

---

Metoder för omhändertag-  
anade av vattenverksslam

---

# Metoder för omhändertagande av vattenverksslam

*Johanna Blomberg, Stockholm Vatten AB  
Rapport Nr 4, januari 1999*

## SAMMANFATTNING

I beredningsprocessen av dricksvatten genereras årligen ca 1800 ton ts aluminiumhaltigt kemslam vid Stockholm Vattens vattenverk. Idag leds allt slam ut till Mälaren men enligt ett beslut taget inom bolaget (1992) och enligt resultatmål 2:6 skall en lösning på slamproblemet finnas år 2000. Arbetet har pågått under flera år men hösten 1997 organiserades allt under ett huvudprojekt med titeln "Vattenverksslam". Syftet med denna rapport (och delprojekt) var att sammanställa olika metoder för omhändertagande av vattenverksslam samt redogöra för- och nackdelarna med respektive metod. Rapporten är baserad på inhämtade uppgifter från litteratur, artiklar, muntliga kontakter, konferenser och annat material inom ämnesområdet. Sammanlagt 77 referenser och källor har behandlats. I denna sammanställning ingår även ett avsnitt om slamsituationen i andra länder.

Målsättningen var att identifiera en eller ett par mer lämpliga metoder för Stockholm Vatten. Under projektets gång har dock vissa strategiska val av behandlingsmetoder gjorts i huvudprojektgruppen för att vinna tid, vilket har påverkat utfallet av denna inventering. Med hänsyn till främst teknik och praktiska förutsättningar för Stockholm Vatten, men även miljö och ekonomi, har följande rangordning gjorts för de olika alternativen:

*Prioritet 1 Vidareutveckling av metoderna i egen regi*

- Minska eller upphöra med slamproduktionen
- Överledning till avloppsreningsverk
- Inarbetning i mark/jordtillverkning

*Prioritet 2 Fortsatt bevakning och eventuellt stödja försöksverksamhet*

- Användning inom jordbruket (för att undvika fosforläckage och som jordförbättringsmedel)
- Vassbäddar
- Tegelstenstillverkning

*Prioritet 3 Fortsatt bevakning*

- Återvinning av fällningskemikalie (bl a KREPRO)
- Användning inom jordbruket (som gödningsmedel)

*Prioritet 4 Inget alternativ för Stockholm Vatten*

- Kommunal deponering
- Fällningskemikalie i avloppsreningsverk (surgjort slam)
- Förhindra sulfidbindning i avloppsledningar mm (järnhaltigt slam)
- Användning inom skogsbruket
- Cementtillverkning (även om metoden är intressant så finns ingen marknad)



# INNEHÅLL

	<u>Sid</u>
1	INLEDNING..... 5
2	BAKGRUND..... 5
3	ARBETSMETODIK ..... 5
4	SLAMHANTERING I ANDRA LÄNDER..... 6
4.1	Inom EU..... 6
4.1.1	Nederländerna ..... 7
4.1.2	Storbritannien..... 7
4.1.3	Spanien..... 7
4.1.4	Portugal..... 8
4.1.5	Danmark..... 8
4.1.6	Belgien..... 8
4.1.7	Luxemburg..... 9
4.1.8	Tyskland..... 9
4.2	...och så Norge ..... 9
6	BESKRIVNING AV OLIKA DISPONERINGSMETODER ..... 12
6.1	Minska slammängden..... 12
6.2	Inarbetning i mark/tillverkning av anläggningsjord..... 13
6.3	Användning inom jordbruket..... 13
6.4	Vassbäddar ..... 15
6.5	Tegelstenstillverkning..... 16
6.6	Cementtillverkning..... 16
6.7	Återvinning av fällningskemikalie ..... 17
6.8	Användning inom skogsbruket ..... 19
6.9	Fällningskemikalie i avloppsreningsverk (surgjort slam) ..... 19
6.10	Deponering ..... 20
6.11	Förhindra svavelväte (H <sub>2</sub> S) bildning ..... 20
7.	RANGORDNING-SLUTSATS ..... 21
8	REFERENSLISTA..... 23
BILAGA	A: Projektorganisation för huvudprojektet ” Vattenverksslam” B: Kostnadsberäkning för inarbetning/jordtillverkning C: Kostnadsberäkning för återvinning enligt KREPRO D: Kostnadsberäkning för deponering på kommunalt upplag E: Undersökning av bindande egenskaper hos vattenverksslam tillsammans med cement (CBI, 1998)

## 1 INLEDNING

Omhändertagande (avyttring och disponering används också i denna rapport) av vattenverksslam (förkortat VVS) har inte lika hög prioritet som avloppsslam, varken av vattenbolag eller miljömyndigheter i Sverige. Detta är dock inget unikt för Sverige utan bilden är ungefär densamma i många andra länder, åtminstone om man skall tolka litteraturen, lagar och förordningar samt proceedings från konferenser i ämnet. Här bör tilläggas att det finns länder med hårdare krav och länder där man kommit längre i utvecklingen än i Sverige, exempelvis Nederländerna. Trots låg prioritet idag verkar alla vara rörande överens om skärpta restriktioner i framtiden, dels p g a myndighetskrav och höga deponiavgifter men även p g a ”dominoeffekten” dvs att de vattenverk som tar hand om sitt slam sätter press på de som inte gör det. Därför betonas ett behov av fortsatt forskning och utveckling inom området.

