de maskiner som utför arbetet. Det är annars lätt hänt att en skada, t ex av en grävmaskin, inte uppmärksammas så att reparationsinsatser kan sättas in i tid.

Val av utläggningsmetod för skyddsjord är viktigt för att behålla tätskiktet intakt. Jord som skall läggas på syntetiska geomembran och lergeomembran måste **läggas** ut med grävmaskin eller liknande, för att hindra dragpåkänning och töjning i tätskiktet. Därför är bladning av maskin med schaktmaskin helt utesluten. Bladning skapar en "bubbla" av tätskiktsmaterial som jordfronten skjuter framför sig till dess att "bubblan" antingen kollapsar och bildar ett stort veck, eller så trasas bubblan sönder av schaktbladet. Oavsett vilken skada som uppstår måste den repareras (om den upptäcks!). Risken är dessutom stor att andra delar av tätskiktet kan vara skadat p g a töjning i materialet.

All utläggning och utbredning av skyddstäckningsmassor skall utföras i motlut.

Om man skall lägga jordmaterial på ett syntetiskt geomembran med en geotextil som skyddande lager, är det av största vikt att fyllningsarbetet går från släntfot och uppåt, inte tvärtom, eftersom geotextilen annars kan töjas och brista och därmed försvinner skyddet.



Figur 8:1. Utläggning av skyddsskikt och skyddstäckning.

Geomembran

Vid arbetet med tätskiktet bör nedanstående punkter beaktas. Många av de punkter som beskrivs bör ingå i den kvalitetsplan som upprättats för kvalitetssäkring av skiktet.

Levererat tätskiktsmaterial skall kontrolleras för notering av rullnummer, typ av material och eventuella skador.

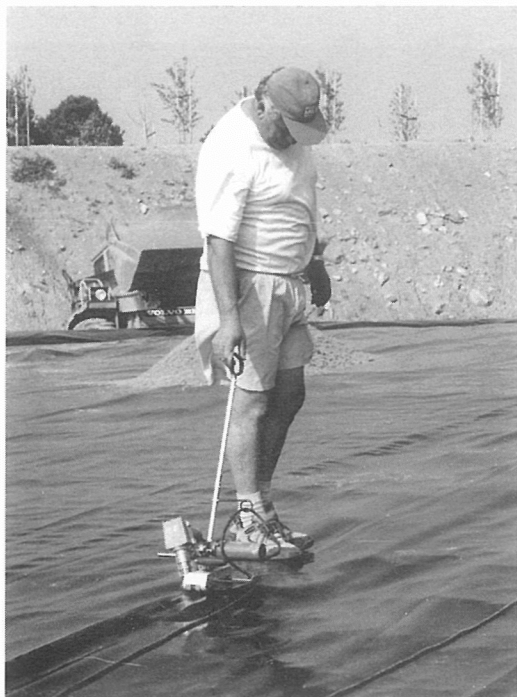
En plan skall upprättas av tätskiktsentreprenören hur geomembranpanelerna skall läggas ut och i vilken ordning.

Vid installation av syntetiska geomembran skall provsvetsning utföras dagligen. Provnigen innebär inställning av svetsmaskinens temperatur och hastighet vid rådande väderförhållanden för att man ska erhålla en tillfredsställande svetsfog.



Figur 8:2. Utläggning av geomembran.

Markentreprenören avdelar de resurser som avtalats med tätskiktsentreprenören, huvudsakligen maskinresurser bl a för hantering av rullar. Markentreprenören skall hela tiden följa läggningen och utföra de efterföljande aktiviteterna, förankring och skyddsfyllning för att förhindra skador t ex till följd av för stark vind, veckning på grund av temperaturväxlingar eller svällning av lergeomembran som inte är belastade.



Figur 8:3. Svetsningsarbete.

Nära samarbete mellan båda entreprenörerna krävs för att skapa förutsättningar för kvalitets-säkring och dokumentation.

Förankring av tätskiktet när syntetiskt geomembran med hög termisk utvidgning, t ex polyeten, används, bör utföras vid en temperatur då geomembranet är "litet", för att förhindra dragpåkänning i konstruktionen senare. Detta kan vara svårt att utföra eftersom arbetstider och krav på vindförankring kommer i konflikt med behovet av förankring vid rätt temperatur.

För lergeomembran gäller att skyddsfyllning minst 0,3 m skall påföras i direkt anslutning till installationen. Bentoniten skall inte svälla utan att vara belastad med minst ca 4 kPa.

Man bör noggrant före arbetena tänka igenom och försöka identifiera problem som kan uppstå med exempelvis rörgenomföringar, så att "snabba lösningar" på plats undviks.

Naturliga Jordar

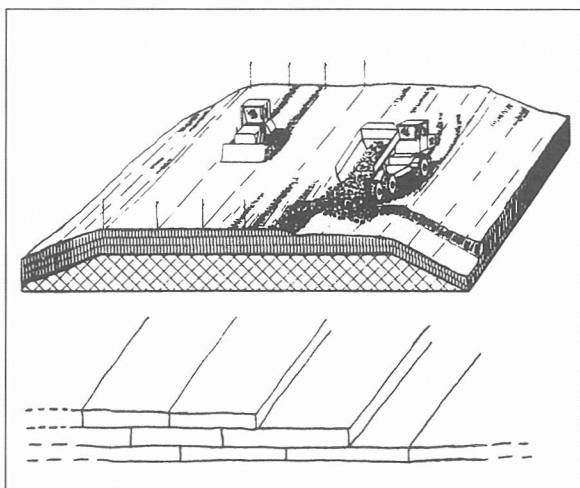
Jorden i ett tätskikt skall bilda ett kontinuerligt sammanhängande tätskikt vilket betyder att all utläggning och packning måste gå i en viss "tågordning". Arbetena utförs normalt av en markentreprenör.

Eftersom materialen som skall användas måste vara noggrant specificerade (normalt via kornstorleksfördelning), se också kapitel 7, så görs kontrollen av levererat jordmaterial vid installationsplatsen alternativt utförs kontroll i den täkt man använder.

Jordskikten bör läggas ut efter en i förväg upprättad plan. Mängden material och ytans storlek för varje arbetsskift bör vara planerad i förhand.

För leror går kompakteringen ut på att uppnå ett plastiskt tillstånd där bearbetningen skapar ett kontinuerligt skikt. För leriga jordar avser packningen att skapa ett så kompakt material (hög densitet) som möjligt.

Vid packning av jordar är vattenkvoten hos materialen av betydelse för ett gott resultat. Att fastställa kriterier och att kontrollera vattenkvoten är således viktigt vid tätskiktutförande av naturliga jordar.



Figur 8:4. Principskiss för utläggning.

Leror

Leran fördelas jämt över ytan med t ex schaktblad eller bred skopa. För att sedan trycka sönder lerklumpar och bearbeta leran till ett sammanhängande skikt fordras tunga band- eller gummihjulsfordon.

Utbredning och packning bör utföras i minst två delskikt för att ofullständigheter i ett skikt inte skall få för stor betydelse. Varje delskikt bör inte vara mäktigare än 0,3 m eller understiga 0,15 m före packning. Skarvarna mellan de olika delskikten skall överlappas så att de aldrig ligger mitt över varandra. Vid utläggningen/packningen måste delskikten skyddas mot uttorkning genom att snabbt påföra nya skikt. Skyddstäckning med jord eller täckning med plastduk kan vara ett alternativ.

Finkorninga moräner

Packningsarbetet utförs med tunga fordon t ex vibrovält eller gummihjulsfordon. Utbredningen av skikten bör göras som för lera.

Leriga moräner bör läggas ut i minst två skikt med en mäktighet på ca 0,3 m för varje delskikt. Stenstorleken i moränen bör begränsas till halva lagertjockleken. Packningen kan utföras med vibrovält, larvgående schaktmaskin eller dylikt. Utprovning bör ske före val av packningsmaskiner.

Underlaget måste vara stabilt och "svara" för att erforderlig packningsgrad skall kunna nås. Avfall som underlag är normalt sviktande, vilket innebär att betydande del av packningsenergin går förlorad med ofta dåligt resultat som följd.

Vattenkvoten vid packningen bör ligga nära den optimala med någon procent över. Risken för dålig bärighet ökar vid ökat vatteninnehåll och marginalen är liten för leriga jordarter jämfört med leror. Dessutom tas vatten upp snabbare, vilket innebär större känslighet för regn. Omvänt gäller för uttorkning.

Det bör anges inom vilket vattenkvotsintervall som packning får ske för att beräknad packningsgrad skall uppnås.

Föreskriven skyddstäckning bör ske i samband med uppbyggnaden av tätskiktet. Skyddstäckningen skall utföras på ett sådant sätt att tätskiktet inte skadas, vilket t ex innebär att tippning av massor direkt på tätskiktet i allmänhet är olämpligt.

Bentonittätade jordar

Avgörande för tätheten hos bentonittätade jordar är att jorden och bentoniten blandas till en homogen massa. Blandningen rekommenderas att utföras i tvångsblandare. Den ingående vattenkvoten (naturlig) hos jorden skall i det skedet vara lägre än den förutbestämda. Resterande vattenmängd, som bestäms med utgångspunkt av den totala vattenkvot som föreskrivits, tillsätts därefter direkt före blandningen. Om den färdiga blandningen skall lagras så måste den skyddas mot regn och uttorkning.

