

# **Geotuber för slamavvattning vid anläggningsarbeten**



**Johan Magnusson  
Johanna Hector  
Kristine Ek**

**SBUF Utvecklingsprojekt 12327**

**2011-08-15**

## Förord

F.d. Bohus varv i Ale kommun har varit ett kraftigt förorenat område intill Göta älv. Området som ligger uppströms råvattenintaget till Göteborgs vattenverk har varit ett av de mest högprioriterade saneringsobjekten i Sverige. Under saneringsarbetena, har de speciella förhållandena runt projektet, medfört att mycket höga krav ställts på en väl fungerande rening av länshållningsvatten.

Vid avvattning av slam från vattenreningsanläggningen har s.k. geotuber använts. Då geotuber är en enkel och funktionell metod, med stor potential att bli frekvent använt i framtida saneringsprojekt, har detta varit ett utmärkt tillfälle att mer ingående studera och utvärdera denna teknik.

Vi vill tacka referensgruppen som varit delaktiga i projektet

Lars Hjertstedt, Milman Miljömuddring AB  
Linda Törner, Skanska Sverige  
Rob Wortelboer, Tencate, Holland

Vi vill också tacka Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond, SBUF, som tillsammans med NCC Construction Sverige AB varit med och finansierat projektet.

Johan Magnusson

## Innehåll

Sammanfattning .....	4
1. Inledning .....	5
1.1 Bakgrund.....	5
1.2 Syfte .....	5
1.3 Avgränsningar.....	6
1.4 Genomförande .....	6
2. Litteraturstudie.....	6
2.1 Vattenrening och slamhantering .....	6
2.2 Kemikalier för slamavvattning .....	9
2.3 Utrustning för slamhantering .....	14
2.4 Lagar och krav .....	19
2.5 Geotuber.....	22
3. Fältförsök .....	26
3.1 Områdes- och projektbeskrivning sanering av Bohus varv .....	26
3.2 Bakgrund och beskrivning av fältförsöken .....	27
3.3 Bänkttest .....	28
3.4 Hanging bag test .....	35
3.5 Jämförelse mellan fälttester och drift i full skala.....	39
3.6 Utvärdering av tillsatta mängder polymer .....	40
4. Diskussion och slutsatser .....	42
5. Källförteckning .....	44

## Bilagor

1	Slamavvattning i geotuber vid anläggningsarbeten, en handbok
2	Instruktioner från Tencate för Bänkttest (Cone test)
3	Instruktioner från Tencate för Hanging bag test
4	Broschyr Tencate, mobil anläggning för geotub

## Sammanfattning

Geotuber har under de senaste tio åren använts för avvattning av muddermassor. Denna studie visar att geotuber även lämpar sig väl för att effektivt och förhållandevis enkelt avvattna slam som uppkommer från vattenreningsprocesser vid stora anläggningsprojekt. Principen för avvattning är att slam och avvattningspolymer pumpas in i geotuben varvid lätt övertryck bildas och vatten pressas ut genom geotextilen.

Studien har omfattat en litteraturstudie, ett antal tester av geotuber i liten skala, samt användning av en geotub i full skala. Studien redogör i detalj för hur man praktiskt går tillväga för att sätta upp en fullskaleanläggning för avvattning med geotuber.

En geotub i full skala användes som avvattningsteknik vid saneringen av f.d. Bohus varv. Totalkostnaden för att avvattna det slam som uppstod blev ca fem gånger lägre genom att använda geotuber jämfört med om man skulle ha använt en slamtank. Dessutom upplevdes tekniken som mycket användarvänlig jämfört med traditionella mekaniska avvattningstekniker. I mindre projekt kan dock slamtank vara att föredra, eftersom det kräver en mindre arbetsinsats jämfört med att använda geotuber.

För att få en god avvattning med geotuber krävs tillsats av polyakrylamid. Ett resultat av studien är att för geotuber används lika mängd polyakrylamid per kilo slam som i svenska avloppsreningsverk. Prov av utgående vatten från en geotub i liten skala visar att halten av akrylamid är långt under EUs PNEC-halt för akvatiska organismer.

I studien har praktiska fältförsök utförts. Ett resultat av fältförsöken var att man med förhållandevis enkla metoder kan få en rimlig uppfattning om vilka avvattningspolymerer som fungerar bra och vid vilka tillsatta mängder.

## 1. Inledning

Vid anläggningsarbeten uppkommer ofta vatten som behöver avlägsnas till en närliggande recipient t.ex. via en dagvattenledning eller ett dike. Vid marksaneringsarbeten och ibland även i andra anläggningsarbeten kan vattnet vara så förorenat att det måste behandlas innan det kan ledas till recipienten. Det är här som vattenreningstekniken gör sin entré på byggarbetsplatsen.

Till skillnad från vattenrening i fasta anläggningar är vattenrening i en anläggningsentreprenad av temporär karaktär. Tekniken kan vara nog så avancerad men den ska ändå vara enkel och funktionell. Att avvattna slam kan vara en del i en temporär vattenbehandlingsprocess. Geotuber har just de egenskaper som krävs i dessa sammanhang; en enkel och funktionell teknik som utvecklats ur den kunskap och teknik som finns inom vattenbehandlingsindustrin.

De kemikalier som är aktuella att använda är av samma slag som används i vattenbehandling i övrigt i samhället, t.ex. i de kommunala avloppsreningsverken. Förbrukningen av kemikalier är här oerhört mycket större än vad den kan komma att bli inom anläggningsbranschen. När det gäller kemikalieanvändning är det självklart viktigt för anläggningsbranschen att följa de regler som finns men också den praxis som finns inom övriga vattenbehandlingsbranschen.

Syftet med denna rapport har varit att på ett överskådligt sätt skriva om den teknik och utrustning samt miljöpåverkan som uppstår vid slamavvattning i geotuber. Rapporten visar också på att avvattning med geotuber leder till minskade utsläpp från transporter, samt visar på ekonomin i att använda geotuber.

### 1.1 Bakgrund

Studien har genomförts inom ramen för saneringen av Bohus varv som är ett omfattande saneringsprojekt av ett gammalt varvsområde beläget i Bohus norr om Göteborg, alldeles vid Göta Älv. En mer ingående beskrivning av saneringsprojektet Bohus varv finns under kapitel 3.1.

### 1.2 Syfte

Den här rapporten vänder sig främst till entreprenörer som bedriver vattenrening vid sanerings- eller anläggningsarbeten. Många delar av rapporten går även att applicera på andra typer av slamavvattning t.ex. muddringsarbeten.

Syftet med projektet är att utveckla en tydlig och enkel arbetsmetodik för

slamavvattning med geotuber vid länsvattenrening i anläggningsarbeten med geotuber. Projektet syftar också till att utvärdera de rekommenderade försöks- och testutrustningar som geotubtillverkaren TenCate föreslår. Att belysa miljöaspekter och val av utrustning har också varit viktigt att ta upp då det är oundvikligt att dessa frågor kommer upp på agendan när ett projekt planeras.

### 1.3 Avgränsningar

Denna studie har fokus på avvattning av det slam som uppstår då länsvatten vid anläggningsarbeten renas genom en flocknings- och sedimenteringsprocess. Stegen före slamhanteringen har dock också inkluderats till viss mån i studien, då de har inverkan på kvaliteten på det slam som ska avvattnas.

### 1.4 Genomförande

Projektet genomfördes som en fallstudie. Med stöd från SBUF och NCC Construction Sverige AB utfördes arbetet av en projektgrupp på NCC Teknik, ledd av Johan Magnusson.

Projektet inleddes med en litteraturstudie för att få en övergripande kunskap inom området.

Litteraturstudien följdes av fältförsök genom att använda testutrustningar från företaget TenCate som är en leverantör inom området. Testerna används för att ta fram en optimal typ, dos och blandning av polymer för den aktuella sammansättningen av slam. Det slam som används kommer från det länsvatten som uppkommer vid saneringen av området Bohus varv i Ale kommun.

Resultaten från fältförsöken kunde även jämföras med resultat från den fullskaleanläggning som använts vid saneringsarbetena i Bohus varv.

## 2. Litteraturstudie

### 2.1 Vattenrening och slamhantering

Slam kan övergripande beskrivas som en klabbig och slemaktig blandning av vatten och finkornigt material. Det kan även bestå av ett löst sediment av vatten och ler eller silt. Konsistensen kan variera mellan allt från halvflytande till plastiskt tillstånd. Slam kan också bildas vid olika tekniska processer, t.ex. vid rening av avloppsvatten (Nationalencyklopedin, maj 2010).

Inom anläggningsprojekt kan situationer uppstå då slam behöver hanteras. Två vanliga exempel är vid muddrings- eller schaktarbeten. Vid schaktning uppkommer slam från suspenderat material vid rening av länsvatten som

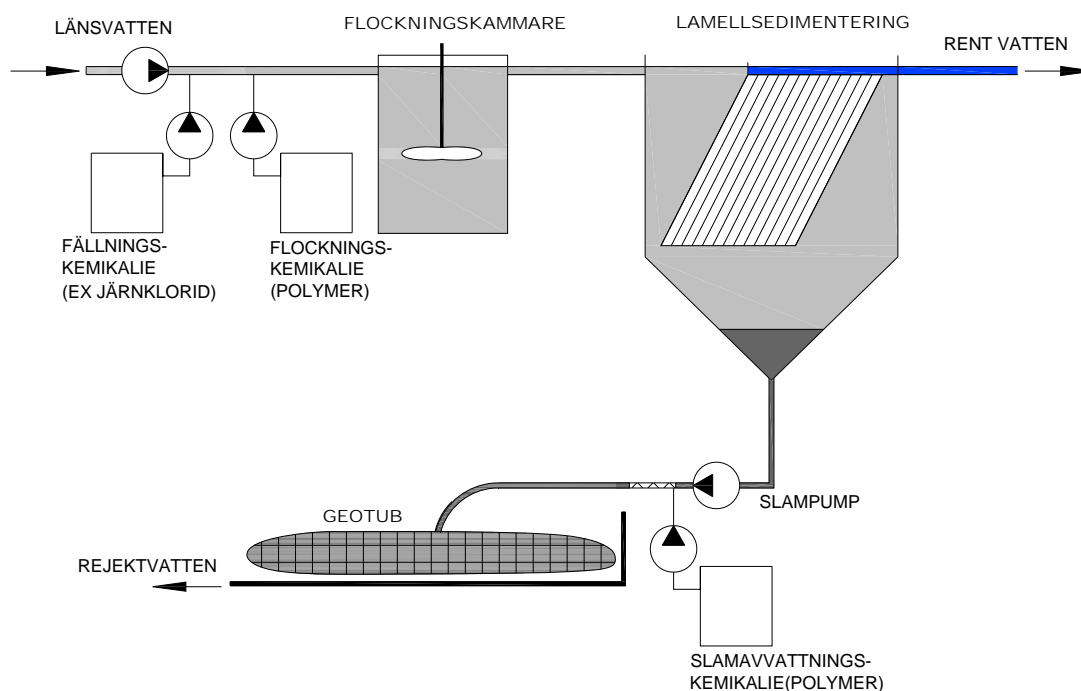
behandlas innan det släpps ut till recipient. Myndigheter ställer i många fall krav på länsvattnets innehåll av suspenderat material (Miljöförvaltningen Göteborg, 2008).

För att uppnå kraven behöver ofta kemisk fällning/flockning följt av sedimentation utnyttjas, se *figur 1*. Denna teknik, som är väl etablerad i vattenverk och avloppsreningsverk, blir allt vanligare i schaktentreprenader, inte minst vid saneringar av förorenad mark.

Vattnet innehållande suspenderat material leds in i en tank den s.k. flockningskammaren. Varje tank har en omrörare och uttag för doseringsinjektorer för dosering av kemikalier. Detta ger möjlighet att i flockningen fälla lösta metaller genom höjning av pH och tillsats av fällningskemikalie för metaller. För att få fällningen att bilda flockar tillsätts här även en polymer. Vattnet som innehåller de bildade flockarna leds vidare till en lamelledimenteringsutrustning. Flockarna sedimenterar och sjunker ner till botten av containern och rent vatten leds ut i toppen.

Det förtjockade suspenderade materialet som kommer ur sedimenteringssteget i vattenreningen, d.v.s. slammet, behöver sedan ytterligare avvattnas och förtjockas för att det ska bli hanterbart. Det görs bl.a. för att volymen ska bli mindre, för att kunna efterbehandla slammet, och för att slammet ska bli lättare att transportera. Genom att avvattna slammet minskar också transportbehovet och därmed minskar utsläppen från transporter. Framför allt görs det för att hålla nere kostnaderna.

Slammet skrapas upp i botten och leds vidare till geotuben m.h.a av en slampump. I anslutning till slampumpen tillsätts ytterligare en polymer för att underlätta avvattningen av slammet. Slammet pumpas nu in i geotuben, det suspenderade materialet bildar ytterligare större aggregat och fastnar i geotuben. Det s.k. rejektvattnet som passerar genom geotuben samlas upp och återförs till vattenreningen.



**Figur 1.** Slamavvattning som en del av vattenreningsprocessen (principskiss).

### 2.1.1 Suspenderat material

Suspenderat material är en gemensam benämning för alla partiklar i en lösning, oorganiska som organiska. När det gäller schaktning och muddring är det framförallt oorganiska partiklar som förekommer när jorden slammats upp och därför berör denna rapport i stor utsträckning avvattning av oorganiskt slam. Partikelsammansättningen i suspenderat oorganiskt material kan bestå av allt från grus till lera.