## 2 BAKGRUND

I beredningsprocessen av dricksvatten genereras årligen ca 1800 ton ts slam vid Stockholm Vattens vattenverk. Slammet utgörs av ca 50 % metallhydroxid (Fe eller Al) och ca 50 % organiskt material. Uppskattningsvis hamnar ca 85 % av slammet i sedimenteringen och resterande del i filterspolvattnet (*Blomberg, 1997*). Idag leds allt slam ut till Mälaren men enligt ett beslut taget inom bolaget (1992) skall en lösning på slamproblemet finnas år 2000.

Detta projekt ingår i huvudprojektet ”Vattenverksslam” vars projektorganisation framgår av *bilaga A*. Projektet sorterar under resultatmål 2:6 ”Vattenverkens slamproblem ska vara löst senast år 2000”. Syftet med projektet var att sammanställa olika disponeringsmetoder för vattenverksslam samt redogöra för och nackdelarna med respektive metod (med avseende på miljö, teknik och ekonomi). Målsättningen var att identifiera en eller ett par mer lämpliga metoder för ändamålet. Under projektets gång har dock vissa strategiska val av behandlingsmetoder gjorts i huvudprojektgruppen för att vinna tid vilket har påverkat utfallet av denna inventering.

## 3 ARBETSMETODIK

Denna rapport är baserad på inhämtade uppgifter från litteratur, artiklar, muntliga kontakter, konferenser och annat material inom ämnesområdet. I grunden ligger en litteratursökning på KTH från 1993, vilken har kompletterats med nyare material. En särskild litteratursökning inom ämnesområdet *cement- och tegelstenstillverkning* har genomförts på CBI, Cement- och betonginstitutet, i december 1998.

Rapporten är uppdelad i följande delar:

- Slamhantering i andra länder
- Kortfattad sammanställning av insamlade referenser (i tabellform)
- Beskrivning av olika avyttringsmetoder (inkluderar teknik, miljö och ekonomi) inklusive en rangordning

## 4 SLAMHANTERING I ANDRA LÄNDER

*Tabell 1. Sammanfattning av de vanligaste disponeringsmetoderna för vattenverksslam som tillämpas i olika länder (utan inbördes rangordning).*

Land	Metoder som tillämpas
Sverige	<ul style="list-style-type: none"><li>• Deponi (främst i vatten)</li><li>• Överlednings till avloppsverk</li></ul>
Nederländerna	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tegelstensindustri</li><li>• Cementindustri</li><li>• Deponi</li><li>• Djurfoder</li><li>• Sulfidbindning</li></ul>
Storbritannien	<ul style="list-style-type: none"><li>• Deponi</li><li>• Överlednings till avloppsverk</li><li>• Markbyggand</li><li>• Jordbruk</li><li>• Tegelinindustri</li></ul>
Spanien	<ul style="list-style-type: none"><li>• Deponi</li></ul>
Portugal	<ul style="list-style-type: none"><li>• Deponi</li></ul>
Danmark	<ul style="list-style-type: none"><li>• Deponi</li><li>• Överlednings till avloppsverk</li></ul>
Belgien	<ul style="list-style-type: none"><li>• Cementindustri</li><li>• Deponi</li><li>• Markbyggnad</li></ul>
Luxemburg	<ul style="list-style-type: none"><li>• Cementindustri</li><li>• Överlednings till avloppsverk</li></ul>
Tyskland	<ul style="list-style-type: none"><li>• Deponi</li><li>• Överledning till avloppsverk</li><li>• Jordbruk</li><li>• Markbyggnad</li><li>• Cementindustri</li><li>• Tegelinindustrin</li></ul>
Norge	<ul style="list-style-type: none"><li>• Deponi (främst i vatten)</li><li>• Överledning till avloppsverk</li></ul>

### 4.1 Inom EU

På ett möte i EUREAU kommission 2 (en nybildad kommission i samband med sammanslagningen av EUREAU och European Waste Water Group, EWWG) i Lissabon i september 1998 hölls ett seminarium om vattenverksslam. Medlemmarna i EU1 uppmanades till detta möte att göra en nationell sammanställning om hanteringen av vattenverksslam i landet. Jan Hjort representerade Sverige i frågan. Nedan följer en sammanfattning från ländernas bidrag med undantag för Tyskland där uppgifterna bl a är hämtade från en artikel i tidskriften *Abwasser* (Barthlmé et al, 1997) och rapporter från DVGW (1998). Vissa avsnitt har kompletterats med andra källor.

#### 4.1.1 Nederländerna

Ungefär 12 500 ton (ts) järnrikt slam produceras årligen vid vattenverken i Nederländerna (*Key-note i WQI, 1997*). För inte så många år sedan var deponi den enda lösningen för slammet. Idag är dock situationen helt annan. Ca 30 % av allt slam återanvänds på olika sätt och man tror att siffran kommer att öka till 55 % inom den närmaste framtiden. Bakom detta ligger dels lagstiftning och dels VEWIN, den holländska motsvarigheten till VAV. Enligt lag (sedan 1993) får endast material som varken kan återanvändas, återvinnas eller brännas läggas på deponi. Denna lag resulterade i att VEWIN startade ett privat avfallsbolag, Reststoffenuie BV (aktieägarna är vattenverken). Detta bolag samlar upp slam från vattenverken och distribuerar slammet vidare till lämpliga avnämare (*pers. medd. Koppers, 1997, Feenstra et al, 1997*).