Tätskiktets packningsgrad är den viktigaste faktorn för täthetsresultatet. Belastning på materialet efter packningen är också väsentlig för att bentoniten vid svällningen inte enbart skall vidga porerna. För att packningen skall bli effektiv måste underlaget vara stabilt. Avfall kan vara sviktande och "svara" därför inte på packningen. Packningsenergin går förlorad ned i avfallet. Resultatet blir att förväntad packningsgrad och därmed förväntad täthet inte kan uppnås.

Tätskiktet av bentonittätad jord kan anläggas i ett eller flera skikt, varje delskikt bör inte vara mäktigare än 0,3 m före packning. Maskinell utrustning för packning bör utprovas, ofta lämpar sig vibrovält eller vibroplatta.

Packningskontroll utförs i samband med installationen. Stickprov för kontroll av den hydrauliska konduktiviteten bör utföras, se även ckecklista i bilaga 3.

Skyddstäckningen görs i anslutning till tätskiktsinstallationen. Försiktighet bör iakttagas vid överfyllningen så att inga skador uppstår. Tippning av det första skiktet av skyddstäckningen direkt på tätskiktet bör undvikas. Skyddstäckningen läggs i stället ut, t ex med grävmaskin.

Kap 9. Kravspecifikation för utförande

Allmänt

I kapitel 7 ges rekommendationer till hur en kravspecifikation på material bör se ut med avseende på olika tätskiktsmaterial. Specifikationen används av projektören/konstruktören och uppgifterna specificeras i förfrågningsunderlaget för tätskiktleveransen.

På samma sätt som för tätskiktsmaterialet kräver tätskiktskonstruktionerna visst utförande vid installationen för att avsedd funktion skall fås. I detta kapitel redovisas faktorer som bör klargöras inför tätskiktsinstallationen och som specificeras i förfrågningsunderlaget för tätskiktstentreprenaden.

Vilka krav skall anges på utförande?

Nedan ges en rekommendation på minst de faktorer som bör beaktas och ingå i en utförandespecifikation. Observera dock att det är den aktuella situationen, t ex platsförhållandena och årstiden för installationen, som slutligen avgör vilka faktorer som skall tas med i specifikationen.

Generellt för alla typer

Följande faktorer tas upp för alla tätskiktsmaterial:

- om och hur underlaget för tätskiktet skall prepareras
- om och hur skyddslager skall påföras
- hur fyllning av övriga massor över skyddslager skall utföras
- under vilka väderförhållanden (regn, vind, temperatur) som arbete med tätskiktet inte får utföras.

Syntetiska geomembran

Utöver generella faktorer (se ovan) anges för syntetiska geomembran:

- hur skarvning skall utföras
- hur anslutningar mellan tätskikt och anslutande konstruktioner skall utföras
- om och hur särskilda anordningar för montering skall användas, t ex förankringsdiken
- utläggningsordning- och utläggningsriktning
- om dokumenterad kunskap ska uppvisas av svetspersonal

Lergeomembran

Utöver generella faktorer (se ovan) anges för lergeomembran:

- hur lagring av geomembran skall ske
- hur skarvning skall utföras
- hur anslutningar mellan tätskikt och anslutande konstruktioner skall utföras
- utläggningsordning och utläggningsriktning
- om och hur särskilda anordningar för montering skall användas, t ex förankringsdiken
- hur geomembranet skall skyddas om inte belastning (min 4 kPa) kan påföras innan membranet sväller (normalt inom 24 timmar).

Naturliga jordar och bentonittätade jordar

Utöver generella faktorer (se ovan) anges för naturliga jordar:

- vid vilken vattenkvot eller vattenkvotsintervall som lager skall läggas ut, bearbetas och packas
- hur erforderlig packningsgrad/bearbetningsgrad skall undersökas och fastställas på arbetsplatsen
- hur erforderlig packningsgrad/bearbetningsgrad skall nås för att erhålla uppställt permeabilitetskrav.

Kap 10. Kvalitets- och miljösäkring

Vad är kvalitetssäkring?

Med kvalitetssäkring menar vi att säkra den kvalitet som överenskommits mellan beställare och leverantör, t ex via uppställda krav i en material- och utförandebeskrivning, se kapitlen 7 och 9.

Observera att kvalitet i dessa sammanhang inte är ett relativt begrepp (t ex dålig eller bra).

Kvalitet är ett absolut begrepp som definierar just det utförande eller den funktion som avtalats.

För att kunna kvalitetssäkra måste vi således ha en kravspecifikation som ligger till grund för avtalet mellan beställare och leverantör. För tätskikt utgör ofta en material- och arbetsbeskrivning med föreskrivna materialegenskaper, monteringsanvisningar etc. denna kravspecifikation.

Själva säkringen av kvaliteten, dvs att tätskiktet utförs enligt den uppställda specifikationen, kan ske på flera sätt. Ofta ligger sk egenkontroll till grund för denna, vilket betyder att utföraren/leverantören genomför kontrollen och dokumenterar denna.

Egenkontrollen ingår normalt i något slags kvalitetsledningssystem som leverantören byggt upp. Systemet kan se ut på olika sätt. Ett internationellt standardiserat system för kvalitetsledning är ISO 9000 (normalt i dessa fall ISO 9001). Är man certifierad enligt detta system så innebär det att man innehar ett kvalitetssystem som uppfyller denna standards krav och att frekventa revisioner utförs av oberoende ackrediterade organ, som i sin tur i Sverige är underställda SWEDAC (Sveriges centrala förvaltningsmyndighet för ackreditering och teknisk kontroll).

Det är viktigt att notera att innehav av ett certifikat inte garanterar att avtalad kvalitet utförs. Enda garantin är att ett kvalitetssystem med standardens krav existerar hos leverantören och att detta granskas regelbundet via revisioner (stickprov), både vad avser systemnivån (t ex att alla kravelement är med) och implementeringen (att utförda aktiviteter i verkligheten följer systemets krav).

Kontrollplanen

Det är de kvalitetspåverkande momenten som skall säkras i projektet. Vid många kvalitetspåverkande moment skall de mest kritiska prioriteras.

Minst tre frågor skall besvaras vid upprättandet av en kvalitetssäkringsplan. Den första frågan gäller identifiering av kvalitetskritiska mätetal och moment. Materialegenskaperna är givna att säkra i tätskiktsammanhang, liksom vissa arbetsmoment (t ex täta svetsar vid geomembran). Men även andra frågor är av vital betydelse, t ex att arbetet inte utförs vid olämplig väderlek.

Nästa fråga är hur mätetalen och momenten skall säkras. Mätmetod, mätställe och kriterium för godkännande skall bestämmas. Skall t ex mätningar med instrument ingå så omfattar kvalitetssäkringen att instrumentet skall vara kalibrerat och att operatören är kompetent att hantera instrumentet. Beträffande väderlek så föreskrivs under vilka väderförhållande som arbetet får bedrivas (eller inte får bedrivas) och ett sätt att bestämma detta (temperatur, vind, nederbörd etc).

Tabell 10:1. Exempel på kontrollplan (utdrag av några kontrollmoment i en egenkontrollplan)

<i>Kontroll av</i>	<i>Omfattning, mätställe</i>	<i>Metod</i>	<i>Krav</i>	<i>Utförd av dat., sign.</i>	<i>Godkänd dat. sign.</i>	<i>Anmärkning</i>
K3 Underlag för geomembran inkl. avjämning med stenmjöl	Hela ytan	Okulärt alt. avvägning vid små lutningar. Ojämnheter mäts med rätskiva 1 m vid tveksamheter	Lutningar mot utloppspunkt skall finnas på hela ytan. Färdig yta av stenmjöl skall vara packad och ha ojämnheter av max 5 cm per meter. Inga stenar större än 4 mm får finnas i ytan.	SL	SF	
K6 Materialkvalitet geomembran	Mottagningskontroll, omfattning varje rulle samt vid utläggning hela ytan, se anmärkn.	Se anmärkning	Intyg från leverantör stämmer med beställning. Inga hål, veck eller andra skador förekommer	KL OL	SF	Checklistor och blanketter enligt AB xx, se bilaga
K8 Installation av lakvattenledningar och brunnar	Samtliga lakvattenledningar och brunnar	Okulär besiktning, lutning och nivåer, provtryckning	Inga synliga skador, lutning och nivåer enligt ritningar ± 20 mm, täta ledningar enligt VAV P50	KL	SF	
K10 Installation av geomembran	Skarvar, svetsar stosas mm inom hela ytan innan skyddsgeotextil läggs på membranet	Enligt AB xx rutiner anvisning för Grupp B, modifierad så att alla smältsvetsar provtrycks	Rena ytor före svetsning, provsvets och kontroll varje nytt arbetspass, ej tappa tryck i kanal mellan smältsvetsar enligt AB xx rutiner	KL OL	SF	Checklistor och blanketter enligt AB xx, se bilaga
K11 Dräneringslager, erforderlig tjocklek före överfart med maskin	Hela ytan	Mätning med tumstock	300 mm $\pm$ 20 mm	SL	SF	

Tredje frågan berör vem som är ansvarig för olika kvalitetssäkringsmoment och dennes dokumentation. Som sagts innan utförs oftast verifieringen med egenkontroll. Sättet kräver en noggrann ansvarsfördelning och dokumentation i kvalitetssäkringsarbetet. Inget av säkringen skall "hamna mellan stolarna".

Utöver egenkontrollen utövar beställaren kontroll. Ofta blir denna av stickprovskaraktär och omfattar normalt också granskning av protokoll och dokument som ligger till grund för leverantörens egenkontroll.