När vatten med hög andel suspenderat material släpps ut i naturen kan det suspenderade materialet i sig orsaka fysiska skador och orsaka igensättning av gälar hos vattenlevande djur. Men det kan även binda till sig och transportera andra föroreningar såsom metaller eller bekämpningsmedel. Innan det suspenderade materialet sedimenterar kan det påverka vattenkvaliteten genom att det grumlar vattnet. Detta medför att temperaturen i vattnet kan höjas och även att ljusgenomsläppligheten minskar, vilken är nödvändig för att primärproduktionen hos organismerna i vattnet ska fungera. När det suspenderade materialet sedimenterar kan det påverka bottenmiljön som är en känslig miljö för många arter.

Utsläpp av en större mängder organiskt suspenderat material med högt innehåll av organiskt kol resulterar i en minskning av syrgashalten i vattnet, eftersom en ökad nedbrytning kräver en ökad syrgasförbrukning. Suspenderat material som



under en begränsad tidsperiod släpps ut i ett vattendrag har på lång sikt en liten miljöpåverkan generellt sett. De flesta vattenlevande organismer klarar tillfälliga och korta tillstånd av förändringar i vattenmiljön, men en längre exponering ger långvariga skador eller effekter (Norin et.al. 2008).

### **2.1.2 Avvattningsmetoder**

Man kan dela upp använda avvattningsmetoder utefter tre huvudprinciper:

- Passiv avvattning genom sedimentering i bassänger eller slamtank (Ingen tillsats av kemikalier).
- Mekanisk avvattning som utnyttjar maskinell utrustning (Tillsats av kemikalier).
- Avvattning i s.k. geotuber som kan beskrivas som ett mellanting mellan passiv och mekanisk avvattning (Tillsats av kemikalier).

En vanlig teknik för att avvattna slam är mekanisk avvattning med silbandspressar, centrifuger eller kammarfilterpressar. Mekanisk avvattning fungerar bra som fast anläggning på ett avloppsreningsverk. Men under mer temporära förhållanden som råder i en anläggningsentreprenad finns det ett stort intresse av att hitta alternativ som något som är mer användarvänliga, robusta och kostnadseffektiva. Ett möjligt alternativ i dessa fall är s.k. geotuber.

Geotuber har på senare tid har använts för avvattning av sediment vid muddringsarbeten. Geotuber är behållare gjorda i permeabel geotextil som fungerar som ett filter. Avvattning sker genom att material pumpas in i tuben vilket gör att det byggs upp ett övertryck. Vattnet pressas därigenom ut genom textilmaterialets porer. För att underlätta dräneringen kan polymer tillsättas slammet som flockningsmedel. Tillsätts ingen polymer kan effekten bli att slammet rinner rakt igenom geotubens porer. Tuberna läggs ovanpå ett dräneringsskikt som i sin tur är placerat på ett tätskikt där det avrunna vattnet samlas upp.

## **2.2 Kemikalier för slamavvattning**

Ett flertal typer av kemikalier används idag inom vattenrening för att på ett effektivt sätt kunna avlägsna suspenderat material och andra föroreningar från vattnet. Kemikalier med olika egenskaper tillsätts i steg i reningsprocessen exempelvis för flockning, pH-justering eller avvattning av uppsamlat slam. Exempel på vanliga kemikalier som används är metallsalter som aluminiumsulfat, järnklorid och olika typer av polymerer. När det gäller val av lämpliga kemikalier och dosering av dessa varierar detta med typ och storlek

på anläggning som används för vattenrening och slamavvattning, samt till stor del även av slammets sammansättning. Eftersom förutsättningarna ofta är platspecifika krävs att tester och försök görs för att säkerställa att rätt typ av kemikalier och dosering av dessa fastställs, innan slamavvattningen genomförs i full skala.

Även storleken på tillgängligt utrymme där vattenreningsanläggningen ska anläggas och utformning av reningsanläggningen avgör kemikalieanvändningen. Finns det t.ex. utrymme för stora sedimentationsbassänger kan det i flockningssteget räcka att bara använda metallsalter för att uppnå tillräckligt sedimentation av det suspenderade materialet.

### **2.2.1 Allmänt om polymerer för vattenrening**

De kemikalier som används vid hanteringen av slammet som uppstår vid vattenreningen är främst polymerer. En polymer består av en lång kedja av monomerer som binder till varandra genom s.k. kovalenta bindningar mellan kolatomerna i monomererna. Polymerer bildas genom en s.k. polymerisation, som är en reaktion där monomererna sammankopplas utan att något annat ämne bildas. Polymerisationen blir sällan eller aldrig fullständig, varför det finns rester av monomer i polymerprodukten.

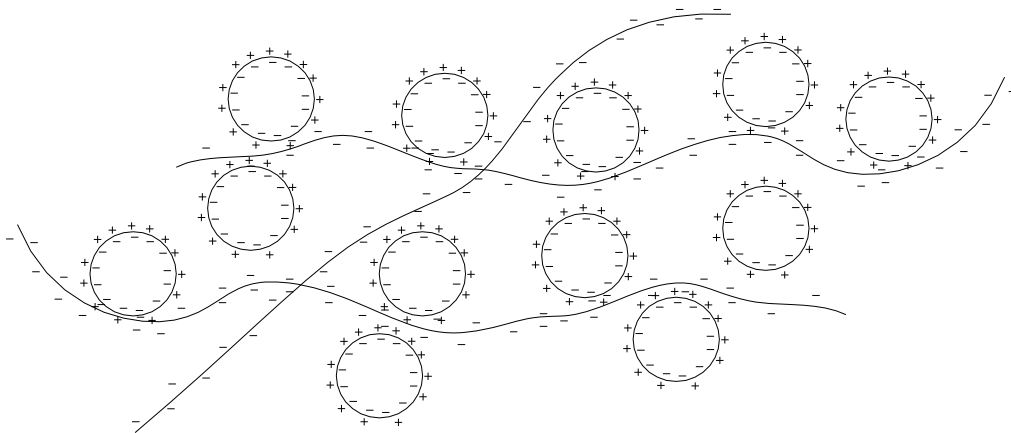
En monomer och en polymer skiljer sig åt när det gäller de kemiska egenskaperna. Den färdiga polymeren är normalt ofarlig, medan däremot råmaterialet, monomererna, ofta är starkt miljö- eller hälsofarliga.

Polymerer har använts i över 40 år i processer för rening av avlopps- och dricksvatten. Ofta tjänstgör de som koagulerter (fällning) eller flockulerter (flockning) i reningsverken (Bolto & Gregory, 2007). För att polymerer ska vara användbara i reningssammanhang krävs att de är vattenlösliga. Även vid slamavvattning är polymerer mycket användbara p.g.a. deras olika egenskaper. Genom att på ett korrekt sätt använda polymerer i vattenreningsprocessen uppnås både tekniska och ekonomiska fördelar. Bl.a. kan vattenreningsprocessen köras med en mer stabil och jämn drift, och en högre kapacitet och renare rejektvatten kan erhållas jämfört med om man väljer att inte använda polymerer i reningsprocessen (Ciba Specialty Chemicals).

Polymerer brukar grovt karakteriseras utifrån deras laddning: anjoniska (negativt laddade), katjoniska (positivt laddade) eller non-joniska (oladdade). De laddade typerna av polymerer brukar även kallas för polyelektrolyter. Förutom laddningen så karakteriseras en polymer av dess molekylvikt och polyelektrolyter även av dess laddningsdensitet. Molekylvikten hos en polymer är direkt relaterad till polymerkedjans längd (SNF Floerger Water Soluble Polymers).

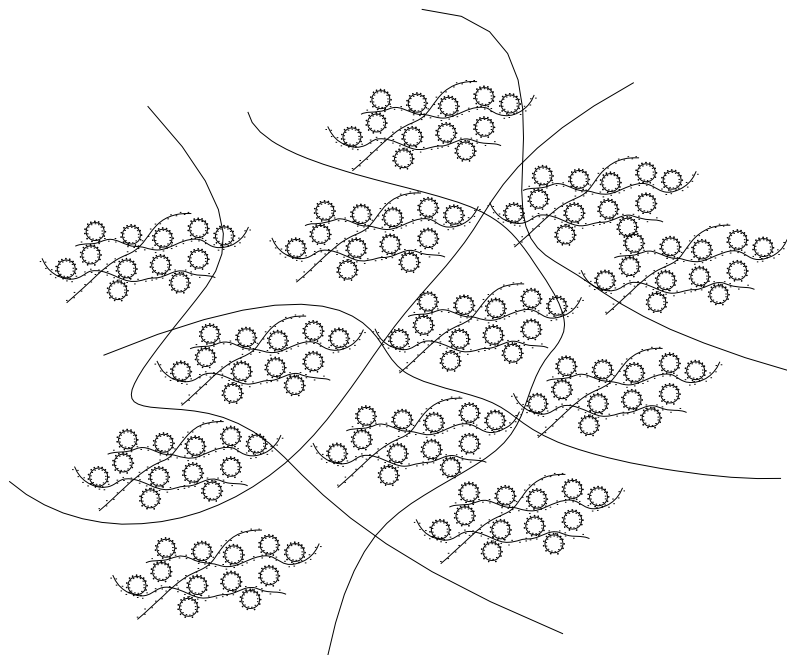
I flockningssteget i vattenreningen används ett metallsalt, t.ex. järnklorid, samt

polymerer av den *anjoniska* typen för att bilda flockar bestående av sedimenterat material och föroreningar. I jorden finns olika typer av metalljoner, vanligt förekommande är att de i stor utsträckning är bundna till jordpartiklarna. Är jorden dessutom förorenad av metaller och tungmetaller förekommer positivt laddade metalljoner i ännu högre halter, vilket medför att jordpartiklarna får en positiv nettoladdning. Den dominerande mekanismen bakom bildandet av flockar i detta steg kallas laddningsneutralisation och bygger på en adsorption mellan den positivt laddade kolloid-/ metallpartiklen samt den negativt laddade polymeren (figur 2).



**Figur 2.** Adsorption mellan kolloid-/metallpartiklar samt polymeren.

Vid avvattning av slammet vill man få dessa bildade flockar att genom koagulation att bilda ytterligare större aggregat för att få en god vattenavskiljning. Detta görs genom en tillsats av en katjonisk polymer som genom att interagera med den negativt laddade delen av ett antal flockar, agerar som en bro mellan flockarna och håller ihop dem så att de bildar större aggregat. Denna mekanism kallas för polymerbrygging (figur 3). Genom att få så stor andel som möjligt av sedimenterat material och föroreningar att bilda aggregat så minskar halten av dessa partiklar lösta i vattnet. När avvattningen genomförs med hjälp av en geotub så fungerar geotubens textil som ett filter där de stora aggregaten av partiklar och polymer inte kan passera. Det som rinner igenom är endast det reade vattnet.



**Figur 3.** *Polymerbryggning*

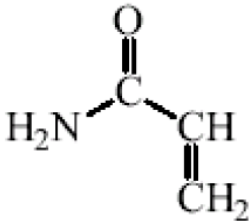
För att få polymerbryggning att inträffa får inte halten av polymerer i vätskan vara för hög, eftersom man då riskerar att få för många polymerer som absorberar på partiklarna. Detta kan leda till att det inte finns lediga ställen hos partiklarna som polymeren kan absorbera till och då är risken att de obundna polymersvansarna stöter ihop med andra partiklar och då försvårar absorptionen mellan den partikeln och polymeren. Är halten polymerer i lösningen däremot för låg blir antalet bryggningar mellan partiklar och polymerer för få. Det gäller att hitta den optimala doseringen för att få så effektiv bildning av flockar som möjligt. Generellt sett gynnas polymerbryggning genom användning av polymerer med linjära polymerkedjor och hög molekylvikt (Bolto & Gregory, 2007).

### **2.2.2 Användning av polyakrylamid**

Polyakrylamid (PAM) är en vattenlöslig syntetisk polymer som tillverkas genom polymerisation av akrylamid. PAM brukar beskrivas som en oladdad polymer men kan genom polymerisation även framställas i kat- och anjonisk form. En mycket fördelaktig kemisk egenskap hos PAM är att den lätt går att kopolymerisera, dvs. att tillverka en polymer som består av fler än en typ av monomerer. Detta gör att man lättare kan få fram en polymer med de egenskaper som man önskar. PAM används vid svenska ytvattenverk och reningsverk för att förbättra reningseffekten vid beredning av ytvatten till dricksvatten och rening av avloppsvatten, samt vid avvattning av slam vid reningsverken (Eveborn et al. 2008). I dagens läge dominerar PAM överlägset marknaden för kemikalier vid slamavvattning, några fullvärdiga alternativ

finns inte på marknaden idag. De alternativ som har prövats är t.ex. stärkelsebaserade polymer (polysackarid) men tillräckligt goda resultat har inte kunnat uppnås vid försök (Sjögren, 2010). Även non-joniska polymerer såsom andra former av polyakrylamid fungerar tillsammans med de positivt laddade slampartiklarna (Bolto, 1995).