Beroende på kvaliteten klassas vattenverksslam i fyra olika kategorier: 1) Avfall 2) Miljöfarligt avfall 3) Sekundärt råmaterial 4) Sekundärt byggnadsmaterial. Samtliga kategorier styrs av olika lagar. Och beroende på kvaliteten används slammet på olika sätt. Järnslam används som råmaterial vid produktion av cement, tegel (*Feenstra et al, 1997*) och för sulfidbinding samt flockningsmedel vid avloppsverk. Andra användningsområden är råmaterial vid produktion av djurfoder (främst pellets från avhärdningsanläggningar), byggnadsmaterial samt inom stål- och järnindustrin. Vattenverksslam används inte inom jordbruket!

Man tror att dricksvattenproduktionen kan bli mer miljövänlig genom att använda vattenverksslammet och övriga restprodukter (ex pellets) som råmaterial i andra produktionsprocesser, vilket man kommer att satsa på i framtiden. Man tror att certifiering kan uppmuntra detta (dvs certifiera återanvändning av slam och certifiering av miljöledningssystem).

#### 4.1.2 Storbritannien

Uppskattningsvis 160 000 ton slam produceras varje år. Merparten av slammet läggs antingen på deponi eller leds till avloppsverk via ledningsnät eller tankbil. Drygt 7000 ton används till annat, nämligen återställning av mark (reclaiming land; 2200 ton), användning inom jordbruk (3200 ton), tegelstenstillverkning (600 ton) och jordtillverkning (topsoil production; 375 ton). Andra alternativ (byggnads/konstruktionsmaterial, täckning av deponier och jordförbättringsmedel) undersöks i olika forskningsprojekt. Mest önskvärda alternativ för slammet i framtiden är användning inom jordbruket och/eller återställning av mark.

#### 4.1.3 Spanien

Dricksvattnet i Spanien är i huvudsak baserat på ytvatten (>80 %) och det vanligaste fällningsmedlet är aluminiumsalter (200 000 ton jämfört med 1500 ton järnsalter). Uppskattningsvis (baserat på vattenkonsumtionen) produceras 120 000-130 000 ton ts per år vid vattenverken. Slammet avvattnas främst med filterpressar och rejektvattnet återförs till inkommande råvatten. Merparten av slammet deponeras. Inget slam i Spanien används i cement- eller tegelstenstillverkning eller inom annat område, med undantag för Burgos där slammet komposteras.



#### 4.1.4 Portugal

Man har uppskattat den årliga slamproduktionen i landet till ca 25 000 ton för år 2000. Huvudparten läggs på deponi. Det finns inga konkreta planer för slamomhändertagandet i framtiden men man studerar vissa alternativ som förbränning och användning i byggnadsmaterial.

#### 4.1.5 Danmark

Dricksvattnet i Danmark produceras nästan uteslutande (ca 99 %) av grundvatten och således består slammet främst av järn- och manganföreningar. Den uppskattade mängden uppgår till ca 3000 ton ts/år. Det enda ytvattenverket producerar ca 750 ton ts aluminiumslam per år. I huvudsak tillämpas två avyttringsmetoder för slammet: deponi och överledning till avloppsverk. Det finns ingen tillgänglig uppgift om fördelningen mellan alternativen. Deponikostnaden (per ton slam, ej ts) uppgår till ca 30-70 EURO/ton slam (deponikostnad) + 45 EURO/ton slam (miljöskatt). Utöver detta tillkommer moms på 25 %. Kostnaden för att leda över slam till avloppsverk uppgår till ca 1,5-2,5 EURO/m<sup>3</sup> exklusive moms. Några kommuner har eller funderar på att lägga till en extrakostnad relaterat till tungmetallinnehållet i vattenverksslammet.

Det pågår viss forskning för att hitta andra disponeringsalternativ. Ett är att tillsätta järnslam i biogasanläggningar som använder träck som råmaterial. Järnet förhindrar bildning av svavelväte. Tanken är att kunna ersätta järnkloriden med järnslam. Nackdelen är att tungmetallinnehållet ökar i rötslammet vilket inte är önskvärt då rötslammet används på åkermark. Man har studerat möjligheten att använda järnslam i tillverkningsprocessen av tegelpannor och tegelsten. Järnslammet ger upphov till en rödare färg. Problemet är dock att kunna säkerställa en jämn tillsats av slammet för färgens skull. I dokumentet nämns även hur slammet har använts vid restaurering av eutrofierade sjöar. Genom att blanda in järnslam i sjöbottnar kan fastläggning av fosfor ökas. Problemen som har erfärits inkluderar hastig minskad algproduktion p g a för lite fosfor med temporär syrebrist som följd.

Utöver dessa alternativ kan nämnas att Köpenhamn Vatten, som producerar 70 Mm<sup>3</sup> dricksvatten per år (ca 900 ton slam), undersöker möjligheten att använda sitt järnhaltiga slam som råvara i cementindustrin (*pers. medd. Andersen, 1998*). Under 1999 förväntar man att försöken skall vara klara.