Ovanstående frågor med svar mynnar ut i en kontrollplan. Denna kan bestå av enbart en egenkontrollplan, men kan med fördel utökas med beställarens kontrollaktiviteter samt även eventuellt med myndigheternas kontroll, om sådan ingår. I *tabell 10:1* visas ett exempel på del av kontrollplan. I *bilaga 3* ges exempel på checklistor som ligger till grund för kontrollaktiviteter.

Vad är miljösäkring?

Kvalitetssäkring definierades ovan som att uppfylla och verifiera/validera en överenskommelse mellan beställare och leverantör. Miljösäkring kan sägas vara att säkra en överenskommelse med samhället, som grundar sig på lagar, förordningar och andra krav som samhället ställer. För ett projekt kan det sistnämnda röra sig om villkor i ett koncessionsbeslut.

En viktig skillnad, med utgångspunkt från miljösäkringens legala krav, är att miljösäkringen inte är förhandlingsbar, till skillnad från kvalitetsmål och kvalitetssäkring, som har ett pris och kan förhandlas.

Allt fler företag upprättar emellertid miljöpolicy och miljömål som går ut på att lagstiftningen skall uppfyllas med "råge". I dessa fall blir det företagets egna åtagande som skall infrias. Säger t ex en entreprenör i sin miljöpolicy att denne alltid beaktar miljöaspekterna vid val av material så skall entreprenören också kunna visa på en säkringsaktivitet avseende materialvalet (t ex rutin och aktivitet för att miljömäs-

sigt värdera ingående produkter). Samma sak gäller beställarens ställningstagande. Har beställaren ställt upp vissa principer kring hur dennes verksamheten miljömässigt skall hantearas (t ex att inte låta PVC ingå i inköpta material), så skall detta säkras i de projekt som beställaren utför.

I det fall att leverantören respektive beställaren är certifierad enligt ISO 14000 eller EMAS så innebär utebliven säkring av åtaganden i miljöfrågorna en avvikelse mot standarden, och skall vid upptäckt (revision) omedelbart rättas till. Certifikatet kan annars dras in. Det är således inte tillåtet enligt standarderna att enbart lova utan att visa att man lever upp till löftena.

På liknande sätt som för kvalitetssäkringen finns således en lista på miljökrav i projektet som skall säkras. I botten ligger legala krav, eventuellt påbyggda med de åtaganden som beställare och leverantör ställt upp utöver de legala kraven.

För att miljösäkra behöver entreprenören ha något slags miljöledningssystem. Ett internationellt standardiserat miljöledningssystem är ISO 14000 (i dessa fall ISO 14001). Inom EU finns också EMAS. På samma sätt som för ISO 9000 innebär detta att man, om man är certifierad enligt något av dessa system, innehar ett miljöledningssystem som uppfyller dessa standarders krav och att frekventa revisioner utförs av oberoende ackrediterade organ, som i sin tur i Sverige är underställda SWEDAC.

I princip är det ingen skillnad i säkringen av miljökritiska frågor jämfört med kvalitetskritiska. En kontrollplan upprättas enligt samma mönster. Därför gäller ovanstående text kring kvalitetskontrollplanen också för miljökontrollplanen. Möjligen behövs större eftertanke vid upprättandet av miljösäkringens kravlista. Kontrollplanen för kvalitets- och miljösäkringen kan med fördel föras samman och utgöra ett dokument.

11. Referenser

- Carlsson B, Nilsson G. (1995).** Skydda våra vatten. Artikel i Husbyggaren, nr 6, oktober 1995.
- Daniel David E. (1993).** Geotechnical practise for waste disposal, 1993, 683 sidor. ISBN 0 412 35170 6.
- Deponering av avfall. Förslag till Allmänna Råd (1996).** Naturvårdsverket, Rapport 4610.
- Förslag till geotekniska laboratorieanvisningar, del 5 B2:1971, del 7 B5:1973, del 8 B7:1972,** Svenska Geotekniska Föreningen.
- Geosynteter: Beständighet och provningsmetoder. Förstudie (1994).** Varia 417, Statens geotekniska institut.
- Geosynteter för järnväg (1977).** Tekniskt meddelande TM p7-033, Banverkets.
- Geosynthetics: Applications, Design and Constructions (1996).** Proceedings of the first European Geosynthetics Conference, Maastricht.
- Geotekniska laboratorieanvisningar, del 2 (1981).** Jordarternas indelning och benämning. Svenska Geotekniska Föreningen.
- Jones D.R.V and Dixon N. (1998).** Shear Strength Properties of Geomembranes/Geotextile. Interfaces. Geotextiles and Geomembranes, volume 16, 1998 nr 1, sid. 45 - 71.
- Jordarmering, dimensionerande draghållfasthet för syntetmaterial (1992).** Vägverket, Publ. 1992:10
- Koerner Robert M. (1989).** Designing with Geosynthetics. ISBN 0 13 202300 8.
- Lundgren T. (1995).** Sluttäckning av avfallsupplag. Naturvårdsverket, Rapport 4474.
- Membraner til deponeringsanlæg (1997).** Forslag till Dansk standard, 1997. DSF 37244.
- Yt- och grundvattenskydd (1995).** Vägverket, Publ. 1995:1
- Veldhuijzen van Zanten, R. (1986).** Geotextiles and Geomembranes in Civil Engineering. A.A.Balkema/Rotterdam/Boston. ISBN 90 6191624 0.

Bilagor

Bilaga I. Beräkningar

(”Dimensionering av hydrauliska barriärer” är författat av Pär Elander, Miljöteknik.

”Släntstabilitet för fyllningar på geomembran” är författat av Per-Evert Bengtsson, SGI)

Dimensionering av hydrauliska barriärer

Allmänt

I denna bilaga redovisas förenklade metoder som kan användas för uppskattningar av läckage genom tätskikt och avrinning i dräneringslager. Metoderna innebär att man förenklar ett komplicerat strömningsproblem till beräkning av endimensionella stationära flöden. Metoderna bör därför i första hand användas som ett hjälpmedel för överslagsmässiga beräkningar av effekten i ett utredningsskede. Används denna typ av förenklade modeller för dimensionering måste man försäkra sig om att man utnyttjar antaganden som ger resultat på säkra sidan. För en noggrannare dimensionering av hydrauliska barriärer krävs normalt beräkningsmodeller som kan hantera två- eller tredimensionell instationär strömning.

Beräkning av avbördning och tryckhöjd i dräneringslager

De faktorer som påverkar avrinningen i en dränering och uppbyggnaden av tryckhöjd på underliggande tätskikt är främst geometrin (maktighet, lutningsförhållanden och avståndet mellan dräneringsrör) samt dräneringslagrets och tätskiktets respektive hydrauliska konduktiviteter.

En vanlig förenkling vid beräkningar av dräneringar för uppsamling av lakvatten eller avbördning av ytvatten är att anta att bottenfyllningen är impermeabel och dess lutning i förhållande till horisontalplanet är liten. Antar man vidare att inflödet till dräneringen är stationärt, erhålls följande ekvation för dräneringslagrets funktion (Oweis och Khera, 1990):

$$h_{\max} = \frac{L}{2} \cdot \left[\sqrt{(\tan^2 \alpha + N/K_D)} - \tan \alpha \right] \quad (1)$$

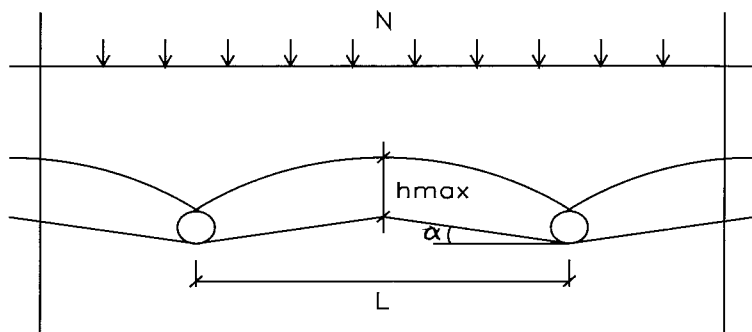
$h_{\max}$ = maximal tryckhöjd i dräneringslagret (m)

L = avståndet mellan dräneringsrör (m)

N = inflödet till dräneringslagret (m^3/s)

K_D = dräneringslagrets hydrauliska konduktivitet (m/s)

α = lutning (tätskiktets vinkel med horisontalplanet)



Figur B I:1. Dimensionering av bottendränering, principskiss.

De förenklande antaganden som ligger till grund för ekvationen innebär samtidigt svårigheter vid valet av indata, framför allt vad gäller inflödet till systemet (N). Vanligtvis är detta en funktion av nederbörden som ju varierar avsevärt i tiden, även om en viss utjämning erhålls beroende på vilka material som överlagrar dräneringen och hur mäktiga dessa lager är. Ekvationen lämpar sig därför bäst för beräkning av begränsade perioder i tiden, t ex för uppskattning av erforderlig kapacitet vid höga relativt kortvariga flöden. Ekvationen kan också användas för uppskattning av vilka gradienter som kan uppkomma för strömning genom det underliggande tätskiktet.