Råvaran för att framställa polyakrylamid är monomeren akrylamid. Den kemiska strukturformeln för akrylamid visas i figur 4. Vid framställningen går det pga. kemiska orsaker inte att få polyakrylamid helt ren från akrylamid, utan en låg resthalt kan förekomma. De flesta polymerer på marknaden har en akrylamidhalt under 0,1 % (Wahlberg & Paxéus, 2003). Akrylamid uppmärksammades i anknytning till byggandet av tunneln i Hallandsåsen. Akrylamid ingick i Rhoca Gil som användes som tätningsmedel vid tunnelbygget och läckage av stora mängder skedde till närmiljön som tog allvarlig skada. Utifrån djurförsök och fall där människor har exponerats bedöms akrylamid som ett giftigt ämne som kan ge nervskador, cancer, ärftliga genetiska effekter och påverka fortplantningen hos människan (Ahlbom et al. 1998).



**Figur 4.** Strukturformel för monomeren akrylamid.

Studier har gjorts på polyakrylamids och akrylamids miljöpåverkan då de hamnar i naturen i form av t.ex. resthalt i vatten från avloppsreningsverk. Enligt studier på utgående vatten från vattenverk finns det både polymera och monomera former av akrylamid närvarande (Bolto & Gregory, 2007). Framförallt de katjoniska polyakrylamiderna betraktas som mycket giftiga i rena vattenlösningar. Detta kan förklaras med de fysikaliska egenskaper som hänger samman med att polymeren är laddad. Närvaron av suspenderat material, andra ytor eller laddningar medför att den toxiska effekten reduceras eftersom polymeren binder till dessa och neutraliseras (Wahlberg, Paxéus, 2003). I labbförsök har visats att över 80 % av den tillsatta polymeren finns i det uppsamlade slammet (Schumann & Kunst, 1991), som i nyttjande av en geotub finns inuti behållaren.

Nedbrytningen av polyakrylamid (PAM) i slammet går relativt långsamt och kan förväntas ske med ca 10 % per år som ett resultat av bl.a. mekanisk nedbrytning, solsken och temperatureffekter. Polyakrylamidens nedbrytning förväntas inte att frigöra ytterligare mängd akrylamid än den resthalt som finns med från tillverkningen. Akrylamid är mycket vattenlösligt och har visat sig ha

en mycket låg eller ingen adsorptionskapacitet på slam eller sediment. Den ackumuleras inte heller i jord eftersom den är biologiskt nedbrytbar. Den kan därför främst ses som en potentiell förorenare av grund- och ytvatten. Vid vanliga utomhustemperaturer har en halt av 25 mg/l akrylamid i mark en halveringstid på mellan 18-45 timmar. Nedbrytningen påverkas av temperatur, jordart, jordens sammansättning/struktur och aktuell koncentration (Barvenik, 1994).

Eftersom akrylamid är en löslig och rörlig molekyl kommer den inte som polymeren att bindas in i slammet och stanna i geotuben. Större delen av den akrylamidrest som kan finnas i polymertillsatsen kommer därför att återfinnas i rejektvattnet som kommer ut ur geotuben (Wahlberg & Paxéus, 2003).

### **2.3 Utrustning för slamhantering**

I figur 1 redovisas en enkel principskiss över en vattenreningsutrustning baserad på kemisk fällning/flockning och sedimentering. Slammet som bildas genom att flockarna sedimenterar måste ledas bort och omhändertas. Ett enkelt sätt att ta hand om slammet är att leda det till en extern slamtank. En sådan slamtank består av en hög cylindrisk tank med konisk bottendel. Slamtanken töms sedan genom slamsugning och slammet omhändertas sedan på annan plats. En nackdel med slamtank är att vattenkvoten blir hög och att omhändertagandekostnaderna kan bli dyra. En fördel vid t.ex. marksaneringsentreprenader är att det ofta finns möjligheter att bli av med slammet tillsammans med förorenad jord som transporteras bort. Förutom att detta ofta är kostnadseffektivt är det också ur miljösynpunkt en bra lösning då man slipper att köra bort onödigt vatten med lastbil.

Mekanisk avvattning är den metod som traditionellt används för slamavvattning. Det finns en rad olika tekniker för mekanisk avvattning som t.ex. silbandspressar och centrifuger. Dessa har fördelar då de tar liten plats, ger en bra avvattning och kan användas i fasta anläggningar. I anläggningsprojekt är situationen den att vattenreningsanläggningen inte kan ses som en fast anläggning utan behöver kunna monteras upp och ned och även förflyttas inom projektet.

Det är svårt att göra någon direkt ekonomisk jämförelse mellan kostnaderna för mekanisk slamavvattning eller geotub. Det finns mobila mekaniska anläggningar att hyra, därtill kommer kostnader för drift. Kostnader för en geotub är i princip enbart inköpskostnaden eftersom driftskostnaden är minimal då tekniken är mycket enkel.

Vad som alltid tillkommer oavsett om man använder sig av mekanisk avvattning eller geotub är slampump, doseringspump, kemikalier och ledningar.

### 2.3.1 Slampumpar

Det finns en rad slampumpar på marknaden för olika tillämpningsområden. När det gäller att pumpa slam från en slamficka på en sedimenteringsutrustning till en geotub är det främst två typer av pumpar som är vanliga, slangpump och membranpump.

Vad som är viktigt att tänka på i val av pump är att pumpen ska passa in i ett system med dosering av polymer, tryck- och flödesförhållanden och storleksordning på slamproduktion. I vattenreningsutrustning är det vanligt att pumpar, doseringspumpar, omrörare, flödesmätare, pH-elektoder och andra givare kopplas ihop och styrs och övervakas med hjälp av ett Programmerbart Styrsystem (PLC). En slampump måste kunna köras intermittent där cyklerna måste kunna anpassas efter de rådande omständigheterna. Pumpen måste kunna pausas så att den inte onödigtvis börjar pumpa ut slam med för låg torrsubstanshalt samtidigt som den skall gå så pass ofta att inte slam börjar ackumuleras och sedimenteringsanläggningens funktion påverkas.

Förutom att pumpens intermittenta drift måste kunna styras så bör även flödet kunna styras. Pumpens flöde och doseringspumpens kapacitet måste anpassas till varandra så att dosen av polymer kan justeras inom lämpliga intervall. För låg kapacitet på pumpen kan få till följd att slam ackumuleras i slamfickan och att sedimenteringsprocessen påverkas. En för hög kapacitet på pumpen kan medföra att tryckstötter bildas då pumpen startas och även detta kan påverka sedimenteringsprocessen. Nedan följer en enkel sammanställning över hur membranpumpar och slangpumpar fungerar och hur de kan styras.

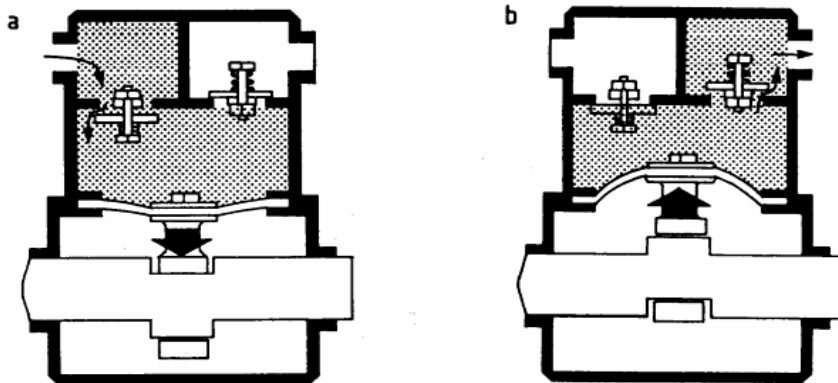
#### *Membranpumpar*

Membranpumpar är självevakuerande och har god sugförmåga. De används i industriprocesser även till mycket trögflytande och slitande vätskor. Det finns ett stort utbud av membranpumpar i olika material och storlekar. Pumparna är också billigare än slangpumpar. Membranpumpar är ofta tryckluftsdrivna vilket medför att kompressor skall finnas på plats.

Membranpumpen flödesregleras genom lufttrycket men flödet kan också regleras med en ventil. När en tryckluftsdreven membranpump skall startas och stoppas kan med stor fördel en automatisk avstängningsventil monteras på pumpens trycksida. När ventilen stängs stannar helt enkelt pumpen när lufttrycket nått maximal nivå. När ventilen öppnas börjar pumpen gå igen. Det är alltså relativt enkelt att reglera en tryckluftsdreven membranpump.

I och med att vattentrycket i lamellsedimenteringsutrustningen ofta är högre än vad vilotrycket är i geotuben måste en avstängningsventil finnas. I membranpumpen (figur 5) sitter backventiler som tvingar vätskan att gå åt rätt håll när membranen arbetar. Detta medför att om trycket blir högre på pumpens

sugsida kan vätska ändå flöda genom pumpen genom självfall. I och med att vattentrycket i lamelledimeringsutrustningen kan vara högre än vilotrycket i geotuben, är en stoppad membranpump inget i sig som behöver hindra vätska från att rinna fram. En avstängningsventil måste alltså finnas.



**Figur 5.** Principskiss av membranpump i a) sugfas och b) tryckfas (Hagenvall, 1987).

Att driva en pump med tryckluft innebär alltid att man får en sämre verkningsgrad gentemot en eldriven pump med avseende på den energi som åtgår. I fall som här studeras har detta dock en underordnad betydelse.

### **Slangpumpar**

En slangpump (eller peristaltisk pump) är en s.k. displacementpump där klämbäckar på en rotor skapar en förträngning i slangen och tvingar fram vätskan. Slangpumpar är självevakuerande och har god sugförmåga.

I en slangpump är flödet direkt proportionellt mot varvtalet och flödesreglering kan ske genom en frekvensomvandlare. När slangpumpen står stilla blockerar den effektivt vätskan vilket innebär att någon avstängningsventil inte behövs. Det är också direkt olämpligt att köra en slangpump mot en stängd eller strypt ventil eftersom detta utsätter slangen och ledningar fram till ventilen för mycket höga tryck.

### **2.3.2 Doseringsutrustning**

Doseringspumpar finns i en rad olika varianter av vilka några typer är membranpumpar, slangpumpar och kolvpumpar. De finns även för en rad olika flödesintervaller.



Dosering av polymer sker efter slampumpen i rörledningen mot geotuben. För att få en bra inblandning av polymer från doseringspumpen kan en statisk mixer användas (exempel se figur 6). En statisk mixer är helt enkelt en bit rör utformad så att turbulens uppnås i vätskan i den statiska mixern vid pumpning. Den statiska mixern utgör alltså en kort bit av det rörsystem som leder bort slammet. Polymeren som doseras i den statiska mixern uppnår en mycket god inblandning i vätskan på kort tid.



**Figur 6.** Exempel på statisk mixer för slam (Koflo Corporation).

Vid dimensionering av doseringspump måste följande parametrar beaktas:

- Önskad inblandning av polymer i förhållande till slammets torrsubstanshalt, normalt 2-6 g/kg torrsubstans.
- Halt av polymer i den beredda lösningen (normalt 0.1-0.5 %).
- Slampumpens kapacitet och möjlighet till flödesstyrning och/eller intermittent drift av slampump.

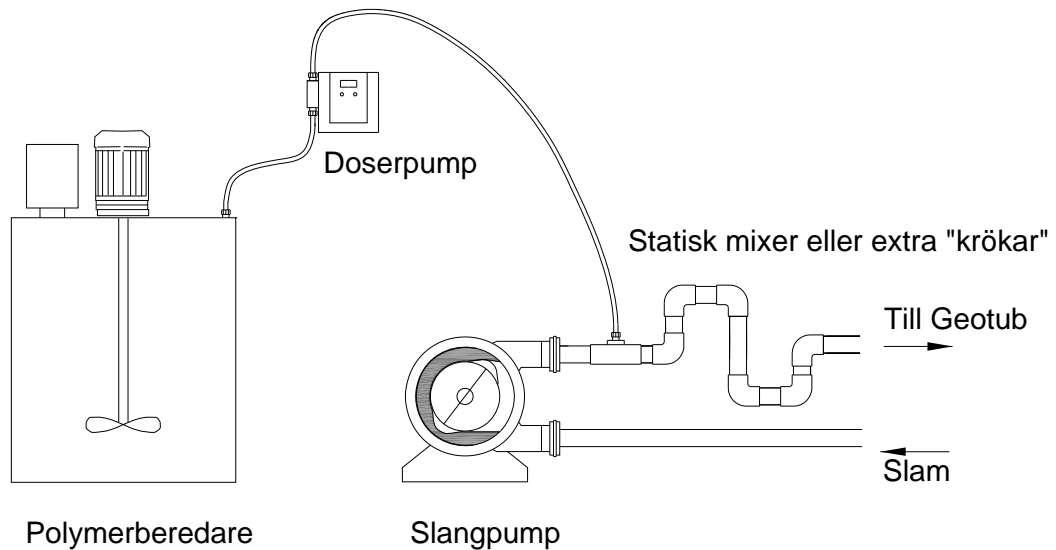
En viktig sak att tänka på är att vissa doseringspumpar inte doserar med jämnt flöde i den lägre delen av flödesregistret utan att flödet då blir pulserande. Detta är olämpligt vid dosering i statisk mixer som förutsätter ett förhållandevis jämt flöde.

### 2.3.3 Polymerberedning

Polymer finns som emulsion eller som pulver. I en emulsion är den aktiva substansen 40-45 % och pulver ca 90 %. Både pulver och emulsion skall blandas ut med vatten till en lösning på mellan 0,1-0,5 % (Stefan Sjögren BASF). Det är viktigt att den här beredningen sker på rätt sätt och med rätt utrustning. Beredningen måste också utföras några timmar innan den kan användas. Särskilda polymerberedare finns att köpa.