#### 4.1.6 Belgien

Information lämnades från de två största vattenverken i landet. Det ena, VMW, förser 2,5 miljon människor med dricksvatten. Den årliga slamproduktionen uppgår till 750 ton ts (grundvatten) och 1500 ton ts (ytvatten). Grundvattenslammet (järnhaltigt) avvattnas på torkbäddar och ytvattenslammet på filterpressar. Det mesta av slammet används i cementindustrin eller för markbyggnad. Det andra vattenverket, PIDPA, distribuerar dricksvatten till ca 1 miljon människor. Råvattnet är grundvatten och den årliga slamproduktionen uppgår till 4500 ton ts. Avvattning sker med centrifug eller filterpress. Hälften av slammet används i cementindustrin och resten deponeras (på sk monofills). Deponikostnaden har under de senaste tre åren legat på 100 EURO per ?? (varav 50 EURO i skatt). Kostnaden för att använda slammet i cementindustrin är mindre än 50 EURO per ??.

Deponering kommer att upphöra i framtiden och all vattenverksslam skall återanvändas. För att kunna klara detta har man studerat användning av VVS vid tegelstenstillverkning. Studier visar att ca 10 % järnslam och ca 5 % aluminiumslam (% av ts) kan tillsättas leran utan märkbara förändringar på analyserade kvalitetsparametrar. Vid högre tillsatser försämras mekanisk styrka samtidigt som frostkänsligheten ökar.

#### 4.1.7 Luxemburg

Slamproduktionen från ytvattenvattenverk (ett verk) uppgår till ca 200 ton per år (TS ca 27 %) och motsvarande mängd för grundvattenverk (flera små) är 50 ton (TS 2-5 %). Slammet från ytvattenverket (aluminium) används inom cementindustrin. Det avvattnas m h a centrifug och transporteras med bil 70 km till cementfabriken. Kostnaden för detta uppgår till 58.15 EURO/ton (27 % TS). Grundvattenslammet leds över till avloppsverk. Man kommer att titta på möjligheten att använda aluminiumslammet i avloppsreningsverk med syftet att fälla fosfor.

#### 4.1.8 Tyskland

Barthlmé et al (1997) redogör i sin artikel möjliga och lämpliga avyttringsområden för VVS. De skiljer på järnhydroxidslam från rening av grundvatten (grundvattenslam), kalkslam från avhärtningsanläggningar som slam från ytvattenverk (järn- och aluminium). De konstaterar att det sistnämnda slammet är svårast att bli av med. Kalkslam verkar vara mest attraktivt då det kan användas inom jordbruk, markbyggnad (landscaping) och cementindustrin. Grundvattenslam kan användas som råvara i cement- och tegelstensindustrin eller deponeras. Möjliga avyttringsmetoder för kemsam är markbyggnad eller deponi. De nämner även cement och tegel som tänkbara användningsområden men i nästa mening påpekar de att metoderna sällan tillämpas. I ett längre perspektiv tror författarna på termisk behandling av slammet.

DVGW har gjort en bra sammanfattning av möjliga användningsområden för olika restprodukter från beredning av dricksvatten (*DVGW Regelwerk, W221/III, 1998*) vilken återges i **tabell 2**. Obs! Jag reserverar mig för eventuella felöversättningar. Den nyfikne läsaren hänvisas till den tyska rapporten.

## 4.2 ...och så Norge

I Norge dominerar kemisk fällning (främst direktfällning på snabbfilter) som reningsmetod vid beredning av dricksvatten, både till antal anläggningar och till antal personer anslutna (*Storhaug & Paulsrud, 1998*). Främst används aluminiumsalter som flockningsmedel. Tillvägagångssättet för att omhänderta slammet är antingen *deponering i vatten* eller *överledning till avloppsreningsverk*. Det finns bara ett verk (Kismul i Bergen) som avvattnar (centrifug) och deponerar på tipp.

**Tabell 2.** En sammanställning av tänkbara användningsområden för olika restprodukter från beredning av dricksvatten. Källa: DVGW Regelwerk, W221/III, 1998.

Användningsområden	SLAMTYP				
	Fe/Mn -GVS	Fe-YVS	Al-YVS	Kalkslam	Kalkpellets
<b>Avloppsverk</b>					
- H <sub>2</sub> S bindning	+	+	-	-	-
- Fosfatfällning	+	+	o	-	-
- Slamavvattning	+	o	-	+	-
- Tillverkning av fällningskemikalie	+	o	?	-	-
- Kompostering med avloppsslam	?	?	?	+	?
<b>Jord- och skogsbruk</b>					
- Kompenserande jordkalkning	-	-	-	+	+
- Jordförbättringsmedel	o	o	?	+	+
- Kalkgödselmedel	-	-	-	+	+
<b>Industriella områden</b>					
- (Mur)Bruktillverkning	-	-	-	-	+
- Cementproduktion	+	+	+	+	+
- Kalkframställning	-	-	-	+	+
- Tegeltillverkning	+	+/o	+/o	-	-
- Växtnäring	o	o	o	-	-
- Boskapsfoder	+	?	-	-	+
- Fyllnadsmaterial	-	-	-	+	+
- Gatubyggnadsmaterial	-	-	-	-	?
- Tillverkning av fällningsmedel	o	o	o	-	-
- Metallurgi	+	+	-	+	+
<b>Miljöteknik</b>					
- Kompostframställning	?	?	?	o	?
- Sjörestaurering	o	?	-	o	o
- Landskapsarkitektur, återställning av gruvbrott och deponier	+	+	+	+	+
- Fastläggning av tungmetaller	o	o	o	o	o
- Gasrening: H <sub>2</sub> S	+	-	-	-	-
- Gasrening: SO <sub>2</sub>	-	-	-	+	+
- Nyttjande i kolkraftverk	o	+	+	?	+

Fe/Mn GVS=Fe/Mn haltigt grundvattenslam

Fe YVS=järnhaltigt kemslam från ytvattenverk

Al YVS=aluminiumhaltigt kemslam från ytvattenverk

+: möjligt

o: att testa i enskilda fall

-: inte möjligt

?: frågetecken

## 5 SAMMANSTÄLLNING AV REFERENSER

I *tabell 3* har samtliga referenser insortrats under ett antal olika disponeringsmetoder för vattenverksslam. Syftet med tabellen är att få en snabb överblick om fördelningen av referenserna mellan de olika metoderna. Samtliga referenser är angivna med en siffra som återfinns i referenslistan.