Beräkning av läckage genom mineraliska tätskikt

Vattentransporten genom ett tätskikt av jord kan beräknas med hjälp av Darcys lag:

$$q = K \cdot i \quad (2)$$

q = flödet genom tätskiktet per ytenhet ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{s}$)

K = materialets hydrauliska konduktivitet (m/s)

i = den hydrauliska gradienten (m/m)

Darcys lag kan även användas för andra material som förenklat kan betraktas som "homogena och porösa", dvs material där strömningen sker i ett sammanhängande porsystem. Exempel på andra sådana material är betong, cementstabiliserade askor och bentonitmattor.

För horisontella tätskikt bestäms gradienten som driver strömningen av tryckskillnaden mellan tätskiktets översida och undersida. Dräneras tätskiktet på ovansidan begränsas de tryckhöjder som byggs upp på detta till enstaka centimetrar. För tätskikt av packad jord, som har en mäktighet av flera decimeter brukar man ofta anta att den hydrauliska gradienten är lika med 1. Antagandet innebär att man försummar den begränsade tryckhöjd som kan byggas upp på tätskiktets översida, men också det eventuella undertryck som kan finnas i porvattnet på tätskiktets undersida, om detta står i kapillär förbindelse med en grundvattenyta på större djup. Antagandet är alltså inte på den "säkra sidan" och gradientens storlek måste analyseras i varje enskilt fall. Använder man ett lergeomembran, som är mindre än 1 cm tjock, är det uppenbart att gradienten tidvis kan bli flera gånger högre även när lergeomembranet överlagras av en dränering.

Ett annat problem är att bestämma den tid som det finns tillgängligt vatten för perkolation genom tätskiktet. Vanligtvis omfattar beräkningarna en årscykel. Perkolationen äger dock oftast rum endast under delar av året. Vid enkla överslagsberäkningar kan man använda en så kallad *perkolationstidsfaktor* i ekvation (1) ovan för att ta hänsyn till tiden och ekvationen kan då skrivas:

$$q = f_p \cdot K \cdot i \quad (3)$$

f_p = perkolationstidsfaktor

Perkolationstidsfaktorn anger hur stor andel av tiden under ett normalår som vatten finns tillgängligt för perkolation genom tätskiktet. Denna varierar beroende på klimatförhållandena på platsen man befinner sig (nederbörd, avdunstning) och på konstruktionens utformning, som ju är avgörande för dräneringskapaciteten hos dräneringslagret/täckningen över tätskiktet. Uppskattningar av perkolationstidsfaktorn för olika delar av Sverige och betydelsen av dräneringar för att begränsa perkolationen finns redovisade i Lundgren och Elander (1986).

Beräkning av läckage genom syntetiska geomembraner

Beräkning av läckaget genom syntetiska geomembraner kan inte genomföras på samma sätt som beräkningar av mineraliska tätskikt eftersom dessa från strömningssynpunkt inte fungerar som porösa material på samma sätt som tätskikt av jord. Den vattentransport som sker genom membranmaterialet är mycket liten och kan i princip försummas. I stället kommer läckaget genom ett syntetiskt geomembran i praktiken att bestämmas av antalet skador på membranet, skadornas storlek och fördelning, den hydrauliska konduktiviteten hos angränsande material samt anläggningen mot dessa.

I USA har särskilda beräkningsmodeller utvecklats för beräkning av syntetiska geomembraners barriäreffekt. Nedanstående ekvationer för strömning genom ett hål i ett geomembran har baserats både på teoretiska analyser av strömningsproblemet och empiriska undersökningar av skador och deras effekter (Giroud et al 1994).

1. Strömning genom hål i ett enkelt syntetiskt geomembran

Läckaget genom ett enstaka hål i ett geomembran kan beräknas med hjälp av följande formel:

$$Q = 0,6 \cdot a \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (4)$$

Q = flöde genom hålet (m^3/s)

a = hålets yta (m^2)

g = gravitationskonstanten (m/s^2)

h = vattnets tryckhöjd över hålet (m)

Ekvationen, som i princip är Bernoullis avbördningsekvation för små öppningar, kan användas när ett geomembran placeras mellan två lager med hög hydraulisk konduktivitet, d v s omges av väl dränerande material på båda sidor. Används ekvationen när geomembranet gränsar mot ett lager med lägre permeabilitet än 10^{-1} à 10^{-2} m/s kommer strömningen genom hålet att begränsas av detta (under förutsättning att anläggningen mot det begränsande lagret är god). Beräkningar av läckaget genom ett hål i ett geomembran med denna ekvation ger således resultat på säkra sidan.

2. Strömning genom hål i ett syntetiskt geomembran i kombination med annat tätskikt (komposittätskikt).

När geomembranet används i kombination med ett lager av ett material med måttlig eller låg hydraulisk konduktivitet begränsas strömningen genom ett hål av det angränsande skiktets genomtränglighet för vatten. Effekten av en hydraulisk barriär som utnyttjar ett syntetiskt geomembran i kombination med ett tätskikt av jord, så kallade *komposittätskikt*, blir oftast mycket god. Man måste dock vara uppmärksam på att en god kontakt erhålls mellan det syntetiska geomembranet och jordtätningen och att dränerande material, geotextilier etc inte placeras mellan de båda tätskikten. En bristfällig anläggning medför ett större läckage p g a (lateral) strömning i gränzonen mellan membran och jordtätning.

Empiriska undersökningar (Giroud et al 1994) har visat att läckaget genom ett hål i ett syntetiskt geomembran som används i kombination med ett angränsande skikt med begränsad hydraulisk konduktivitet ($K < 10^{-6}$ m/s) kan uttryckas med ettdera av följande samband:

$$Q = 1,15 \cdot i_{avg} \cdot a^{0,1} \cdot h^{0,9} \cdot K^{0,74} \quad (\text{bristande anläggning mot angränsande skikt}) \quad (5a)$$

$$Q = 0,21 \cdot i_{avg} \cdot a^{0,1} \cdot h^{0,9} \cdot K^{0,74} \quad (\text{god anläggning mot angränsande skikt}) \quad (5b)$$

Q = flöde genom hålet (m^3/s)

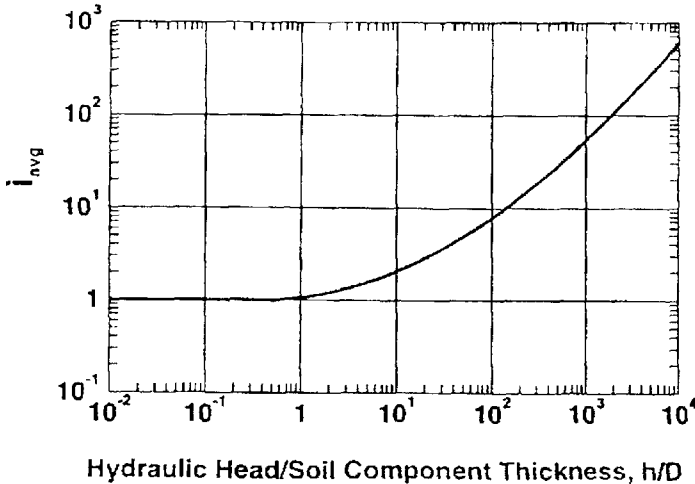
a = hålets yta (m^2)

K = permeabiliteten hos det angränsande skiktet (m/s)

h = vattnets tryckhöjd över hålet (m)

i_{avg} = dimensionslös konstant enligt figur 2. Om $h \leq D$ så gäller $i_{avg} = 1$

D = mäktigheten hos det angränsande skiktet (m)



Figur B1:2. Nomogram för bestämning av konstanten i_{avg} (Giroud et al 1994).

Ekvationerna baseras på antagandet att en fri vattenyta utbildas ovanför barriären samt att fri dränering erhålls under den kombinerade tätningen.

Skadefrekvens för geomembraner

En mycket viktig faktor som måste beaktas vid beräkningen är hur stor skadefrekvens som kan förväntas hos det syntetiska geomembranet efter det att installationen är klar och membranet har täckts. Erfarenheter från USA har visat att frekvensen av "större" skador som ändå kan vara svåra att upptäcka vid visuell kontroll (hål i storleksordningen 1-2 mm) i bästa fall begränsas till 2-4 skador per ha medan mindre defekter ("pinholes") är mer frekventa. Efter ingående studier av skadefrekvens, hålstorlekar m m rekommenderas att man vid dimensionering antar att skadefrekvensen hos ett *omsorgsfullt installerat och noggrant kontrollerat* membran är 3 skador per ha, vardera med arean 10^{-4} m^2 (Giroud et al 1994). Med detta antagande tar man även hänsyn till effekten av små defekter.

Den ovan angivna skadefrekvensen baseras på att installationen utförts på ett riktigt sätt och med en omfattande kvalitetssäkring som inbegriper täta kontroller. *Undersökningar har visat att skadefrekvensen ofta är tio gånger högre för membraner som installerats med mindre omfattande kontroll.*

Även geomembranets anliggning mot angränsande skikt som begränsar flödet genom ett hål är viktig. Helt perfekt kontakt kan knappast åstadkommas, eftersom det underlagande tätskiktet endast i undantagsfall kan anses ha en slät yta, och att det i praktiken är omöjligt att installera ett syntetiskt geomembran utan att veck uppkommer. Även ekvationen för "god kontakt" (5b) förutsätter därför att en viss lateral strömning kan förekomma i gränzonen mellan tätskikten. Det skall dock understrykas att den laterala strömningen förutsätts vara mycket begränsad i detta fall.