### 2.3.4 Sammankoppling av utrustning

I figur 7 nedan visas en principuppställning över slampump, doserpump, polymerberedare och injektionsutrustning.



**Figur 7.** *Principiell sammankoppling av utrustning.*

Nedan följer några praktiska tips vid sammankoppling av utrustningen:

- **Polymerberedare**  
Det finns automatiska och manuella polymerberedare. I temporära reningsanläggningar i anläggningsprojekt torde manuella vara den mest kostnadseffektiva lösningen. Eftersom polymerlösningen börjar tappa i effektivitet redan efter några dagar är det meningslöst att ha en för stor polymerberedare. Att välja storlek som klarar en veckas drift kan vara lagom.
- **Doserpump**  
Flödet genom doserpumpen skall kunna gå att reglera. Följande faktorer har betydelse för vilket flöde doserpumpen skall kunna ge:
  1. Slammets torrsbstanshalt
  2. Flöde genom slampumpen
  3. Mängd aktiv substans i polymerberedningen

Det är viktigt att doserpumpen kan ge tillräckligt flöde i förhållande till slampumpen. En doserpump bör kunna ge ca 10% av slangpumpens flöde. Doserpumpen kopplas så att den startar automatisk när slampumpen går.

- ***Slampump***

Karaktären på det slam som uppstår vid lamellsedimentering är naturligtvis helt avhängigt av kvalitén på ingående vatten och på hur flockning och sedimentering lyckas. En slampump bör ha en kapacitet av 5-10% av flödet av det vatten som skall renas i anläggningen. Slampumpen ska sedan kunna startas och stoppas med tidsstyrning så att slambehållaren i lamellsedimenteringsutrustningen töms i lagom takt.

- ***Injicering och inblandning av polymer***

I slutet av slangen från doserpumpen sitter en injektionsnippel. Den består av en gänga som sätts fast i utgående ledning från slangpumpen. I injektionsnippeln sitter även en backventil som gör att slam inte kan pressas bakvägen in doserslangen. Doserpumpens kapacitet är beroende av mottrycket. Eftersom man inte har någon möjlighet att visuellt bedöma hur mycket polymerlösning som injiceras kan man istället låta doserpumpen suga polymerlösning ur ett mätglas och på så sätt bedöma flödet eller kalibrera pumpen.

Det är också viktigt att polymerlösningen får blandas ut i slammet efter injiceringen. Detta görs bäst genom att en statisk mixer kopplas in efteråt men även ett antal extra "krökar" kan mycket väl ge en tillräcklig inblandning.

## **2.4 Lagar och krav**

I den här rapporten behandlas avvattning av slam i geotuber från vattenrening i anläggningsprojekt och det är främst för denna verksamhet som specifika lagar och förordningar lyfts fram. Lagkrav kring utsläpp av länsvatten, kemikaliehantering etc. är inte helt tydliga och i denna rapport är ambitionen att lyfta fram de krav som vi uppfattat som viktiga att ta hänsyn till. Enligt Miljöbalken kapitel 9 så räknas denna typ av verksamhet som miljöfarlig verksamhet. Därav följer också en rad skyldigheter för verksamhetsutövaren.

I Miljöbalken kapitel 2 finns de s.k. hänsynsreglerna som kan sägas är själva kärnan i Miljöbalken.

Hänsynsreglerna omfattar bland annat:

- **Bevisbörda.** Det är verksamhetsutövaren som ska bevisa att förpliktelser och regler följs.
- **Kunskapskrav.** Verksamhetsutövaren måste skaffa sig den kunskap som krävs för att veta hur verksamhet påverkar miljön och människors hälsa och på vilket sätt man kan motverka sådan skadlig påverkan.
- **Skyddsåtgärder – försiktighetsprincip:** Verksamhetsutövaren måste vidta skyddsåtgärder och andra försiktighetsåtgärder om det finns skäl att anta att verksamheten kan medföra skada eller olägenhet för människors hälsa eller miljön.
- **Välja produkt.** Verksamhetsutövaren skall undvika att använda sådana kemiska produkter som kan befaras medföra risker för människors hälsa eller miljön om de kan ersättas med sådana produkter som kan antas vara mindre farliga.

#### 2.4.1 Anmälningsskyldighet

Att bedriva vattenrening är anmälningsskyldigt till tillsynsmyndigheten. Tillsynsmyndigheten kan vara länsstyrelsen eller kommunen. I första hand kan man vända sig till kommunens tillsynsmyndighet om man är osäker.

Vid rening av länsvatten i samband med sanering av förorenad mark skall en anmälan göras enligt Förordning om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd (SFS 1998:899, 28§). Vattenreningsutrustningen ingår då som en skyddsåtgärd som tas upp i anmälan av saneringen. Om det inte är en saneringsåtgärd kan vattenreningen anmälas enligt SFS 1998:899, 13§ till den kommunala nämnden.

#### 2.4.2 Egenkontroll

Miljöbalken, 26 kap, 19§ föreskriver:

*”Den som bedriver verksamhet eller vidtar åtgärder som kan befaras medföra olägenheter för människors hälsa eller påverka miljön skall fortlöpande planera och kontrollera verksamheten för att motverka eller förebygga sådana verkningar.*

*Den som bedriver sådan verksamhet eller vidtar sådan åtgärd skall också genom egna undersökningar eller på annat sätt hålla sig underrättad om verksamhetens eller åtgärdens påverkan på miljön.*

*Den som bedriver sådan verksamhet skall lämna förslag till kontrollprogram eller förbättrande åtgärder till tillsynsmyndigheten, om tillsynsmyndigheten begär det.*

*Regeringen eller den myndighet som regeringen bestämmer får meddela närmare föreskrifter om kontrollen.”*

Vidare finns Förordningen om verksamhetsutövarens egenkontroll (SFS 1998:901). Naturvårdsverket har också gett ut en användbar handbok om egenkontroll; *Egenkontroll en fortlöpande process, handbok 2001:3*.

De viktigaste delarna vid egenkontroll är:

- En dokumenterad fördelning av det organisatoriska ansvaret för miljöfrågor.
- Dokumenterade rutiner för kontroll av utrustning för drift och kontroll samt att dessa hålls i gott skick.
- Dokumenterade resultat från undersökning och bedömning av riskerna med verksamheten ur hälso- och miljösynpunkt.
- Rutiner för att underrätta tillsynsmyndighet om driftstörning inträffar.
- En förteckning över de kemiska produkter som hanteras i verksamheten. Förteckningen ska redogöra för produktens namn, i vilken omfattning produkten används samt produktens hälso- och miljöskadlighet.

Vid slamavvattning i geotuber kan följande punkter tas med i egenkontrollen:

- Kemikalieåtgång polymer
- Flöde av slam
- Bedömd kvot polymer/torrsubstans slam
- Allmän funktionskontroll av pumpar och slangar

### **2.4.3 Kemikaliehantering**

Säkerhetsdatablad för alla använda kemikalier måste förvaras på arbetsplatsen. Ett säkerhetsdatablad består av följande 16 obligatoriska punkter:

1. Namnet på ämnet/beredningen och bolaget/företaget
2. Farliga egenskaper
3. Sammansättning/information om beståndsdelar

4. Åtgärder vid första hjälpen
5. Brandbekämpningsåtgärder
6. Åtgärder vid oavsiktliga utsläpp
7. Hantering och lagring.
8. Begränsning av exponeringen/personligt skydd
9. Fysikaliska och kemiska egenskaper
10. Stabilitet och reaktivitet
11. Toxikologisk information
12. Ekologisk information
13. Avfallshantering
14. Transportinformation
15. Gällande föreskrifter
16. Annan information

Det är viktigt att instruktionerna t.ex. för personlig skyddsutrustning mm i säkerhetsdatablad följs för. Det är också viktigt att kemikalierna förvaras i sina originalförpackningar och att etiketterna sitter kvar.

När det gäller förvaring av kemikalier (i detta fall polymer) är reglerna något otydliga. Den aktuella tillsynsmyndigheten kan ha krav på förvaring t.ex. invallning (sekundärt skydd). Detta gäller särskilt i vattenskyddsområden. Naturvårdsverket har en föreskrift för förvaring av brandfarliga vätskor NFS 2003:24. Med denna föreskrift som grund kan tillsynsmyndigheten även ställa krav på att andra ej brandfarliga kemikalier skall förvaras invallat.

En regel som ofta förekommer är att invallningen skall klara hela volymen av det största kärlet samt 10 % av volymen av övriga kärl. (Denna regel härrör från en numera upphävd föreskrift från Sprängmedelsinspektionen SÄIFS 2000:2. Regeln i föreskriften gällde cisterner för brandfarlig vätska ( $> 3\text{m}^3$ ) men tillämpas i dagsläget av tillsynsmyndigheter för alla miljöfarliga kemikalier (även i fat och dunkar) i vattenskyddsområden.)

## **2.5 Geotuber**

Geotuber är enkelt uttryckt stora säckar där slam pumpas in för avvattning. Textilerna i geotuben är av polypropen och är mycket stark. En stor fördel med geotuben är dess mycket stora skalbarhet; alltifrån mindre projekt med slamavvattning i containerstorlek till stora muddringsprojekt med mycket stora geotuber. I USA har 55 m långa geotuber med en omkrets på 36 m tillverkats.

Oavsett storlek på projekt och typ av slam är porstorleken i geotubens textil lika; ca 0,25 mm. Utprovning av avvattningskemikalier och tillsatta mängder blir däremot alltid projektspecifik.

Avvattningen i geotuben underlättas om den läggs på ett dränerande underlag t ex av makadam eller på en dränmatta. Om höga flöden ska hanteras kan två

eller fler geotuber behöva fyllas växelvis; en tub fylls upp medan en annan avvattnas osv.

En geotub är inte tänkt att återvinnas. Efter avvattning kan geotuben, om detta är syftet, ligga kvar på platsen och t ex utgöra en del av en deponiuppbbyggnad. Annars avlägsnas den enkelt genom att en grävmaskin bryter sönder tuben och det avvattnade slammet schaktas upp.

Användandet av geotextiltuber eller s.k. geotuber började i slutet av 1980-talet och användes då i olika sammanhang världen över genom att geotuben fylldes med finkornigt material och användes som stabiliserande åtgärd. Exempelvis som vågbrytare, erosionsskydd runt piper eller som stabiliserande nedsänkt sandbank. 1995 genomfördes för första gången lyckade försök i Vicksburg, USA, med att använda stora geotuber för avvattning av slam. (Fowler, 2000)

Enligt en tillverkare av geotuber, TenCate, används idag geotuber med syftet att avvattna slam inom många olika områden. Exempelvis inom pappersindustri, gruvindustri och jordbruk.

Nedan följer några exempel på avvattning av slam i geotuber.

### **Exempel 1. Saneringen av Sorte Sø, Skanderborg Danmark**

I Skanderborg i Danmark har muddringsarbeten genomförts för att sanera den ca 5 hektar stora sjön Sorte Sø från dess förorenade bottensediment. Bottensedimentet har förorenats kraftigt av obehandlat avloppsvatten som har släppts ut i sjön. Detta ledde till höga halter av främst fosfor, vilket ledde till en stark övergödning av sjön. En fullskalig jämförelse av 4 olika metoder för att avvattna muddermassorna genomfördes innan själva muddringsarbetena av sjön inleddes. De fyra metoderna som jämfördes var geotuber, dräneringscontainrar, dekanteringscentrifuger och silbandspressar. Före fullskaletesterna gjordes tester i mindre skala för att utvärdera lämpliga koagulerter och flockulerter. Som koagulent valdes PAC (polyaluminiumklorid) och som flockulent tillsattes polyakrylamid (PAM). Under försökens gång kunde slutsatsen dras att tillsatsen av PAC inte var nödvändig. Halten PAM som användes var 4 kg aktiv substans polymer/ton suspenderat material. Slamavvattningen m.h.a geotuberna visade sig vara överlägsen de andra metoderna ur perspektiven kapacitet, komplexitet, kvalitet på filtratvattnet, driftsstabilitet och kostnadsmässigt (Vestergaard & Mølgaard, 2010).

### **Exempel 2. Saneringen av Svartsjöarna, Hultsfreds kommun**

I Hultsfreds kommun i anslutning till Svartsjöarna låg under 1900-talet ett pappersbruk. Brukets avloppsvatten innehållande kvicksilver gick periodvis orenat ut i Pauliströmmen som ligger i anslutning till Svartsjöarna. På 1980-

talet återfanns kvicksilvret i bankar av pappersfibrer på botten av främst Övre Svartsjön.

En sanering av Övre Svartsjön påbörjades våren 2006. Arbetet innebar att 260 000 m<sup>3</sup> pappersfibrer muddrades upp från botten av sjön och pumpades in till land för avvattning och vidare in i flera hundra geotuber med längder på 50 meter styck. Flockning tillämpades i geotuberna för att få en bättre vattenavskiljning. Kviksilvret fanns i mycket stor utsträckning bundet till pappersfibrerna. Vattnet från geotuberna samlades upp för rening innan det släpptes tillbaka till sjösystemet. De ca 250-300 fulla geotuberna deponerades efter saneringens slut 2007 på en för ändamålet framtagna deponi direkt i anslutning till saneringsområdet och sluttäcktes med ett halvmeter tjockt jordlager (Jansson 2006).

Tekniken som deponin som byggdes upp med, geotuber (Figur 8), var vid saneringens tidpunkt unik i Europa och till storleken mycket stor även i jämförelse med projekt som genomförs med geotuber i USA.