*Tabell 3. En kortfattad översikt av insamlade artiklar och litteratur, uppdelat på ett antal olika disponeringsmetoder.*

Disponeringsmetod	Litteratur och andra referenser
<b>Minskad slamproduktion</b>	Hansen et al, 1993; Lind, 1993; Nordström-Enkel, 1997; Hoffman, 1997 (pers. medd.)
<b>Inarbetning i mark/-jordtillverkning</b>	Ohlsson et al, 1997
<b>Överledning till avloppsreningsverk</b>	Blomberg, 1997; Nordén & Engdahl, 1995.; Öman, 1998; DVGW Regelwerk, W221/IV, 1998; Dammmann & Benzinger, 1995
<b>Vassbäddar</b>	Ljungqvist, 1998 (pers. medd.)
<b>Spridning på åkermark</b>	AWWARF, 1995; Bertholdsson, 1997; Elliott & Dempsey, 1991; AWWARF, 1990; Jonasson, 1995; Jonasson, 1995; Linderholm, 1997; Lucas et al, 1994; Parsons, 1993; Persson, 1994; Proceedings WEF/AWWA Conference 1999
<b>Tegelstenstillverkning</b>	AWWARF, 1990; Cone & Powergas, 1976; Feenstra et al, 1997; Migneault, 1988; Koppers, 1997 (pers. medd.)
<b>Cementtillverkning</b>	AWWARF, 1990, CBI, 1998; Dall & Scheibe, 1995; Lubarski et al, 1996; Sabo, 1997; Andersen, 1998 (pers. medd.); Pettersson, 1998 (pers. medd.)
<b>Återvinning av fällningskemikalie</b>	
• <b>KREPRO</b>	Hellström, 1998; Pettersson et al, 1994
• <b>Olika separations-tekniker</b>	Berg, 1976; Berg, 1976; Bishop et al, 1989; Bishop et al, 1989; Cornwell, 1994; Cornwell & Susan, 1979; Ericsson & Lundberg, 1970; Hallquist & Weijman-Hane, 1965; Juhna, 1997; Roberts & Roddy, 1960; Wang & Wu, 1988; Proceedings WEF/AWWA Conference 1999; Hjort, 1998 (pers. medd.)
• <b>Membranteknik</b>	AWWARF, 1997; Sengupta, 1992; Winde, 1997
<b>Spridning i skogsmark</b>	Geertsema et al, 1994; Grabarek & Krug, 1987
<b>Fällningskemikalie vid avloppsverk (surgjort slam)</b>	De Blois, 1997; Heijman et al, 1995; Key-note i WQI, 1997
<b>Deponering</b>	AWWARF, 1987; AWWARF, 1992; AWWARF, 1991
<b>Sulfidbindning</b>	AWWARF, 1990, Knutzen et al, 1997; Benzinger & Dammmann, 1995; Dammmann & Benzinger, 1995, Koppers, 1997 (pers.medd)
<b>Allmänt om vattenverksslam och olika disponerings-metoder</b>	AWWARF, 1987; AWWARF, 1989; AWWARF, 1990; Barthlmé et al, 1997; Ericsson et al, 1969; Juhna, 1997; Reh, 1980; Storhaug & Paulsrud, 1998; VAV P67, 1991; Berg, P, 1976; Berg, P, 1976; Warden, 1983; Dharmappa et al, 1997; DVGW Regelwerk,

## 6 BESKRIVNING AV OLIKA DISPONERINGSMETODER

Här följer en beskrivning av ett antal olika disponeringsmetoder för vattenverksslam. Några kan beskrivas som kvittblivningsmetoder, andra som återanvändning- och återvinningsmetoder. Överledning till avloppsreningsverk, den metod som Stockholm Vatten har valt att satsa på i första hand, finns ej redovisad i denna rapport utan läsaren hänvisas till slutrapporten om fullskaleförsök på Bromma reningsverk (*Öman, 1998*). DVGW har även gett ut en intressant rapport om överledning DVGW Regelwerk, W221/IV, 1998.

De flesta metoderna är beskrivna m a p *teknik, miljö* och *ekonomi*. Under *teknik* ingår metodbeskrivning samt exempel. Under *miljö* tas de yttre miljöeffekterna upp som metoden kan tänkas generera, exempelvis transporter. Under *ekonomi* redovisas faktorer som kan påverka kostnaden, kostnadsuppgifter som redovisats i litteraturen eller andra kostnadsuppskattningar. Stockholm Vatten har gjort en kostnadsberäkning för alternativen inarbetning/jordtillverkning, återvinning enligt KREPRO och deponering på kommunalt upplag. Dessa finns redovisade i *bilaga B, C och D*. Den första metoden som nämns, 6.1 Minska slammängden, är egentligen ingen avyttringsmetod utan den angriper själva källan, dvs slamproduktionen.