På längre sikt kan skador uppkomma till följd av åldringseffekter, påverkan av kemikalier m m. Denna typ av skador har inte beaktats vid den redovisade värderingen av skadefrekvens utan förekomsten av sådana måste bedömas i varje enskilt fall. Detta blir särskilt viktigt för membraner som skall fungera under lång tid.

Exempel

För att illustrera effekten av olika typer av tätskikt redovisas det beräkningsmässiga läckaget för några typexempel i nedanstående tabell. Gemensamt för samtliga exempel är att perkolationstidsfaktorn $f_p = 1$ (perkolation under hela året) och att tryckhöjden antagits vara konstant. För beräkningen av syntetiska geomembran har vidare antagits att skadefrekvensen uppgår till 3 skador per hektar och att anliggningen mot det begränsande jordlagret är god.

Beräkningsmetodernas relevans kan ifrågasättas för de låga läckage som redovisas i tabellen för vissa av tätskiktskombinationerna, men de teoretiska resultaten illustrerar betydelsen av att lägga ett jordlager med låg eller måttlig hydraulisk konduktivitet närmast ett geomembran.

Beräkningsresultaten visar också känsligheten för ökande vattentryck som kan skapa höga gradienter på tunna tätskikt (lgeomembran). Observera att beräkningarna utförts med relativt låga vattentryck, motsvarande 1 cm och 10 cm vattenpelare på tätskiktet. I en konstruktion där man inte använder ett dränerande lager över tätskiktet kan betydligt högre vattentryck uppkomma.

Det skall också understrykas att beräkningarna avser nyinstallerade tätskikt. Någon hänsyn har inte tagits till eventuellt nedsatt funktion på grund av åldringseffekter, sättningar m m, som kan inträffa på lång sikt.

Tabell B1:1. Läckage i tätskiktet.

Tätskikt	Jordkomponentens mäktighet	Jordkomponentens hydrauliska konduktivitet K	Läckage vid tryckhöjd 0,01 m	Läckage vid tryckhöjd 0,1 m
	m	m/s	l/m ² /år	l/m ² /år
Lera	0,5	1×10 ⁻⁹	33	40
Lergeomembran	0,006	5×10 ⁻¹¹	3	28
Syntetiskt geomembran			33	110
Komposittätskikt				
- syntetiskt geomembran/silt	0,3	1×10 ⁻⁶	0,6	3
- syntetiskt geomembran/ packad lera	0,3	1×10 ⁻⁹	0,002	0,02
- syntetiskt geomembran/ lergeomembran	0,006	5×10 ⁻¹¹	0,0001	0,002

Referenser

Giroud J P, Badu-Tweneboah K. & Soderman L (1994). *Evaluation of landfill liners.*
Fifth international Conference on Geotextiles, geomembranes and related products.

Lundgren T. & Elander P. (1986). *Deponering av avfall från kol- och torveldning.*
KVM Publikation 10 (även som Statens geotekniska institut, rapport 28 och Naturvårdsverkets rapport 3144).

Oweis I S & Khera R P (1990). *Geotechnology of waste management.* Butterworths.

Släntstabilitet för fyllningar på geomembran

Beräkning av maximal längd hos ett glidskikt (geomembran) i slänt med hänsyn till risk för stabilitetsbrott i överfyllnadsjorden.

Beräkningen genomförd för en antagen brottfigur enligt *figur B1.1*.

Horisontell kraftjämvikt för hela glidkroppen kräver

$$P_A - P_p - N \cdot \tan \mu \cdot \cos \beta + N \cdot \sin \beta \leq 0$$

Vertikal kraftjämvikt för den mellersta delen av glidkroppen kräver

$$W - N \cdot \cos \beta - N \cdot \tan \mu \cdot \sin \beta \geq 0$$

Vilket ger

$$N = \frac{W}{\cos \beta \cdot (1 + \tan \mu \cdot \tan \beta)}$$

Egenvikten hos elementet fås som

$$W = \gamma \cdot \frac{H_A + H_P}{2} \cdot (L - \Delta L) \cdot \cos \beta$$

Vid överkant membran går en plan glidyta upp till släntytan. Under antagande om att ingen friktionskraft fås ett maximalt aktivt jordtryck av

$$P_A = \frac{\gamma_d}{2} \cdot H_A^2 \cdot \frac{(\tan \omega_A - \tan \phi)}{(\tan \omega_A - \tan \alpha) \cdot (1 + \tan \omega_A \cdot \tan \phi)}$$

$$\text{där} \quad \tan \omega_A = \tan \phi + \sqrt{(1 + \tan^2 \phi) \cdot \left(1 - \frac{\tan \alpha}{\tan \phi}\right)}$$

Glidytan fortsätter utefter membranets yta och antages sedan slå upp som en plan glidyta antingen på den plana delen, alternativ 1 eller i slänten (släntfot), Alternativ 2.

Alternativ 1.

Glidyten slår upp på den plana delen

$$P_p = \frac{\gamma_d \cdot H_p^2}{2} \cdot \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)$$

Alternativ 2.

Glidyten slår upp i slänten(släntfot)

$$P_p = \frac{\gamma_d \cdot H_p^2}{2} \cdot \frac{(\tan \omega_p + \tan \phi)}{(\tan \omega_p + \tan \alpha) \cdot (1 - \tan \omega_p \cdot \tan \phi)}$$

$$\text{där } \tan \omega_p = -\tan \phi + \sqrt{(1 + \tan^2 \phi) \left(1 - \frac{\tan \alpha}{\tan \phi} \right)}$$

Beräkningen föreslås ske enligt följande beräkningsgång:

1. Beräkna H_p

Alternativ nr 1.

$$H_p = \frac{H_s}{\cos \beta}$$

$$\Delta L = 0$$

Alternativ nr 2.

$$H_p = \frac{H_s}{\cos \beta} \cdot \frac{(\tan \alpha + \tan \omega_p)}{(\tan \beta + \tan \omega_p)}$$

$$\text{där } \tan \omega_p = -\tan \phi + \sqrt{(1 + \tan^2 \phi) \cdot \left(1 - \frac{\tan \alpha}{\tan \phi} \right)}$$

$$\Delta L = \frac{H_s}{\cos^2 \beta \cdot (\tan \omega_p + \tan \beta)}$$

Alternativ nr 3. Som alt. 2 men ω_p varieras

2. **Beräkna P_p**

Alternativ nr 1.

$$P_p = \frac{\gamma_d}{2} \cdot H_p^2 \cdot \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)$$

Alternativ nr 2.

$$P_p = \frac{\gamma_d \cdot H_p^2}{2} \cdot \frac{(\tan \omega_p + \tan \phi)}{(\tan \omega_p + \tan \alpha) \cdot (1 - \tan \omega_p \cdot \tan \phi)}$$

3. **Beräkna H_A för antaget L** $H_A = H_p + L \cdot \cos \beta \cdot \tan \alpha - L \cdot \sin \beta$

4. **Beräkna $\tan \omega_A$** $\tan \omega_A = \tan \phi + \sqrt{\left(1 + \tan^2 \phi\right) \cdot \left(1 - \frac{\tan \alpha}{\tan \phi}\right)}$

5. **Beräkna P_A** $P_A = \frac{\gamma_d}{2} \cdot H_A^2 \cdot \frac{(\tan \omega_A - \tan \phi)}{(\tan \omega_A - \tan \alpha) \cdot (1 + \tan \omega_A \cdot \tan \phi)}$

6. **Beräkna W** $W = \gamma \cdot \frac{H_A + H_p}{2} \cdot (L - \Delta L) \cdot \cos \beta$

7. **Beräkna N** $N = \frac{W}{\cos \beta \cdot (1 + \tan \mu \cdot \tan \beta)}$

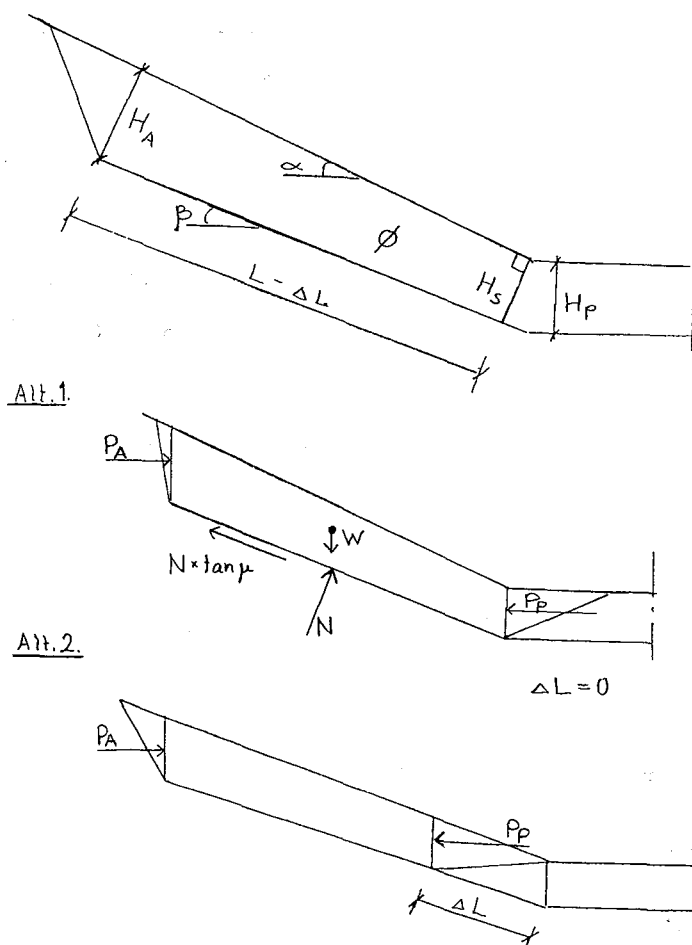
8. **Kontrollera att horisontell jämvik är uppfylld**

$$P_A - P_p - N \cdot \tan \mu \cdot \cos \beta + N \cdot \sin \beta \leq 0$$

Ändra L och börja om i pkt 3 tills vänstra ledet är lika med 0.