**Figur 8.** Bild på geotuber från saneringen av Svartsjöarna.

### **Exempel 3. Lakvattenrening, Sörab Avfallsanläggning**

Uppdraget som utfördes av Milman Miljömuddring bestod i att genom partikelreduktion få ned framförallt blyhalten i lakvattendammar vid Sörabs avfallsanläggning i Löt, Vallentuna kommun. Projektet genomfördes under november -december 2003.

Genom en mobil flocknings-/flotationsanläggning processades ca 12 000 m<sup>3</sup>



blyförorenat lakvatten för att reducera mängden förorenat suspenderat material. De i flockning-/flotationsanläggningen borttagna förorenade partiklarna avvattades i geotuber. Det renade vattnet återfördes till recipient efter provtagning.

Samtliga föroreningshalter uppnådde ställda miljökrav. Det i geotuber avvattade förorenade slammet transporterades till deponi.



**Figur 9.** Flocknings-/flotationsanläggning, lakvattenrening (Milman Miljömuddring)



**Figur 10.** Avvattning av slam från lakvattenrening med geotuber (Milman Miljömuddring)

### **3. Fältförsök**

#### **3.1 Områdes- och projektbeskrivning sanering av Bohus varv**

NCC fick 2009 uppdraget att sanera f.d. Bohus varv, en gammal industritomt i Ale kommun norr om Göteborg. Sammanlagt rörde det sig om cirka 25 000 kvadratmeter mark, uppdelad i fem delområden. Saneringen genomfördes genom att den förorenade jorden schaktades upp, ner till ett djup av i genomsnitt 2,5 meter under ursprunglig markyta.

Totalt har ca 55 000 kubikmeter, drygt 90 000 ton, förorenade massor schaktats upp. Dessa massor innehöll omkring 600 ton bly, 350 ton zink, 300 ton koppar, 4 ton kvicksilver och 9 ton arsenik. Dessa lastades sedan via ett mellanupplag på fartyg och transporterades till en deponi i ett kalkbrott på Langøya i Oslofjorden. Arbetet utfördes alldeles intill Göta älv, som förser Göteborg med dricksvatten. Om det skulle ske ett utsläpp vid arbetena i Bohus, tar det ungefär tre timmar innan det förorenade vattnet når Göteborgs råvattentäkt. Detta ställde hårda krav på arbetets utförande. Speciellt viktig var vattenreningen, där NCC byggde upp en anläggning som ska klara de hårda krav som ställts för att vattnet ska kunna släppas ut i Göta älv. Mängden vatten som renats innan utsläpp till älven har uppgått till drygt 30 000 m<sup>3</sup>.

Arbetet med saneringen påbörjades i slutet av september 2009 och var klar i början av 2011. Beställaren, Ale kommun, får stöd av bland annat Naturvårdsverket för saneringen av högriskområden intill Göta älv.

Eftersom höga krav har ställts på det renade vattnet användes ett flertal steg i vattenreningen. Vattenreningen i Bohus har omfattat:

- Oljeavskiljning
- Sedimentering/utjämningsmagasin
- Kemisk fällning flockning
- Lamellsedimentering
- Sandfiltrering
- Aktiv kolfiltrering

Betydande mängder slam uppkom även i sedimenterings och utjämningsmagasinet. Detta slam består av större partiklar som kunnat sedimentera på egen hand utan hjälp av flockningssteg.

Det slam som bildas i en lamellavskiljare måste däremot kontinuerligt matas undan för att processen inte skall störas. Detta slam har en mycket hög vattenhalt och består av mycket fina partiklar blandat med fällnings och

flockningskemikalier. Ofta sitter markföroreningar bundna till finpartiklar och det finns alltså all anledning att vara varsam vid hantering av den här typen av slam.

I projektet på Bohus varv placerades geotuben i ett lastväxlarflak och rejektvattnet, d.v.s det vatten som har runnit igenom geotextilen, rann med självfall till ett sandfilter. Vår uppfattning är detta var ett enkelt och funktionellt sätt att samla upp rejektvattnet på.



**Figur 11.** Geotub i lastväxlarflak vintertid, Bohus varv

### **3.2 Bakgrund och beskrivning av fältförsöken**

NCC har i fältförsöken valt att använda geotuber och viss annan utrustning från tillverkaren TenCate i Holland. Geotuberna kan tillverkas i olika storlekar efter kundens önskemål. I vårt fall har NCC beställt geotuber som passar att läggas i ett lastväxlarflak. Huvudsyftet med att genomföra fälttester i ett projekt är att hitta rätt typ av polymer och rätt dosering som passar för just den specifika typen av slam som ska avvattnas.

Inom denna studie har fältförsök utförts med syftet att utvärdera TenCates standardmetoder för fälttester. Fälttesterna har också utförts med syftet att undersöka och utvärdera hur man på bästa sätt får fram underlag för att välja rätt typ och dosering av polymer för slamavvattning i ett anläggningsprojekt.

Två olika standardiserade test från Tencate har genomförts:

- Bänktest (Cone test)
- Hanging bag test

Instruktionerna för de två fältförsöken är skrivna på engelska och bifogade i bilaga 2 och 3.

Testerna har genomförts enligt TenCates standardmetoder för ”Bänktest” och ”Hanging bag test”.

Då testerna genomfördes hade vattenreningsanläggningen med tillhörande slamavvattning redan varit i drift under några månader. Slammets egenskaper med polymertillsats var delvis känd från tester som utfördes vid igångsättningen av anläggningen. Testerna genomfördes som om slammets avvattningsegenskaper inte varit kända.

### **3.3 Bänktest**

#### **3.3.1 Syfte**

Syftet med bänktestet var att:

- Avgöra hur väl ett slamprov avvattnar.
- Utvärdera hur effektivt en viss polymer fungerar.
- Förutse fukthalt i slammet efter avvattning.
- Mäta den tid det tar för fritt vatten att rinna genom.
- Utvärdera volymen återstående torrs substans.
- Utvärdera volymen och kvaliteten på passerat vatten.

Bänktestet är det enklaste testet av ovan två nämnda och lämpar sig bra att börja med.

#### **3.3.2 Genomförande**

I försöket används en rund bit geotubtextil som formas till en kon. Vid testet används ca 1 liter slam som blandas ut med önskad halt av polymer. Polymer blandas in i slammet under omrörning varefter blandningen stjälpas upp i konen. Redan här kan en första enkel (men viktig) slutsats dras av försöket: Slam kombinerat med en olämplig polymer eller dosering, rinner helt eller delvis genom textilen, medan en rätt blandning får vatten att separera från slammet. Vattnet rinner då genom textilen medan slammet lägger sig ovanpå.



**Figur 12.** Utrustning för Bänkttest. Filtrering och uppsamling av vatten.

I figur 13 nedan visas två slamprover som blandats med två olika halter polymer. På det vänstra provet kan man tydligt se att flockarna som bildats i ett tidigare steg i vattenreningen har samlats till större aggregat p.g.a. den tillsatta polymeren. Detta har lett till att en separation mellan slammet och vattnet har skett. I det högra provet tillsattes en för låg halt av polymer och därför har en stor del av slammet runnit rakt igenom geotextilen. Att det finns slam och en mängd vatten kvar uppe i konen beror på att det finkorniga materialet har satt igen geotextilen. Skulle man jämföra rejektvattnen skulle det högra provet med för låg halt polymer innehålla betydligt mer suspenderat material.



**Figur 13.** Skillnaden mellan två prover med lämplig (till vänster) och för låg (till höger) tillsatt mängd polymer.

Tre olika polymerer har använts, två katjoniska och en anjonisk polymer. För alla tre polymerer har först en dos på 40 ml/m<sup>3</sup> testats. Har slammet fastnat på filtret och avvattningen fungerat har dosen halverats i nästa försök. Har dosen däremot varit för låg och slammet runnit igenom filtret, har dosen dubblerats i nästa försök.

Följande parametrar har bestämts vid försöken:

1. Torrsubstanshalt (%) i slammet före försöket (laboratorieanalys)
2. Tid och vattenavrinning (volym filtrat efter given tid)
3. Halt suspenderat material (mg/l) i filtratet (laboratorieanalys)
4. Torrsubstans (%) i slamkakan efter 30 minuter (laboratorieanalys)
5. Okulära bedömningar

### Försök 1

I försök 1 har en katjonisk polymer använts. Eftersom en anjonisk polymer används i vattenreningen för att bygga flockar så skall en katjonisk polymer vid slamavvattningen teoretiskt sett fungera bäst.

Försöket började med en tillsats på 40 ml/m<sup>3</sup> som gav bra resultat. Därefter halverades halten till 20 ml/m<sup>3</sup> varvid ett betydligt sämre resultat erhöles. Därefter höjdes halten till 80 ml/m<sup>3</sup> varvid ett mycket bra resultat erhöles. Resultaten redovisas i nedan i tabell 1 och utseendet på filtratet i figur 14.

**Tabell 1** Resultat från Bänkttest, Försök 1  
**Zetag 9018** Katjonisk polymer  
Torrsubstans slam före avvattning: 0,7 %

Dos (ml/m <sup>3</sup> )	Okulär observation	Filtrat Suspenderat material (mg/l)	Avvattnat slam Torrsubstans efter 30 min (%)
20	Fungerar dåligt. Slam rinner igenom	910	5
40	Bra avvattning	45	5.3
80	Mycket bra avvattning	39	5.3
160	Ej testat	-	-



**Figur 14.** Filtrat (rejektvatten) vid dosering av 20, 40 och 80 ml/m<sup>3</sup> katjonisk polymer Zetag 9018.

### Försök 2

Även i försök 2 har en katjonisk polymer använts, men av en annan typ än den i försök 1. Förfarandet har varit samma som i försök 1. Resultaten redovisas i nedan i tabell 2.

**Tabell 2.** Resultat från Bänkttest, Försök 2.

**Zetag 9014** Katjonisk polymer

Torrsubstans slam före avvattning: 1,2 %

Dos (ml/m <sup>3</sup> )	Okulär observation	Filtrat Suspended material (mg/l)	Avvattnat slam Torrsubstans efter 30 min (%)
20	Fungerar dåligt. Slam rinner igenom	3700	4
40	Halvbra avvattning	220	5.6
80	Mycket bra avvattning	< 12.1	6.4
160	Ej testat	-	-



**Figur 15.** Slam vid polymerdos av 20, 40 och 80 ml/m<sup>3</sup>.

Av figur 15 framgår tydligt hur polymerhalten påverkar slammet. Vid 20 ml/m<sup>3</sup> erhålls en dålig separation och en stor andel partiklar följer med vattnet varefter slammet även delvis sätter igen porerna i filtret (geotubtextilen). Vid 40 ml/m<sup>3</sup> erhålls en betydligt bättre separation och vid 80 ml/m<sup>3</sup> släpper vattnet väl från slammet och rinner lätt genom filtret.

Vid försöket mättes även filtratvolym (avrunnen mängd vatten) efter 10, 20 och 30 minuter. Resultaten redovisas i tabell 3.

**Tabell 3.** Filtratvolym och tid.

Halt	10 min	20 min	30 min
20 ml/m <sup>3</sup>	660 ml	750 ml	800 ml
40 ml/m <sup>3</sup>	750 ml	790 ml	800 ml
80 ml/m <sup>3</sup>	770 ml	795 ml	805 ml

Resultatet av mätningarna visar att det mesta av vattnet runnit igenom efter 10 minuter och efter 30 minuter har i stort sett allt vatten slutat att rinna genom filtret. (Se utvärdering nedan)



### Försök 3

I försök 3 har en anjonisk polymer använts, alltså en polymer som teoretiskt inte är den som ska ge den bästa avvattningen. Det visade sig också redan vid första testet med 40 ml/m<sup>3</sup> att denna polymer fungerade sämre. Resultaten redovisas i nedan i tabell 4.

**Tabell 4** Resultat från Bänkttest, Försök 3

**Magnafloc 110 L** Anjonisk polymer

Torrsubstans slam före avvattning: 1,2 %

Dos (ml/m <sup>3</sup> )	Okulär observation	Filtrat Suspenderat material (mg/l)	Avvattnat slam Torrsubstans efter 30 min (%)
20	Ej testat	-	-
40	Fungerar dåligt. Slam rinner igenom	2200	6
80	Bra avvattning	47	6.4
160	Bra avvattning	60	6.3

### 3.3.3 Diskussion och slutsatser

Försöken gick mycket bra. Man får snabbt en känsla av vilken typ av polymer som fungerar och vid vilka halter bra resultat erhålls.

Vid försöken mättes olika parametrar såsom ingående torrsubstans i slammet före försöket och efter 30 minuters avrinning samt suspenderat material i filtratet. Även okulära observationer och fotografering gjordes. Nedan följer en kort utvärdering av hur relevant bestämningen av respektive parameter har bedömts för förståelse och utvärdering av lämplig polymer och dosering.

#### Torrsubstanshalt i slam före försöket

Torrsubstanshalten har analyserats på laboratorium och var därmed inte känd före försöket. (Kännedom om ungefärlig torrsubstanshalt fanns på grund av att anläggningen varit i drift en tid och den har därför bestämts tidigare).