En sammanfattning och en rangordning av de olika alternativen finns redovisat under kapitel 7.

### 6.1 Minska slammängden

Att minska på slamproduktionen eller t o m upphöra med kemisk fällning på vattenverken skulle lösa slamfrågan på ett mycket smidigt sätt (*Lind, 1993*). Slamproduktionen är starkt beroende av kemikaliedosen, ju högre dos desto mer slam. Med dagens fällningskemikalie, aluminiumsulfat, finns det ganska små marginaler vad gäller just optimering av dosen trots att både Lovö och Norsborg faller vid något högt pH (6,8-7,0). Optimalt fällnings-pH ligger vid ca 6,2. Lab- och pilotskaleförsök har visat att dosen kan sänkas max 10-20 % (det högre värdet är sannolikt överskattat) i kombination med syratillsats med bibehållen NOM-reduktion och låg aluminiumrest, vilket minskar slamproduktion med samma storlek.

Kemira Kemwater har vid ett par tillfällen utfört omfattande fällningsförsök (1-liters bägare) med alternativa fällningskemikalier på såväl Lovö som Norsborg (*Hansen et al, 1993; Nordström-Enkel, 1997*). I dessa försök har de inte kunnat hitta någon bättre (effektivare och billigare) kemikalie än ALG.

Det tyska kemiföretaget Sachtleben Chemie marknadsför en fällningskemikalie (märke Sactoklar) som kan minska slammängderna med 40 % jämfört med nuvarande kemikalie (pers. medd. Hoffman, 1997). Några försök har inte gjorts på Stockholm Vatten.

Det mest attraktiva alternativet vore naturligtvis att upphöra helt med slamproduktionen (från den kemiska fällningen). På Stockholm Vatten pågår två projekt med syftet att minimera

slamproduktionen, nämligen infiltration i grusåsar och ”det kemikaliefria” vattenverket. Det sistnämnda bygger på ozon, snabbfiltrering och långsamfiltrering, vilket skall testas i en pilotanläggning.

## 6.2 *Inarbetning i mark/tillverkning av anläggningsjord*

### Teknik

Jordtillverkning med inarbetningsmetoden innebär att stora mängder slam sprids och bearbetas in i matjorden på en begränsad markyta. Med stora mängder menas upp till 1000 ton ts per ha under en 5-10 års period. Tekniken är prövad på avloppslam (Ohlsson *et al*, 1997) med goda resultat. Däremot finns inga kända erfarenheter med VVS. Tänkbara användningsområden för tillverkad jord genom inarbetning av VVS är ex fyllnadsmassor i väglänter, mittresor, bullervallar, täkter, avfallsdeponier, industritomter och parkområden ett högt fosforinnehåll inte efterfrågas.

Ett försök med inarbetning påbörjades sensommaren 1998 vid Norsborgs vattenverk. Ungefär 600 ton slam (torrvikt) per hektar är planerat att inarbeta under en tre årsperiod. Försöket förväntas ge svar på metodens tillämpbarhet, års- och totalgivor, lämplig spridnings- och markbearbetningsteknik, slutproduktens kvalitet samt miljöpåverkan.

### Miljö

Tidigare studie på avloppslam (Ohlsson *et al*, 1997) med högt metall- och näringsinnehåll har påvisat mycket begränsat läckage till grundvattnet och med tanke på kvaliteten i VVS torde risken för läckage vara minimal. Själva anläggningsjorden torde inte heller utgöra någon risk för läckage av varken metaller eller näringsämnen (Ohlsson *et al*, 1997; Jonasson, 1995; Persson, 1994). Transportsträckan för slammet till inarbetningsytorna samt den tillverkade jorden till avnämaren är avgörande för hur miljövänlig produkten blir.

### Ekonomi

Årskostnaden (drift och kapital) är uppskattad till 3114 kkr (varav 1475 kkr som driftskostnad) (Hellström, 1998), se **bilaga B** för mer detaljer.

## 6.3 *Användning inom jordbruket*

VVS är inte lika attraktivt för spridning på åkermark i form av gödselmedel som avloppslam dels p g a dess begränsade växtnäringsinnehåll (ca 10 % av fosfor och ca 30-40 % av kvävet) och dels för ovissheten huruvida aluminium fixerar markens växttillgängliga fosfor eller inte (Elliott & Dempsey, 1991; Geertsema *et al*, 1994; Grabarek & Krug, 1987; Jonasson, 1995; Lucas *et al*, 1994). Flera undersökningar visar att fosfor binds upp av aluminium vilket dock kan kompenseras med fosfor gödsling (AWWARF, 1990; Elliott & Dempsey, 1991; Lucas *et al*, 1994). VVS har dock andra positiva effekter som mullbildning (Jonasson, 1995, Persson, 1994), pH-höjning (Jonasson, 1995, Persson, 1994) och vattenhållande förmåga (AWWARF, 1990<sup>a</sup>; Elliott & Dempsey, 1991). I jordar med lågt pH reduceras växten upptag av aluminium (Jonasson, 1995, Persson, 1994), vilket är positivt.