Beteckningar

- P_A = Aktiva jordtrycket
 P_P = Passiva jordtrycket
 N = Normalspänningen mot glidskiktet(tätskiktet)
 W = Egenvikten hos överfyllnadsjorden
 H_A = Fyllnadsjorden höjd vid överkant glidskikt
 H_P = Fyllnadsjordens höjd vid nederkant glidskikt
 H_S = Fyllnadsjorden höjd vid slänttån
 ΔL = Släntlängden för del av glidskiktet
 L = Glidskiktets hela längd
 μ = Glidskiktets dimensionerande friktionsvinkel
 β = Glidskiktets lutning
 ϕ = Överfyllnadsjordens dimensionerande inre friktionsvinkel
 γ = Densiteten hos överfyllnadsjorden
 α = Yttre släntlutning



Figur B1:3. Antagna brottfigurer, släntstabilitet för fyllningar på geomembran.

Bilaga 2. Upphandling och genomförande av tätskiktsentreprenader

Allmänt

I det svenska lagkomplexet finns bl a Köplagen som reglerar köpet mellan leverantör och konsument. Det finns dock ingen svensk lag med regler för entreprenader där en näringsidkare är beställare. I stället har byggbranschen förhandlat fram bestämmelser som reglerar avtalsförhållandet. Dessa måste återopas i varje särskilt fall och gäller således inte automatiskt som vid fallet när något är lagstiftat.

De standardavtal som upprättats i byggbranschen och som berör tätskiktsarbeten är:

- AB 92 (Allmänna Bestämmelser för Byggnads-, anläggnings- och installationsarbeten)
- ABT 94 (Allmänna Bestämmelser för Totalentreprenader avseende byggnads-, anläggnings- och installationsarbeten)
- AFU 96 (Allmänna Bestämmelser för Underentreprenader)
- ABK 96, Allmänna Bestämmelser för Konsultuppdrag.

AB 92 är mest förekommande och används vid upphandling och avtal för entreprenadformer där beställaren ombesörjer projekteringen (tekniska beskrivningar, specifikationer och ritningar). AB 92 används således för såväl delade entreprenader som generalentreprenader. Man kallar dessa entreprenadformer också för "utförande-entreprenader".

ABT 94 är avsedd för entreprenader där beställaren sluter ett avtal med en entreprenör om såväl utförandet som hela eller väsentliga delar av projekteringen. I totalentreprenaden ingår, utöver utförandet, normalt också ett funktionsansvar.

AFU 96 avser förhållandet mellan en underentreprenör och dennes uppdragsgivare (t ex generalentreprenör). AB 92 utgör basen för AFU 96 och är en komplettering av AB 92.

ABK 96 är en avtalshandling mellan beställare och konsult (t ex projektör).

Handlingar

I anbudshandlingar och bygghandlingar ingår normalt följande:

- Beställningsskrivelse, kontrakt eller liknande
- Administrativa Föreskrifter
- Material- och Arbetsbeskrivning
- Ritningar
- Förteckningar

Administrativa Föreskrifter, AF

Oavsett hur stor eller liten en entreprenad är så krävs någon form av administrativa föreskrifter. Svensk Byggtjänsts AF AMA 98 rekommenderas att användas (AF = Administrativa Föreskrifter, AMA = Allmän Material- och Arbetsbeskrivning). AF AMA 98 är avpassad till såväl AB 92 som till ABT 94. AF AMA täcker alla typer av projekt och särskild AF AMA krävs således inte för tätskiktsentreprenader.

AMA-systemet består av föreskrifter samt råd och anvisningar. För tätskiktsentreprenaden rekommenderas att använda delen "råd och anvisningar" i AF AMA, gå igenom rubrikerna, upprätta de rubriker och koder man vill återropa och föra in lämplig text under rubrikerna.

Tätskiktsskonstruktioner kräver oftast ett kvalitetssäkringsarbete som utgör en väsentlig del av kontraktssumman. Det är därför viktigt att i AF noggrant ange omfattningen av kvalitetssäkringen så att anbudsgivarna kan kalkylera in dessa kostnader. Vill man särskilt betona kvalitetssäkringen anges detta i AFAMA 98 (under rubriken AFD. 3519). Beställaren kan också låta upprätta en särskild PM där både det administrativa och det tekniska arbetet kring kvalitetssäkringen kan regleras. Hänvisning sker då från rubriken i AF till denna PM.

Vill man särskilt betona miljösäkringen kan detta ske i AFAMA 98 eller enligt samma förfarande som ovan med särskilt PM.

Material- och arbetsbeskrivning

Det finns också i AMA-systemet ett underlag för tekniska beskrivningar. Dessa finns i ett antal publikationer Mark AMA, Hus AMA, VVS AMA etc. För entreprenader i mark gäller Mark AMA 83.

Mark AMA 83 är inte anpassad för tekniska beskrivningar för tätskiktsskonstruktioner i jord och berg, dvs ett rubriksystem, föreskrifter eller råd och anvisningar finns inte. I avvaktan på ny AMA (se nedan) finns emellertid i särskild artikel i AMA-Nytt (nr 1/96) rekommendationer om hur miljökonstruktioner kan hanteras i Mark AMA 83.

Exempel på mängdbeskrivning. (Figuren är avkapad då den endast är ett exempel)

Kod	Pos	Beskrivning	Enhet	Mängd	Å-pris	Kostnad
C1.142		<u>Bentonitblandad sand (BES)</u> Under deponiyta läggs 200 mm BES. Under lakvattendiken och utjämningsmagasin 300 mm BES. Endast plustolerans accepteras, dvs tjockleken får inte understiga 200 mm resp. 300 mm. Skiktets överyta skall ha en jämnhet som per 5 meter inte avviker från teoretisk linje med mer än 3 cm. BES tillhandahålls på lagringsplats 1 km utanför anläggningen. Upplastning sker genom beställarens försorg. Entreprenören skall avropa mängder, se AF2.2612. BES läggs ut i ett skikt och packas till viss densitet. I anbudet räknas med fyllnings- och packningsklass 2, tabell C/5, material 3A samt packning med vibratorplatta och/eller vibrerande envalsvält. Entreprenören skall vara beredd på att denna specifikation BES får inte utsättas bevattnings) i bran inställd skall	km m³ ta m³	3300 3300		

En ny AMA benämnd Anläggnings AMA är dock under framtagning. Denna kommer sannolikt ut under 1999. Anläggnings AMA har samordnats med Vägverkets och Banverkets speciella föreskrifter. I denna har tätskiktskonstruktioner ett särskilt kapitel, där tekniska beskrivningen kan inordnas.

Ett viktigt krav på en material- och arbetsbeskrivning är att den, förutom att vara tekniskt korrekt, skall ge kalkylerbara mängder avseende material och arbete.

Ritningar

Ritningar upprättas med olika syften, t ex för att visa tekniska principer (systemritningar), att utgöra anbudsunderlag (anbudsritningar), att vara underlag för arbetsutförandet (arbetsritningar) eller att visa hur utförandet till slut blev gjort (relationsritningar).

Ritningar kring tätskiktskonstruktioner skiljer sig principiellt inte från ritningar i andra konstruktioner. Vissa detaljer är särskilt viktiga att beakta och redovisa för tätskiktskonstruktioner, bl a genomföringar och förankringar.

I många fall kan en systemskiss som visar helheten vara utmärkt för att ge entreprenören/installatören vägledning om varför konstruktionen görs på det sätt som anges. Skissen kan eventuellt läggas in i förminskad skala på arbetsritningen.

Eftersom detaljer som genomföringar, förankringar och anslutningar påverkar entreprenörens arbete (tid, materialspill etc.) och kostnad i hög grad är det av värde att dessa redan anges på anbudsritningarna (vilka också kan vara arbetsritningar).

I samband med arbetsberedningen bör entreprenören upprätta en planritning för läggning av geomembranpaneler eller utläggning och packning av skikt etc. Denna plan är ett underlag för samordning med eventuell markentreprenör och kan också utgöra underlag för redovisning av kontrollarbeten.

I kontraktshandlingarna brukar föreskrivas att relationsritningar skall upprättas av entreprenören. På dessa anges, efter utförandet, tätskiktets verkliga omfattning i plan, lägen för lagningar, genomföringar mm. Relationsritningar är ytterst viktiga dokument och får inte glömmas.

Förteckningar

Mängdförteckning ingår normalt i underlaget för en entreprenad. Ofta kombineras denna med material- och arbetsbeskrivningen till en mängdbeskrivning, se exempel föregående sida.

Exempel på detaljer som ofta glöms i förteckningen är antalet genomföringar som skall utföras i tätskiktet, t ex för fundament, stolpar eller avlopp.