Det är önskvärt men inte nödvändigt att ha kännedom om torrsubstanshalten före försöket. Eftersom man i Bänktestet prövar sig fram så får man ändå fram bra resultat. Däremot är det ändå nödvändigt att analysera torrsubstanshalten på det slammet man gjort försöket på, eftersom det är det enda sättet att verifiera att man faktiskt ligger i rätt intervall med doseringen av polymer och inte doserar över det som är praxis inom slamavvattning. Se kapitlet om egenkontroll.

### **Tid och vattenavrinning**

I försök 2 redovisas uppmätt filtratvolym efter 10, 20 och 30 minuter. Denna typ av mätning bedöms som mindre viktig att göra eftersom även ett dåligt prov där mycket partiklar följer med filtratet också ger en förhållandevis snabb genomrinning.

### **Halt suspenderat material i filtratet**

Ger ett bra värde på hur avvattningen fungerat. Ju mindre partiklar som följer med filtratet desto bättre. Genom okulär observation kan man dock komma fram till en relevant bedömning om vattnets innehåll av partiklar. Okulär observation ger ett så pass bra resultat att ett labtest inte är motiverat för att ta fram ett beslutsunderlag.

### **Torrsubstans i slamkakan efter 30 minuter**

I försöken varierade denna torrsubstanshalt endast minimalt. I försök 1 var halten lägre än i försök 2 och 3. Detta beror sannolikt på att torrsubstansen i ingående slam var lägre i försök 1 än i försök 2 och 3.

### **Okulära bedömningar**

Okulära bedömningar ger den mest relevanta informationen. Redan vid inblandningen av polymer i bägaren då slammet börjar separera från vattnet får man en indikation på hur försöket kommer att gå, se figur 16. Att bedöma hur vattnet separerar från slamkakan på filtret samt att betrakta till vilken grad filtratet är fritt från medföljande partiklar ger en mycket god uppfattning över polymerens effekt.



**Figur 16.** *Slamprov med (till vänster) och utan tillsatt (till höger) polymer.*

### 3.3.4 Utvärdering

Bänktestet ger en mycket bra vägledning om vilka polymerer som fungerar och vid vilka doser. Laboratorieanalys av ingående torrs substans samt noggranna okulära observationer ger mycket relevanta data för slamavvattningsprocessen.

Vad Bänktestet inte ger svar på är hur den långsiktiga avvattningen hos slammet ser ut och hur torrs substansen ökar under flera dygn.

Vår bedömning är att de testmaterial och instruktioner som TenCate tillhandahållit för försöket har fungerat bra och är goda verktyg för hur slam, polymer och geotubtextilen samverkar i avvattningen.

## 3.4 Hanging bag test

### 3.4.1 Syfte

Syftet med Hanging bag testet är i stort sett samma som för Bänktestet. Den stora skillnaden är att provvolymen är betydligt större, då slam och polymer blandas i en tunna (60-90 liter). Testet förutsätter också att tidigare försök har gjorts där lämplig polymer har identifierats, samt ungefärliga doseringar av polymeren som lämpar sig för fortsatta tester. Därför är det lämpligt att göra ett

Bänktestet innan Hanging bag test utförs. Slammet hålls ner i säckar av geotubtextil (volym ca 150 l) som hängts upp i en ställning (figur 17). Testet blir därmed i större skala. Den största fördelen mot Bänktestet är att avvattningsprocessen över tid går att följa med en större precision.



**Figur 17.** Upphängda Hanging bags.

### 3.4.2 Genomförande

Säckarna hängs upp på en ställning och får hänga fritt. Provet bereds i en tunna och hålls sedan ner i säcken. En stor del av vattnet rinner av omedelbart. Därefter kan avvattningsprocessen följas under en längre tid.

Vid Hanging bag testet valdes den polymer, Zetag 9014, som gav bäst resultat i Bänktestet.

Även polymeren Magnafloc 110 L testades i Hanging bag testet, även om det i Bänktestet visat sig att denna hade sämre effekt.

Följande parametrar har bestämts vid försöken:

1. Torrsubstanshalt (%) i slammet före försöket (laboratorieanalys)
2. Torrsubstans (%) i slamkakan 1, 4, 8, 14 och 22 dygn (laboratorieanalys)
3. Utomhustemperatur, loggad var 30:e minut
4. Okulära bedömningar

Försöket genomfördes 2010-10-28. 60 liter slam pumpades upp i 3 tunnor med en volym på vardera 100 liter, en omgång för test med polymeren Zetag 9014 och en omgång med Magnafloc 110 L. Samma halter av polymeren som användes vid bänktestet användes, dvs. 20, 40 och 80 ml/m<sup>3</sup> för Zetag 9014 och 40, 80 och 160 ml/m<sup>3</sup> för Magnafloc 110 L. Polymeren tillsattes till det 60 l uppumpade slammet och omrörning m.h.a av en bormaskinsdriven omrörare genomfördes noggrant (figur 18).



**Figur 18.** Uppumpning och omrörning av slam i 100 l tunnor.

### 3.4.3 Diskussion och slutsatser

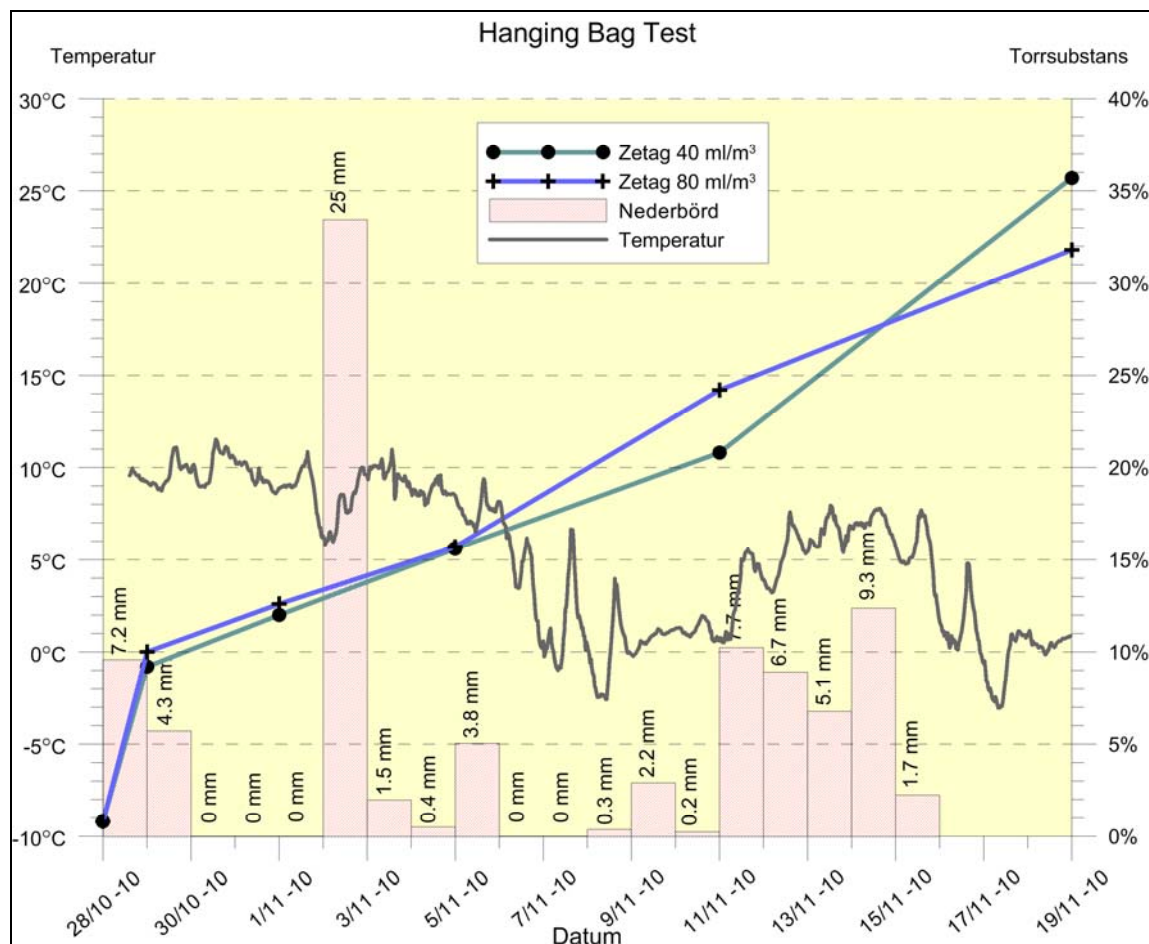
Vid omrörningen med Zetag 20 ml/m<sup>3</sup> noterades ingen tydlig bildning av flockar och partiklarna var fortfarande väldigt finfördelade och ingen tydlig sedimentering noterades i tunnan. För dosen 40 ml/m<sup>3</sup> noterades relativt god aggregatbildning och för 80 ml/m<sup>3</sup> blev det en väldigt tydlig och god bildning av aggregat och sedimentation. Bättre sedimentering noterades vid 80 ml/m<sup>3</sup>, men vid 40 ml/m<sup>3</sup> såg klarfasen på ytan klarare ut.

För Magnafloc fungerade endast aggregatbildningen vid dosen 160 ml/m<sup>3</sup>. Ingen effekt av polymeren kunde noteras vid 40 och 80 ml/m<sup>3</sup> och ingen sedimentering ägde rum. Endast resultaten för Zetag redovisas nedan.

Jämfört med Bänktestet så blir Hanging bag testet mer våldsamt mot de bildade aggregaten i slammet, varvid dåligt bildade aggregat kan lösas upp och rinna igenom säcken.

Ingående halt torrs substans i slammet var 0,8 %. Därefter togs prover under ytterligare 5 tillfällen under en period av 22 dagar. Utomhustemperaturen varierade mellan +10 och -3°C. Största delen av tiden låg temperaturen över fryspunkten. Det regnade delvis under perioden och statistik över nederbörden under perioden hämtades från SMHI. För att skydda slammet mot nederbörd stängdes öppningen i toppen med klämmor. Slammets torrs substanshalt samt nederbörd och temperatur visas i figur 19.

När Zetag i dosen 20 ml/m<sup>3</sup> tillsattes i säcken rann slammets rakt igenom. Därför har endast data för 40 och 80 ml/m<sup>3</sup> kunnat erhållas.



Figur 19. Torrsubstans, temperatur och nederbörd under Hanging bag testet.

Den blå och den gröna kurvan visar torrsubstanshalten i de två geotuberna. Intressant att notera är att båda halterna av Zetag 9014 ger en i princip lika god avvattning. Efter 22 dagar togs inga mer prover då sträng långvarig kyla infann sig. Att ta prover på djupfryst slam bedömdes inte ge relevanta jämförbara data. Hade kylan inte infunnit sig hade fortsatt provtagning varit intressant eftersom det kan noteras att trenden för torrsubstanshalten i det provtagna slammets inte planar ut vid sista provtagningstillfället. Trots det kalla vädret med mycket nederbörd har ändå god avvattning har kunnat uppnås.

### 3.4.4 Utvärdering

Ett Hanging bag test är mer komplicerat att utföra än bänktestet, då allt sker i en betydligt större skala.

Den stora fördelen med Hanging bag testet är att det går att mäta hur slammet avvattnas med tiden.

En stor nackdel med Hanging bag testet är att när slam med sämre aggregatbildning hålls ner i säcken så kan aggregaten lösas upp och rinna igenom. Detta behöver inte alls vara fallet med en geotub i full skala eftersom slammet inte utsätts för samma våldsamma behandling vid pumpning, som då slammet hålls och faller fritt ner i den hängande geotuben.

### 3.5 Jämförelse mellan fälttester och drift i full skala

Vid slamavvattningen vid vattenreningsanläggningen i Bohus varv har Zetag 9014 använts, alltså samma polymer som använts både i bänktestet och i Hanging bag testet. I full skala har den verkliga doseringen varit ca 30 ml/m<sup>3</sup> Zetag 9014. Torrsubstanshalten i ingående slam har varierat på mellan 0,5 och 1,2 %. Avvattningen har fungerat mycket väl.

Våra fälttester har gett att 40 ml/m<sup>3</sup> fungerat tillfredställande medan 80 ml/m<sup>3</sup> fungerat bättre vad gäller geotubens förmåga att filtrera bort vatten från aggregaten. Att det går att ha ännu lägre polymerhalt i full skala beror enligt vår bedömning på att den större anläggningen är skonsammare mot aggregaten som bildats efter polymerinblandningen. Slampumpen på Bohus varv består av en slangpump som ger ca 0,5 l/s. Slammet rinner sedan i en ca 25 m lång ledning innan det når geotuben.

Om ingen polymer eller för låg halt polymer tillsätts i full skala märks detta ganska snart på geotuben. Istället för klart vatten tränger slam ut genom geotuben, se figur 20.



**Figur 20.** Exempel på för låg polymerhalt. Rödfärgat slam tränger ut genom geotuben.

I muddringsprojekt där stora volymer bottensediment skall avvattnas blir kostnaderna för avvattningskemikalier betydande. Som jämförelse så blir mängden slam från vattenrening i ett anläggningsprojekt väldigt liten. Detta medför att det inte finns så stort ekonomiskt incitament för att optimera mängden kemikalier då dessa bara kommer att utgöra en bråkdel av övriga kostnader. Däremot är det viktigt ur ett miljöperspektiv att kemikaliedoseringen hålls inom godtagbara ramar.

### 3.6 Utvärdering av tillsatta mängder polymer

Att ställa tillsatta doser polymer i relation till mängd torrsbstans i slammet gör det möjligt att jämföra mängden tillsatt polymer vid slamavvattning i anläggningsprojekt med mängden polymer som tillsätts vid slamavvattning i t.ex. avloppsreningsverk.