På sista tiden har man börjat diskutera användning av VVS för att förhindra fosforläckage från fosforrika jordar. På en kommande WEF/AWWA konferens (27-30 January 1999) i Charlotte, North Carolina, USA, handlar en session om ämnet "Phosphorus Control with Water Treatment Residuals".

I Georgia, USA, sprider man slam på åkermark i full skala (Parsons, 1993). Slammet blandas dock med kalk (ca 10-15 vikt%). Slammet håller en ts-halt på ca 35 % vid spridning. Givan uppgår till ca 12-37 ton ts/ha och på åkrarna odlas främst vallgröda (88 %) men även spannmål. Årligen sprider man ut 7 500 m<sup>3</sup> slam avvattnat slam, ca 35 % ts, vilket motsvarar ca 2 600 ton ts. Efter spridning sker ingen bearbetning. Spridning sker ca 2-3 ggr per år p g a begränsade lagringsutrymmen.

Av 143 tillfrågade vattenverk i Tyskland spred 8 st sitt slam på åkermark och ett verk i skogsmark. Denna undersökning gjordes 1986 (AWWARF, 1990<sup>b</sup>). Denna siffra har ej kunnat uppdaterats. I samma referens redovisas att Hamburg vattenverk årligen sprider ut 10 000 m<sup>3</sup> 6 % järnslam, d v s 600 ton ts på åkermark (lerjordar). Givan uppgår till ca 450 ton/ha (!!). Slammet plöjs ned. Detta har enligt referensen, som dessvärre inte har kunnat bekräftats, pågått under flera år.

a) sid 289-291, hänvisar till Bugbee and Frick, 1985

b) sid 291

### Teknik

SLU:s försök med att sprida avvattnat slam (TS ca 15-20 %) med konventionella maskiner visade att det var svårt att sprida slammet tillräckligt jämnt i växande gröda. Spridning av flytande slam (TS: 1-3 %) torde vara lättare. Fosforinnehållet är inte begränsande som vid spridning av avloppsslam. Spridning är endast tillåten under växtsäsong, 1/3-30/11 eller 1/6-15/10 som är mer rimligt med hänsyn till väder, vilket kräver slamlager. Naturvårdsverket har uppsatta riktvärden för metallinnehållet i slam (mg Me/kg ts) som ska spridas på åkermark men även för mängden metaller som får tillföras åkermarken (g Me/ha, år under en sju-årsperiod). För Stockholm Vattens vattenverksslam är nickel den begränsade metallen. För att kunna sprida ut Norsborgs årliga slamproduktion på Bornsjöegendomarna (uppgår till 1000 ha enligt muntlig uppgift från Lennart Qvarnström, Stockholm Vatten, krävs 75 % av den totala arealen.

### Miljö

Många studier tyder på att växternas fosforupptag försämras p g a att aluminiumslammet binder jordens fosfor men SLU:s studie (Jonasson, 1995, Persson, 1994) visade ingen eller måttlig effekt på mängden växtupptagen P i de undersökta jordarna. VVS tillför minimala mängder fosfor till marken men däremot lättillgängliga växtnäringssämnen, främst i form av kväve. VVS har en pH-höjande effekt i sura jordar samt en mullbildande effekt. Mängden upptaget Al i ovanjordiska växtdelar är låg och minskar t o m om VVS tillförs sura jordar (eftersom slammet höjer pH i jorden).

### Ekonomi

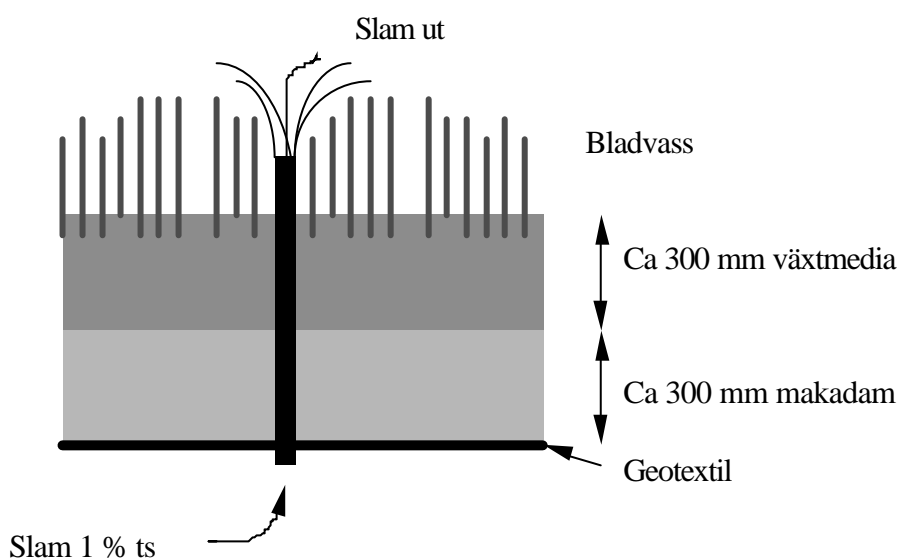
Starkt beroende på transportavstånd och tillgänglig teknik för spridning.