Bilaga 3. Exempel på mallar och checklistor för kvalitetssäkring

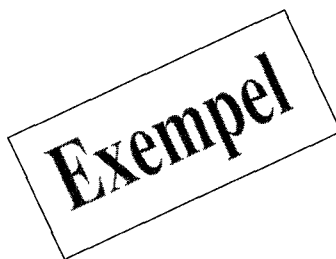
Checklista för kontroll av geomembranarbeten

- ☐ Mottagningskontroll (tjocklek, kvalité, synliga skador m m)
- ☐ Kontroll av förhållanden på arbetsplatsen - m a p lagring och hantering av material efter mottagning, under arbetets gång
- ☐ Kontroll av grundförhållanden/underlag innan utläggning (Visuell bedömning av kornstorlek, gradering och buktighet)
- ☐ Kontroll av skyddsgeotextil under geomembran (Överlapp, typ, ev nåldetektering)
- ☐ Visuell kontroll av mekanisk skada på membran vid utrullning
- ☐ Kontroll av förankringsdiken och membran i förankringsdiken (bredd, djup, förankringslängd)
- ☐ Kontroll av svetsmaskin (Temperatur, rulltryck, hastighet, kalibreringsdatum)
- ☐ Provsvets med förstörande prov vid uppstart av svetsmaskin
- ☐ Kontroll/definition av kontrollnivå (Nivå A, B, eller C)

Exempel

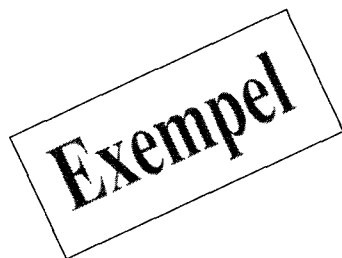
	<u>A</u>	<u>B</u>	<u>C</u>
- Okulär egenkontroll utförd av montör	x	x	x
- Märkning av svets	x	x	x
- Tryckprovning av svets (A 10 %; B 33 %; C 100 %)	x	x	x
- Svetsprotokoll		x	x
- Förstärkning av krysspunkter med extrudersvets (B: efter bedömning, C: alla)		x	x
- Kontroll utföres av beställaren		x	x
- Ej förstörande provning - visuell kontroll		x	x
- - vacuum/gnisttest vid behov		x	x
- Destruktiv provning		x	x
- Provsvetsning övervakad av KS-representant med kontroll av certifikat, utrustning, visuell kontroll, förstörande provning och dokumentation			x

- ☐ Eventuella skador och läckage reparerade, kontrollerade och dokumenterade i protokoll och relationsritning
- ☐ Kontroll av skyddsgeotextil över geomembran (Överlapp, typ, ev nåldetektering)
- ☐ Kontroll av överfyllningsmassor efter utläggning av geomembran och ev skyddsgeotextil (Visuell bedömning av kornstorlek, gradering och fyllningstjocklek)
- ☐ Kontroll av att svetsprotokoll förts på riktigt sätt med noteringar om:
 - Svetsnummer
 - Lufttemperatur
 - Vindförhållanden
 - Svetstemperatur
 - Svetshastighet
 - Rulltryck
 - Ev extrudertemperatur
 - Testmetod och resultat
 - Ev reparationer
- ☐ Kontroll av återfyllningsarbeten (Metodval för massutläggning, fyllnadstjocklek innan trafikering med arbetsfordon m m)



Checklista för kontroll av installation, lergeomembran

- ☐ Mottagningskontroll (tjocklek, kvalité, synliga skador m m)
- ☐ Kontroll av förhållanden på arbetsplatsen - m a p lagring och hantering av material efter mottagning, under arbetets gång
- ☐ Kontroll av grundförhållanden/underlag innan utläggning (Visuell bedömning av kornstorlek, gradering och buktighet)
- ☐ Visuell kontroll av mekanisk skada på membran vid utrullning
- ☐ Kontroll av förankringsdiken och membran i förankringsdiken (bredd, djup, förankringslängd)
- ☐ Eventuella skador och läckage reparerade, kontrollerade och dokumenterade i protokoll och relationsritning
- ☐ Kontroll av överfyllningsmassor efter utläggning av geomembran och ev skyddsgeotextil (Visuell bedömning av kornstorlek, gradering och fyllningstjocklek)
- ☐ Kontroll av återfyllningsarbeten (Metodval för massutläggning, fyllnadstjocklek innan trafikering med fordon)
- ☐ Kontroll av eventuellt bentonitpulver i överlapp



Checklista för kontroll av tätskikt, naturlig jord

- ☐ Kontrollera levererade jordmassor, Kornfördelning (siktning, sed-analys)
- ☐ Utläggning av materialskiljande lager (geotextil)
- ☐ Kontroll av skiktjocklek
- ☐ Packning, kompaktering
- ☐ Packningskontroll
- ☐ Uttag av packat prov för kontroll av hydraulisk konduktivitet
- ☐ Eventuell installation av geomembran

Exempel

Checklista för kontroll av tätskikt, bentonittätad jord

- ☐ Kontroll av levererat jordmaterial, kornfördelning (siktning)
- ☐ Kontroll av jordmaterialets vattenkvot
- ☐ Kontroll av levererat bentonitpulver
- ☐ Kontroll av bentonitpulvrets vattenkvot
- ☐ Kontroll av system för inblandning
- ☐ Kontroll av inblandningsmängder av respektive del
- ☐ Utläggning av materialskiljande lager
- ☐ Kontroll av skiktjocklek
- ☐ Packning
- ☐ Packningskontroll
- ☐ Uttag av prov bestämning av hydraulisk konduktivitet
- ☐ Eventuell installation av geomembran

Exempel

Mottagningskontroll

Datum:

Projekt:

Fabrikat: _____Materialtyp: _____

Kontrollant: _____

Rullnr	Tjocklek	Skador	Sign

Anmärkningar:

Transportör, signatur: _____Mottagare, signatur: _____

SVETSPROTOKOLL - Geomembran

Datum:

Företag:

Svetsmetod:

	Tryckrullar, varmluft
	Tryckrullar, kilsvets
	Extrudersvets
	Varmluftsvets

		Svets nr						
Material:								
Materialdim:								
Materialtjocklek:								
Rullnummer:								
Anmärkningar:								
Väderförhållanden: (sol/torrt/regn/snö)								
Vind, m/s								
Temperatur, °C								
Rengöring; mekanisk/kemisk								
Svetstemp kilsvets, °C								
Svetstemp varmluft, °C								
Temperatur extruder, °C								
Rulltryck, N								
Svetshastighet, m/min								
Visuell kontroll								
Vacuumtest								
Tryckprov								
Ilagd ledare								
Gnisttest								
Provtagning								
Reparation								

Kontrollant:

Anmärkningar: _____

Bilaga 4. Kontroll av fogar vid syntetiska geomembran

Provning av svetskvalitet, syntetiska geomembran.

Svetsfogens hållfasthet

Föstörande provning utförs för att testa svetsens kvalitet genom draghållfasthetsprovning.

Prover skärs ut från provsvets eller utförd svets i det installerade geomembranet. Vid provtagning i redan installerat geomembran rekommenderas att provet tas utanför den yta som skall vara tätad.

Hastigheten vid dragprovningen skall normalt vara 100 mm/min och kan utföras i fält med en portabel tensiometer avsedd för denna typ av provning.

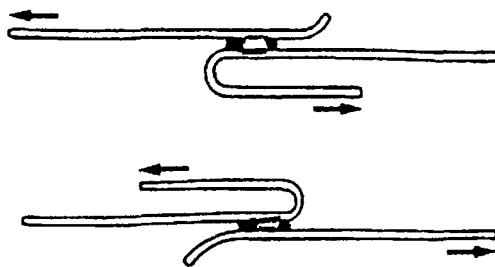
Som standard för draghållfasthetsprovning på syntetiska geomembran anges vanligen ISO 527-1-3:1993



Utformning av provbit.



Skjuvtest av fog.



Skaltest av fog.

Beroende på om syntetmaterialet är kristallint/delkristallint eller amorft kan olika krav ställas på svetsens hållfasthet i förhållande till hållfastheten hos ursprungligt material. Hållfastheten kan också variera mellan olika typer av produkter.

För att erhålla realistiska hållfasthetsförhållanden mellan materialet i svetsfogen och ursprungligt material bör tillverkaren lämna dessa uppgifter.

Några punkter att ta hänsyn till:

- För att svetsen skall vara godkänd måste brottet vid provning uppstå i materialet och inte delning i själva svetsfogen.
- Töjningen till brott vid provning av svets är betydligt mindre än töjningen vid enbart materialprovning.
- En del material uppvisar ingen tydlig flytgräns, vilket är viktigt att ta hänsyn till vid utvärdering av svets hållfastheten.

Täthetsprovning av svets med dubbelfog (luftkanal) genom trycksättning

Längden på den för provning avsedda delen bör inte vara längre än 100 m.

Först testas att kanalen är öppen hela provningsslängden genom att luft blåses igenom.

Båda ändarna försluts sedan och en nippel (alt. nål) monteras i den ena änden. En pump med manometer och avstängningsventil kopplas till nippeln. Ett tryck motsvarande ca 200 kPa pumpas upp i luftkanalen. Trycket bör inte under 5 minuter sjunka mer än ca 10 % i förhållande till trycket vid stängning av ventilen.

Denna procedur är något osäker eftersom geomembranmaterialen som används har mycket olika töjningsegenskaper och är dessutom olika känsliga för temperaturförändring. Mätning av temperaturen under testen bör utföras.

Denna provning bör därför utföras av erfaren svetspersonal eller kontrollant.