I Hanging bag testet var slammängden ursprungligen 0,8 %. Vid tillsatts av 40 ml polymer/m<sup>3</sup> medför detta en mängd av 5,7 ml polymer/kg torrsbstans slam. Om man räknar med att den aktiva substansen är 50 % i emulsionen medför detta 2,9 g polymer/kg torrsbstans i slammet.

I svenska kommunala reningsverk ligger halten polymer för slamavvattning på



3-6 g/kg torrs substans (Wahlberg & Paxéus, 2003). Därmed är åtgången av polymer vid våra fältförsök och i den fullskaliga driften i Bohus varv inom ramen för hur mycket polymer som vanligtvis används i kommunala avloppsreningsverk.

Resthalter av akrylamid har behandlats tidigare i kapitel 2.2. Vid fältförsöken utfördes också analyser av resthalt akrylamid efter de processer i vattenreningsanläggningen där PAM tillsatts (se figur 1).

De prover som analyserats är

- A. Utgående vatten efter lamellsedimenteringen.
- B. Utgående slam från lamellsedimentering (för ny tillsats av PAM).
- C. Rejektvatten från Hanging bag (efter inblandning av PAM).

Proverna har analyserats av Eurofins i Lidköping (ackrediterat laboratorium) och följande halter uppmättes:

- A: <0,02 µg/l.
- B: <0,02 µg/l.
- C: 0,18 µg/l.

Den tillsats av PAM som används för flockbildning har varit ca 1 ml/m<sup>3</sup> behandlat vatten. Detta har inte gett upphov till någon detekterbar resthalt i prov A och B. Vid Hanging Bag testet tillsattes 40 ml/m<sup>3</sup> katjonisk PAM i slammet. Detta gav upphov till en resthalt av akrylamid på 0,18 µg/l i prov C.

Denna halt kan ställas i relation till en s.k. PNEC-halt (Predicted no-effect concentration), den koncentration där ingen effekt förväntas på organismer. En PNEC-halt på 20 µg/l för akvatiska organismer har tagits fram av EU (European Union Risk Assessment Report Acrylamide, 2002). Den analyserade halten i testet på 0,18 µg/l i rejektivattnet är alltså mycket låg.

#### 4. Diskussion och slutsatser

De problem som man som entreprenör står inför vad gäller slamavvattning är ofta inte bara av teknisk natur. Det är ett stort ansvar när man som entreprenör ska rena kraftigt förorenat vatten i t.ex. en saneringsentreprenad för att sedan släppa ut det i en känslig recipient. Vattenreningsanläggningarna är temporära och det är viktigt att alla delmoment görs på ett säkert sätt så att man får en bra och säker funktion och så att det inger förtroende hos beställare, myndigheter m.fl.

Viktiga frågor vid vattenrening i saneringssammanhang kan gälla rikt- och gränsvärden för utsläpp av vatten, omfattning av provtagning och kontroll, kemikaliehantering mm. En osäkerhet kan t.ex. uppkomma hos beställare och myndigheter när en entreprenör skall hantera vattenreningskemikalier. Många gånger finns det inga tydliga regler att tillämpa utan man kan lätt hamna i en gråzon. Det finns dock en praxis i vattenreningsindustrin som är allmänt accepterad i samhället och hos myndigheterna. Detta gäller t.ex. val av kemikalier.

Hur mycket polymer kan gå åt vid vattenrening i ett saneringsprojekt?

Antag att 10 000 m<sup>3</sup> vatten renas från 300 mg/l av suspenderat material. Polymerhalten vid flockningen kan vara ca 1 mg/m<sup>3</sup>. För slamavvattningen kan ca 5 g/kg torrs substans gå åt. På 10 000 m<sup>3</sup> renat vatten åtgår 10 kg till vattenreningen och 15 kg till slamavvattningen. Detta ger totalt 25 kg för 10 000 m<sup>3</sup>.

Som jämförelse kan åtgången av polymer vid svenska avloppsreningsverk nämnas. Totalt i Sverige är användningen av polymer för avloppsvattenrening 2000-2500 ton per år (Wahlberg & Paxeus, 2003). Enligt vår bedömning kommer totala mängden av polymer som används i anläggningsprojekt bara att utgöra en bråkdel av vad som används för vattenbehandling i övriga samhället.

Om man inte vill använda geotuber på arbetsplatsen, vad finns det då för alternativ? Det enklaste sättet är att installera en slamtank som sedan töms med slamsugningsbil. I en sådan slamtank sker en viss förtjockning av slammet med hjälp av gravitation men resultatet blir långt ifrån lika bra som vid avvattningsmetoder där polymer tillsätts.

Ett mer avancerat sätt att avvattna slam är genom mekanisk avvattning. Denna utrustning är dock mer komplicerad än geotuber men kan ha sin plats i stora projekt eller där det är trångt om utrymmen.

Kostnaderna för de olika metoderna beror, förutom på priser för respektive utrustning, också på kostnader för mottagning, transport och arbetsinsats. Detta bör bedömas utifrån förutsättningarna i varje enskilt projekt.

För avvattning i geotuber i Bohus varvs-projektet uppgår löpande materialkostnader och omhändertagandekostnader till ca 850 kr/ton avvattnat slam. Hade istället slammet pumpats till en slamtank, där viss förtjockning skett, skulle motsvarande kostnader för detta bli ca 5 gånger högre.

Att använda slamtank kräver något mindre arbetsinsats eftersom man slipper använda polymer. Slamtank kan därför vara ekonomiskt fördelaktigt i mindre projekt där mindre mängder slam skall omhändertas.

Projektet har gett möjligheten att studera tekniken med geotuber teoretisk men också praktiskt i full skala. Detta har varit mycket intressant och lärorikt. En slutsats som kan dras är att detta är en mycket användarvänlig teknik att arbeta med som nu tar ett självklart kliv in i anläggningsprojekten, inte minst i arbeten med marksaneringar.

## 5. Källförteckning

Ahlbom Anders et.al, (1998). *Hälsoriskbedömning av akrylamid och metylolakrylamid*, Institutet för miljömedicin Karolinska institutet, IMM-rapport 2/98.

Barvenik Frank W (1994). *Polyacrylamide characteristics related to soil applications*. Soil Science, vol 158 no 4 p 235-243, 1994.

Bolto Brian, (1995). *Soluble polymers in water purification*, Progress in Polymer Science Vol 20, s 987-1041.

Bolto Brian, Gregory John (2007). *Organic polyelectrolytes in water treatment*. Water Research 41. P 2301-2324.

(Ciba Specialty Chemicals) CDM , Zetag och Magnafloc - *Polymerer för behandling av processvatten inom kommuner och industrier*, Faktablad

Eveborn David, Barky Andras et.al. (2008). *Erfarenheter och kunskapsläge vid tömning av slamavskiljare*, JTI-rapport (Institutet för jordbruks- och miljöteknik)

Elander P (2004). *Efterbehandlingsmetoder för förorenade sediment*, Rapport nr VISKAN 2003:3, Länsstyrelsen i Västra Götalands län.

European Union Risk Assessment Report Acrylamide, 2002. ISBN 92-894-1250-X

Fowler J et al (2000) *Dewatering sludge and hazardous sludge with geotextile tubes*, USA.

Hagenvall, H. 1987. *Besprutningsteknik i lantbruket*. Sveriges Lantbruksuniversitet. Speciella skrifter, 25. 1987, s. 66

Jansson Thorsten (2006) *Saneringen av Svartsjöarna – ett projekt för renare miljö i Hultsfreds kommun*, Projektgruppen för Svartsjöarna och Hultsfreds kommun.

Miljöförvaltningen Göteborg (2008). *Miljöförvaltningens riktlinjer och riktvärden för avloppsvattenutsläpp till dagvatten och recipienter*.

Nationalencycledin, uppslagsord: slam, maj 2010.

Norin Malin et.al. (2008) *Rening av länsvatten vid schaktning i finkornigt material*

Schmann H, Kunst S (1991). *Elimination von 14c-markierten Polyelektrolyten in biologischen Abwasserreinigungsprozessen*. Wasser-Abwasser, 132 p 376-383.

SNF Floerger - Water Soluble Polymers

Sjögren Stefan, BASF, personlig kommunikation

Sjösten Per-Erik (2003), *Hallandsåsen - när, var, hur och varför*, Husbyggaren nr 5/2003.

Vestergaard Asger, Mølgaard Kasper, (2010). Comparison of sediment dewatering methods and first Danish use of dewatering with geo textile filter bags and flocculants, 10<sup>th</sup> Urban Environment Symposium, Göteborg 2010.

Wahlberg Cajsa, Paxéus Nicklas (2003). Miljöpåverkan av polyelektrolyter från användning vid reningsverk. Va-forsk rapport nr 40. Svenskt vatten Stockholm.

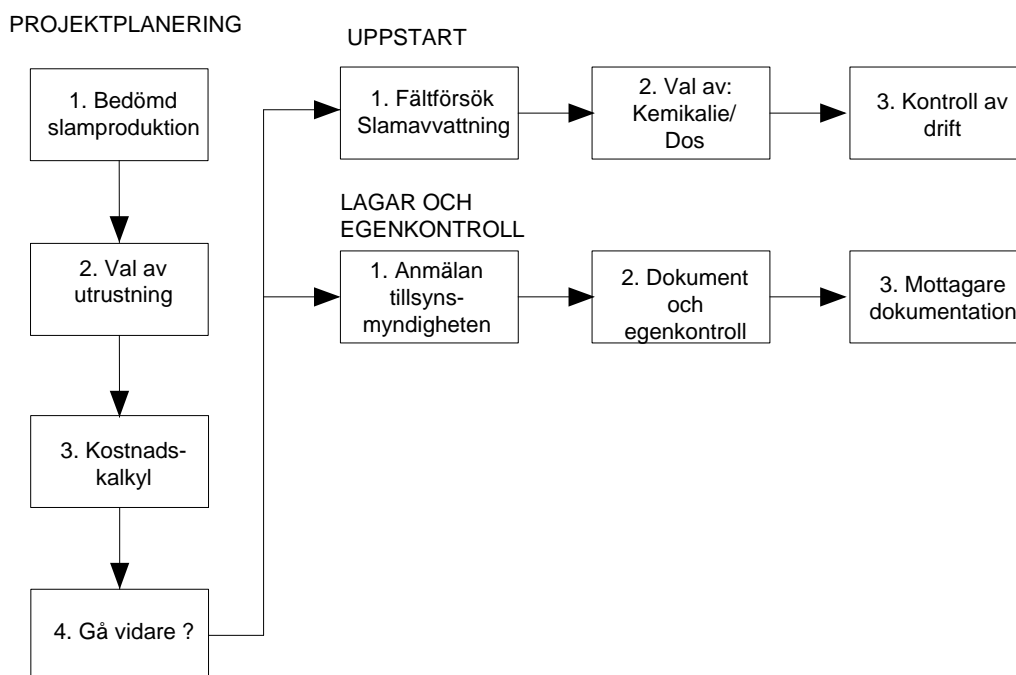
WHO (2008) *Guidelines for Drinking-water Quality*. ISBN 92 4 154696 4.

## Slamavvattning i geotuber vid anläggningsarbeten

### - En handbok

Denna handbok är en bilaga till SBUF-rapporten "Geotuber för slamavvattning i anläggningsarbeten"<sup>1</sup>. Handboken är en kortfattad praktisk vägledning som i första hand är anpassad för avvattning av slam från en vattenreningsanläggning med kemisk flockning och sedimentering.

I figur 1 visas ett flödesschema över arbetsgången då man ska genomföra slamavvattning i geotuber.



Figur 1. Schema över arbetsgången vid slamavvattning i geotuber.

Arbetsgången är uppdelad i tre moment; projektplanering, lagar och egenkontroll samt uppstart. Momenten beskrivs nedan.

<sup>1</sup> "Geotuber för slamavvattning i anläggningsarbeten". SBUF-projekt nr 12327. Magnusson, Hector, Ek, NCC Teknik.

## PROJEKTPLANERING

### 1. Bedömd slamproduktion

Det slam som uppkommer består av suspenderat material från det behandlade vattnet och av tillsatta kemikalier från vattenreningen samt vatten.

Mängden suspenderat material som skall avskiljas från vattnet är mycket projektspecifikt. Om vatten pumpas från avsänkingsbrunnar är mängden suspenderat material i vattnet låg. Om man pumpar direkt från schaktgropar blir mängden suspenderat material betydligt högre. Om partiklarna kan sedimentera, t.ex. i en utjämningsbassäng, innan det kommer till vattenreningsanläggningen sjunker halten suspenderat material betydligt.

Den största delen av slammet består dock av vatten. Före avvattning kan torrsubstanshalten vara så låg som 0,5-5%. Efter avvattning i geotuber förväntas den vara högre än 30%.

En grov uppskattning är en slamproduktion på ca 100-500 kg torrsubstans per 1000 m<sup>3</sup> behandlat vatten i vattenreningsanläggningen. Det motsvarar en slamvolym på 1-5 m<sup>3</sup> per 1000 m<sup>3</sup> behandlat vatten.

### 2. Val av utrustning

Storlek på geotuben bör väljas utifrån mängden slam som skall avvattnas samt vad som är praktiskt möjligt på arbetsplatsen. Om två geotuber körs växelvis, så att slammet får tid att avvattnas, kan torrsubstanshalten i slammet i normalfallet uppgå till 10% efter något dygn. Detta innebär att en slamvolym på 1-5 m<sup>3</sup> per 1000 m<sup>3</sup> behandlat vatten skall rymmas i geotuben.