Bilaga 5. Tätskiktets beteende/egenskaper i relation till yttre förhållanden (från Daniel & Koerner)

Tätskiktets sammansättning	Klimat			Ojämna sättningar				Erosion i skyddstäckning/känslighet för punktering			
	torrt	tempererat	tropiskt	stora	måttliga	obetydliga	mycket	måttligt	mycket	liten	3
CCL	1	1	3	1	1	3	1	2	1	3	
GM	5	4	4	4	5	5	1	1	1	3	
GCL	3	3	4	2	3	4	1	1	1	3	
GM/CCL	2	3	4	2	3	4	3	4	3	4	
GM/GCL	5	4	5	3	4	5	2	3	2	4	
GM/CCL/GM	4	4	5	3	4	5	4	5	4	5	
GM/GCL/GM	5	5	5	4	5	5	4	5	4	5	

Tätskiktets sammansättning	Tillåten genomströmning				Gas uppsamling			Släntlutning		
	ingen	mycket liten	måttlig	gas	ingen gas	mindre än 9°	9 - 18°	större än 18°		
CCL	1	2	3	1	1	5	4	3		
GM	1	3	5	5	5	5	5	3		
GCL	1	2	3	1	5	4	3	3		
GM/CCL	3	4	4	3	5	5	3	2		
GM/GCL	3	4	5	4	5	5	3	2		
GM/CCL/GM	5	5	5	4	5	5	2	1		
GM/GCL/GM	5	5	5	4	5	5	3	2		

1 = använd inte; 2 = bör undvikas; 3 = möjlig acceptabelt(beroende på förhållanden); 4 = acceptabel; 5 = rekommenderas.

CCL = Packad lera GCL = Lergeomenbran GM = Syntetiskt geomenbran

Bilaga 6. Översikt över standarder

Lista på föreslagna parametrar och standardmetoder enligt förslag till standard
 ”WI 00254056 Feb. 1999. Geomembranes – Product specification”.

Nr	Characteristic	Test method		
		Thermoplastic and elastomeric geomembranes (see 4.1)	Bituminous geomembranes (see 4.2)	Geosynthetic clay liners (see 4.3)
	Product designation			
1	Dimensional characteristics (length, width) of rolls	prEN 1848-2	prEN 1848-1	EN ISO 10320
2	Thickness	prEN 1849-2	prEN 1849-1	EN 964-1
3	Mass per unit area	prEN 1849-2	prEN 1849-1	WI 00189066
4	Swell index	NR	NR	ASTM D 5890
5	Montmorillonite	NR	NR	Annex A to this standard
6	Water absorption of clay	NR	NR	DIN 18132
	Hydraulic properties			
7	Liquid permeability	WI 00189067	WI 00189067	ASTM D 5887
8	Gas permeability	ASTM D 1434 °	ASTM D 1434 °	ASTM D 5887
	Mechanical properties			
9	Tensile strength	prEN 12113-2	prEN 12311-1	EN ISO 10319
10	Elongation at maximum load	prEN 12113-2	prEN 12311-1	EN ISO 10319
11	Static puncture resistance	EN ISO 12236	EN ISO 12236	EN ISO 12236
12	Burst strength	WI 189064	WI 189064	WI 189064
13	Tear strength	ISO 34	prEN 12310-1	NR
14	Friction direct shear	prEN ISO 12957-1	prEN ISO 12957-1	prEN ISO 12957-1
15	Friction inclined plane	prEN ISO 12957-2	prEN ISO 12957-2	prEN ISO 12957-2
16	Damage during construction	NF P 84-510	NF P 84-510	NF P 84-510
17	Impact resistance	WI 00189014	WI 00189014	WI 00189014
18	Tensile creep	EN ISO 13431	EN ISO 13431	EN ISO 13431
19	Relaxation	DIN 53441	DIN 53441	DIN 53441
	Performance of joints			
20	Water permeability of joints	NR	NR	ASTM D 5887
21	Shear resistance of joints	prEN 12317-2	prEN 12317-1	NR
	Thermal properties			
22	Low temperature behaviour	prEN 495-5	prEN 1109	NR
23	Thermal expansion	ASTM D 696	ASTM D 696	ASTM D 696
	Durability and chemical resistance			
24	Resistance to weathering	ENV 12224	ENV 12224	ENV 12224
25	Chemical resistance	ENV ISO 12960	ENV ISO 12960	ENV ISO 12960
26	Resistance to micro-organisms	ENV 12225	ENV 12225	ENV 12225
27	Resistance to oxidation	ENV ISO 13438	ENV ISO 13438	ENV ISO 13438
28	Stress cracking	ASTM D 5397	NR	NR
29	Leaching of water soluble components	SIA 280 - 13	SIA 280 - 13	SIA 280 - 13
30	Resistance to wetting and drying cycles	NR	NR	Annex B to this standard
31	Resistance to freezing and thawing cycles	NR	NR	Annex C to this standard
32	Resistance to root penetration	SIA 280-11	SIA 280-11	SIA 280-11

NR : not relevant

Bilaga 7. Begreppsförklaringar

Bentonit (handelsnamn)

Svällande lermineral.

Bitumen

Mörkbrunt till svart, trögflytande ämne, huvudsakligen bestående av svårflyktiga och vattenolösliga kolväten och deras icke-metalliska derivat, jmf asfalt, beck (TNC 84).

Geomembran

Förtillverkat tunt skikt med låg permeabilitet. Kan bestå av t ex polymermaterial (syntetiskt geomembran) eller svällande lera (lergeomembran).

Geotextil

En permeabel polymerisk (syntet/naturfiber) textil i form av en tillverkad duk som kan vara icke-vävd, vävd, eller virkad (stickad).

Gradient

Tryck- eller koncentrationsskillnad över viss sträcka.

Grus

Grovkornig eller blandkornig jordart där grusfraktionen (2-60 mm dominerar).

Hydraulisk konduktivitet

Grundvattnets hastighet, uttryckt som flödet per tidsenhet genom en enhetsyta vinkelrätt mot flödesriktningen under gradienten 1 med hänsynstagande till vattnets egenskaper. Betecknas K och anges i m/s. (TNC 86).

Komposit

Två eller flera skikt i samverkan.

Lakvatten

Vatten som varit i kontakt med avfall eller förorenad jord.

Lera

Finkornig jord där lerhalten är större än 20 viktprocent av material mindre än 0,06 mm

Lergeomembran

Förtillverkat sammanhängande skikt av svällbenägen lera omgivet av geotextil på över- och undersida.

Morän

Blandjordart avlagrad av inlandsisen.

Permeabilitet

Genomtränglighet av vätska eller gas i poröst material, t ex jord.

Polymermaterial

Material baserat på polymer eller homogen polymerblandning, t ex plaster (termoplaster, hårdplaster) och elaster (termoelaster, gummi).

Sand

Grovkornig eller blandkornig jordart där sandfraktionen (0,06-2 mm) dominerar.

Silt

Finkornig jordart där lerhalten är mindre än 20 viktprocent av material med kornstorlek mindre än 0,06 mm.

Syntetiskt geomembran

Förtillverkat tunt geomembran av polymermaterial.

Torrdensitet

Kvot av ett jordprovs fasta massa och provets volym vid aktuell vattenkvot.

Tätskikt

Barriär som reducerar genomträngningen av en vätska eller gas som rör sig genom konvektion och /eller diffusion.

Vattenkvot

Kvoten mellan tyngden vatten i ett material och tyngden fast material.

SGF Rapport/Report

- 1:93 Rekommenderad standard för CPT-sondering.
- 1:93E Recommended Standard for Cone Penetration Tests.
- 2:93 Rekommenderad standard för vingförsök i fält.
- 2:93E Recommended Standard for Field Vane Shear Test.
- 1:95 Rekommenderad standard för dilatometerförsök.
- 1:95E Recommended Standard for Dilatometer Tests.
- 2:95 Några pionjärprofiler i svensk geoteknik.
SJ Geotekniska Kommission 1914-1922.
- 3:95 Proceedings of the International Symposium on
Cone Penetration Testing, CPT '95.
- 4:95 Kalk- och kalkcementpelare.
Vägledning för projektering, utförande och kontroll.
- 4:95E Lime and Lime Cement Columns.
Guide for Project Planning, Construction and Inspection.
- 1:96 Geoteknisk fälthandbok.
Allmänna råd och metodbeskrivningar.
- 1:99 Tätskikt i mark. Vägledning för beställare, projektörer
och entreprenörer.

Svenska Geotekniska Föreningen (SGF) bildades 1950 och består av drygt 700 enskilda medlemmar, med minst två års praktisk erfarenhet av geoteknik. Dessutom ingår ca 30 korporativa medlemmar i form av institutioner, högskolor, myndigheter, konsult- och entreprenadföretag samt tillverkare inom det geotekniska området.

SGF har till ändamål att främja utvecklingen inom geoteknik med grundläggning med föredrag, diskussioner och kommittéarbeten samt att samarbeta med svenska, nordiska och övriga internationella organ med liknande inriktning.

Föreningen företräder i Sverige den internationella föreningen, the International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). Varje enskild medlem i SGF är också medlem i den internationella föreningen.

I SGF:s Rapportserie utges föreningens metodbeskrivningar, monografier och dokumentation från konferenser och temadagarm.m.



SGF

SVENSKA GEOTEKNISKA FÖRENINGEN

581 93 Linköping Tel: 013-20 18 00 Fax: 013-20 19 14

Internet: www.sgf.net E-post: sgf@geotek.se