Underlag för geotuben kan vara ett lastväxlarflak, en makadambädd på gummiduk etc. Det viktiga är att geotuben kan ligga kvar i minst ett par veckor innan den avlägsnas. Rätt storlek på geotub väljs sedan efter slammängd och uppläggningsplatsens storlek. Geotuberna kan beställas skraddarsydd.

Övrig utrustning är:

**Slampump.** Bör ha en kapacitet på 5-10% av flödet av det vatten som behandlas i anläggningen. Slampumpen skall också kunna köras intermittent.

**Doserpump.** Bör ha en kapacitet av ca 10% av slampumpens kapacitet.

**Polymerberedningsstation.** Ofta är en enkel manuell polymerberedningsstation kostnadseffektiv vid mindre temporära vattenreningsanläggningar.

För val av slampump, doserpump, och polymerberedare, se kapitel 2.3 i rapporten <sup>1</sup>

### 3. Kostnads kalkyl

De största kostnaderna vid slamavvattning är:

1. Kostnader för omhändertagande av slam
2. Personalkostnader
3. Förbrukningsmaterial (Geotuber och kemikalier)
4. Pumpar

Alternativet till en geotub är oftast att använda en slamtank med en betydligt sämre avvattningsförmåga. Avvattning i geotub ger en torrsubstanshalt på mer än 30%. I en slamtank uppnås endast 5-10% torrsubstans. En geotub har alltså en effektivare avvattning och ger därmed en lägre kostnad för omhändertagande. För små projekt kan dock kostnader för utrustning väga över till geotubens nackdel och det kan vara mer kostnadseffektivt att använda slamtank.

### 4. Gå vidare?

Totalkostnaden för omhändertagande av slam och alla omkostnader samt praktiska frågor såsom möjligheten till upplagsyta m.m. är avgörande för om man väljer att gå vidare med geotuber i ett specifikt projekt.

- Viktigaste bedömningen är att uppskatta slamproduktion och besparing i omhändertagningskostnader genom effektivare avvattning. Den besparingen skall sedan täcka alla merkostnader som utrustning, personal etc.

## UPPSTART

### 1. Fältförsök slamavvattning

Ett dilemma vid temporär vattenrening är att när anläggningen startas upp och slam börjar produceras så måste slammet tas omhand innan fälttesterna är klara. Detta går att lösa genom att endast köra anläggningen en kort tid för att ge tillräcklig mängd för fälttester, eller genom att börja med att tillsätta en viss mängd polymer utifrån tidigare erfarenheter.

Bänktestet går att genomföra på några timmar och ger snabbt användbara resultat. Genomförandet av detta test framgår av kapitel 3.3 och bilaga 2.

Det är även viktigt att på ett tidigt stadium analysera torrsubstanshalten i det slam man ska avvattna.

### 2. Val av kemikalie och dos

Fältförsöket ligger till grund för val av polymer och dos. Viktigt är också att kontrollera tillsatt dos polymer mot mängd torrsubstans i slammet, se kapitel 3.6.



Slampump och doseringspump justeras för rätt dosering. Det är bra att mäta slamflödet i pumpen och åtgången av polymer för att försäkra sig om att rätt mängd polymer tillsätts.

### **3. Kontroll av drift**

Under drift är det viktigt att göra okulära observationer av utgående vatten från geotuben. Vattnet från geotuben skall vara klart och rent. Om för liten mängd polymer tillsätts kommer slam att tränga igenom textilen. Om för stor mängd polymer tillsätts kommer ett överskott av polymer att tränga igenom textilen som en fet vätska.

Det går även att ta prover av slam med inblandad polymer direkt från röret före geotuben. Proverna kan sedan testas som ett "Bänkttest" eller "Hanging bag test" utan extra tillsats av polymer.

## **LAGAR OCH EGENKONTROLL**

### **1. Anmälan tillsynsmyndighet**

En anmälan till tillsynsmyndigheten är alltid nödvändig. En anmälan skall enligt SFS 1998:899, 25 § innehålla "...*de uppgifter, ritningar och tekniska beskrivningar som behövs för att tillsynsmyndigheten ska kunna bedöma den miljöfarliga verksamheten eller åtgärdens art, omfattning och miljöeffekter.*"

Eftersom slamavvattning ofta bara är ett delmoment i vid större arbeten som är anmälningspliktiga (t.ex saneringsarbeten) blir därmed slamavvattningen en mindre del i den anmälan som behöver göras för projektet. Samråd på ett tidigt stadium med berörd tillsynsmyndighet är att rekommendera.

Mer om anmälan behandlas i kapitel 2.4.1.

### **2. Dokument och egenkontroll**

De viktigaste delarna vid egenkontroll är mycket kortfattat:

- Organisatoriskt ansvar
- Rutiner för utrustning
- Resultat från undersökning och bedömning av risker
- Rutiner för att underrätta tillsynsmyndighet vid störningar
- Förteckning över kemiska produkter.

Mer om egenkontroll och kemikaliehantering behandlas i kapitel 2.4.2 respektive 2.4.3.

### **3. Mottagare och dokumentation**

Innehållet av föroreningar i slammet är till stor del beroende av vilka föroreningar som finns i marken där vattnet pumpas upp. Föroreningar fastnar naturligt till finpartiklar i jorden. Eftersom slammet innehåller de allra finaste partiklarna är sannolikheten stor att slammet kommer ha betydligt högre föroreningshalter än vad som återfinns i marken.

En avfallsmottagare kan vid misstanke om förhöjda föroreningshalter kräva att slammet analyseras för att lämna pris för omhändertagandet.

Dokumentation från avfallsmottagare är viktig för egenkontrollen och skall ofta rapporteras till tillsynsmyndighet efter projektet avslutats.

## TEST PROTOCOL

### Dewatering and Confinement

## TenCate Geotube<sup>®</sup> Cone Test

### Required Equipment for the Geotube<sup>®</sup> Cone Test

Two twenty litres plastic buckets  
 Plastic cups  
 One litre measuring cups  
 100ml graduated cylinder  
 46cm diameter Geotube<sup>®</sup> fabric

Spring loaded hand clamps  
 Hand mixer (to make neat polymer to solution)  
 Syringes  
 Latex gloves  
 Hand sanitizer

### A Fast and Easy Way to Gauge Sludge Dewatering by Geotube<sup>®</sup> technologie

Objectives of the test are:

- ✂ Determine how well a sludge sample dewateres
- ✂ Evaluate the efficiency of the candidate polymers
- ✂ Predict the percent moisture remaining in the sludge after dewatering
- ✂ Measure the time it takes for free water to be released
- ✂ Evaluate the volume of remaining dry matter
- ✂ Evaluate the volume and the quality of the effluent



#### Step 1

Measure 100ml of water into 4 cups in which to make down polymer solution. This is usually an ample amount to conduct several 1-liter sludge tests. If sludge sample is high in solids by weight, a higher dose of polymer will be required.

#### Step 2

Make down neat polymer into 1.0%, .5%, .3% or .25% solution by adding neat polymer to each cup of 100ml of water. Vigorous shaking or mechanical mixing is required to invert the neat polymer into solution. If using an electric hand mixer, mix for about 10-15 seconds only. Allow the polymer solution to age for 15-20 minutes before adding polymer solution to the sludge samples. Repeat this make down procedure with other candidate polymers being tested.

#### Step 3

Wet the 46cm diameter Geotube<sup>®</sup> sample fabric, supplied by TenCate Geotube<sup>®</sup>, to eliminate surface tension. Fold the fabric to form a cone shape and clamp the cone onto a bucket.

#### Step 4

Fill a one litre measuring cup or beaker with the sludge to be tested. Determine a starting point for the polymer dosage in PPM and draw the required amount of polymer into a syringe. Example: Start with 40 PPM. If this dosage creates a good floc, test a lower dosage until the optimum dose is determined. Add the polymer solution to the 1 litre of sludge and begin to pour the sample back and forth between two 1-liter containers until a floc forms.

#### Step 5

Pour the liter of conditioned sludge into the cone filter. Time the free water flow through the cone and record. Remove the cone filter, roll the fabric back and forth, and examine how the cake releases from the fabric.



#### Step 6

Pour the filtrate from the bucket into a 1-liter container and measure the volume. Examine the filtrate for clarity and suspended solids. Repeat this procedure for all the candidate polymers. After determining the most efficient polymer in terms of time to dewater, volume of filtrate, and clarity of filtrate, proceed to Step 7.

#### Step 7

Collect a sample of dewatered sludge. Conduct a moisture content test to determine percent dewatered solids.



TENCATE INDUSTRIAL FABRICS  
Europe

## TEST PROTOCOL

### Dewatering and Confinement

## TenCate Geotube® Hanging Bag Test



### Required Equipment for the Geotube® Hanging Bag Test

Several 20 litre plastic buckets  
 Appr. 200 litre trash can to prepare the mix  
 Appr. 200 liter plastic effluent receiving basin  
 Variable speed electric drill with paint mixer attachment  
 (For 200 liter Hanging Bags –the long version- a filling pump could be used in stead of buckets)

Framework to hang the bags in  
 One 500ml beaker  
 Latex gloves  
 Hand sanitizer

## A Demonstration of Geotube® Dewatering Technology

The Geotube® Hanging Bag Test is a demonstration of sludge dewatering using a Geotube® container. The purpose of the test is to:

- ✂ Visualize the dewatering process
- ✂ Evaluate the efficiency of the selected polymer
- ✂ Analyze the clarity of the effluent
- ✂ Predict achievable percent solids

### Step 1

Collect approximately 60 - 90 litres of sludge. Mix the samples in a large container. A 200 litre trash can is a good choice to ensure uniformity. If the percentage of solids of the sludge is low, a larger sample may be needed.

### Step 2

Assemble the GDT frame and place a 150-200 litre plastic container or “tote” under the frame to catch the effluent. Hang a Geotube® Bag on top of the frame.



### Step 3

Polymer and dosage will have been determined from bench-scale testing. Make down the polymer into solution. Mix the polymer into the sludge sample using a variable-speed

TenCate Industrial Fabrics  
 Sluiskade n.z. 14  
 7602 HR Almelo

Postbus 236  
 7600 AE Almelo

T +31 (0)546 544 811  
 F +31 (0)546 544 490  
[www.tencate.com/geotube](http://www.tencate.com/geotube)

electric drill and paint mixer attachment until floc is formed.

#### Step 4



Fill the Hanging Bag by pouring conditioned sludge into it. A smaller bucket and funnel can be utilized to facilitate this process

#### Step 5

Continue to fill the Hanging Bag with conditioned sludge as rapidly as possible. Collect effluent samples from the corner of the bag. The effluent should be examined for clarity and samples can be taken for testing if so desired.



#### Step 6

After the Hanging Bag has had one hours time to dewater, a sample of dewatered sludge can be collected to determine moisture content and percent dewatered solids. After 24 hours, 1 week, 2 weeks and 3 weeks the same should be done. The findings may be extrapolated to estimate the results of a full scale project. The Hanging Bag Test also can be used to conduct a mass-balance analysis.



# TENCATE® Geotube®

## TenCate Geotube® MDS

A Mobile Dewatering System that works anywhere for almost any Application

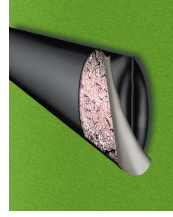
TenCate Geotube® MDS technology allows you to set up an effective dewatering station in a small place, to you manage sludge onsite in areas where you thought there wasn't enough room. Standardized GeoPort® fittings make connections for pumping simple.

### How Geotube® MDS Technology works



**1. Containment** Sludge is being pumped into the TenCate Geotube® MDS bag/ Low-cost, environmentally safe polymers are added to the sludge, which makes the particles bind together.

**2. Dewatering** Excess water simply drains from the TenCate Geotube® system. Water quality is often good enough to return to waterways without additional treatment.



**3. Consolidation** Solids remain in the bag. Volume reduction can be more than 95%. When full, the TenCate Geotube® MDS bag and contents can be deposited at landfill or incineration plant.



### TenCate Geotube® MDS Technology in Action



1. Raw sludge before treatment
2. Flocculated sludge
3. Clear effluent filtered through TenCate Geotube® MDS bag.

**A TenCate Geotube® MDS bag is made to measure.**

With our advice you can be sure that the bag fits to your container, as well as to your dewatering requirements.



**Find out what TenCate Geotube® MDS can do for you.**



With our **Rapid Dewatering Test** you can quickly tell how fast and how well your sludge dewater. You will know in a matter of minutes and without any complicated action. For a more comprehensible analysis our **Hanging Bag Test** evaluates 20 to 60 liters of waste water or sludge and allows you to accurately estimate effluent quality end dewatering rates.

**Contact us now at:**

**TenCate Geosynthetics B.V.**

**Sluiskade N.Z. 14**

**7602 HR ALMELO**

**THE NETHERLANDS**

**TEL. +31 546 544 425**

**[WWW.GEOTUBE.COM](http://WWW.GEOTUBE.COM)**



**Consider the benefits:**

1. Fits where ever you can place a standard container
2. Over 95% solids removal
3. Installation in minutes
4. No capital investment
5. Controls odors
6. Easy unloading
7. No secondary handling
8. Can be moved from location to location
9. Serves as temporary on-site dewatering system