## 6.4 Vassbäddar

### Teknik

Behandling av avloppsslam med hjälp av vassbäddar är en metod som tillämpats sedan flera år tillbaka i bl a Sverige, Danmark, Tyskland och Frankrike (*pers. medd. Ljungqvist, VAI VA-projekt, 1998*). Metoden är relativt enkel. På en kontrollerad vassbevuxen yta beskickas slam (ca 1 % TS) intermittent, ca var fjärde vecka, året om. Slammet (1%) pumpas in underifrån (se **figur 1**). Genom torkning, frysning och uppluckring avvattnas slammet effektivt. Ytorna får växa till med ca 1 dm/år (ca 50 % ts). Totaldriften uppgår till ca 7-8 år/yta. För Norsborgs årliga slamproduktion (1000 ton ts) krävs 12 000 m<sup>2</sup> effektiv vassbäddsyta, exklusive vallar. Medräknat vallar (ca 2,5 x den effektiva ytan) uppgår den erforderliga ytan till ca 30 000 m<sup>2</sup>. I direkt anslutning till vattenverket finns 120 000 m<sup>2</sup> tillgänglig mark. Metoden är ingen slutgiltig behandlingsmetod utan ska snarare ses som ett mellanlager där slammet avvattnas, omstruktureras och reduceras i volym.

Nynäshamns kommun är först i Sverige med att tillämpa metoden på vattenverksslam. Anläggningen blev klar under hösten 1998.



**Figur 1.** Schematisk bild (tvärsnittssektion) av en vassbädd.

### Miljö

För Norsborgs vattenverk torde detta alternativ vara mycket intressant ur miljösynpunkt med tanke på den näraliggande marken. Positivt är också att metoden inte behöver föregås av något avvattningssteg som i sin tur är energikrävande. Lakvattnet från bäddarna samlas upp och beroende på kvaliteten kan det antingen ledas ut till Mälaren eller till reningsverk. Metoden kräver vidare hantering av slammet efter 7-8 års drifttid. Vilken hantering som väljs påverkar metodens miljövänlighet. Någon form av transport och bortförsl är aktuell.



## Kostnad

Enligt uppgift från VAI VA-projekt uppgår anläggningskostnaden till ca 1000 kr/m<sup>2</sup> (inkluderar filteryta, vass, vallar, vägar, botten och pumpar) vilket motsvarar ca 30 miljoner (20-30 års avskrivningstid). Bortförel av slammet från bäddarna och vidare hantering av produkten tillkommer.

## **6.5 Tegelstenstillverkning**

### Teknik

VVS, både järn- och aluminiumhaltigt slam, kan användas som råvara vid tegelstenstillverkning (AWWARF, 1990<sup>a</sup>, Cone & Powergas, 1976; Feenstra et al, 1997; Migneault, 1988; pers. medd. Koppers, 1997 samt avsnitt 4.1). I Nederländerna går en stor del av järnslammet till detta (Feenstra et al, 1997, och avsnitt 4.1.1). En järntillsats ger tegelstenen en rödare färg (likväl som kalk ger den en gulare färg). Enligt en Holländsk fullskalestudie var det lämpligt att tillsätta 5 volym % slam (motsvarar 3 % ts) i produktionen (Feenstra et al, 1997). Förutom den röda färgen förbättrades torkningsegenskaperna i detta försök. I en artikel från 1988 (Migneault, 1988) påstår författaren att Santa Clara Valley Water District är det enda vattenverket i USA som återanvänder, ”recycles”, sitt vattenverksslam (aluminiumhaltigt). Slammet används som råvara vid tillverkning av tegel hos företaget San Jose Brick Company. Man är dock tvungen att avvattna och torka slammet till 80 % ts för att det ska fungera i tillverkningen. Försök med aluminiumslam har även gjorts i Atlanta, Georgia USA (Cone & Powergas, 1976).

a) sid 283-286 hänvisar till Rolan, 1976, och Migneault, 1988.

### Miljö

Transportsträckan för det avvattnade slammet till tillverkaren blir avgörande för hur miljövänlig produkten blir. I Sverige finns två tegelbruk (inom Optirockkoncernen): Haga tegelbruk i Enköping och Kanik tegelbruk i Flädje, Bjärred. Bortsett från transporten är detta alternativ mycket attraktivt ur miljösynpunkt, med tanke på att aluminiumet (eller järn) kommer till användning och minskar behovet av annan råvara.

### Ekonomi

Om man kan ersätta vissa beståndsdelar tegelsten med vattenverksslam torde det finnas ekonomi med tekniken. Det förutsätter dock att kostnaderna för hantering (avvattning, lagring mm) och transporter inte överstiger kostnad för annat råmaterial. I Nederländerna betalar vattenbolagen 25 NLG (ca 100 SEK) per ton slam (ca 35 % ts), när slammet går till tegelstenstillverkning (pers. medd. Koppers, 1997). Deponiavgiften var 250 NLG (ca 1000 SEK) 1997.

## **6.6 Cementtillverkning**

### Teknik

Såväl järn- och aluminiumslam kan användas som råvara i cementproduktionen. Basråvarorna i cement är kalksten och lera. De kemiska komponenterna är CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> och Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (AWWARF<sup>a</sup>, 1990). Dessa kan variera beroende på vilken kvalitet som önskas.

Aluminiumcement tillverkas av ca 40 % bauxit ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) och ca 40 % CaO som bränns ihop tillsammans med lite järnoxider och kisel (*Lubarski et al, 1996*).

Enligt avsnitt 4.1 finns det länder som tillämpar denna metod i fullskala idag (Belgien och Luxemburg). I litteraturen finns även flera undersökningar i olika skala beskrivna (*AWWARF, 1990, CBI, 1998; Dall & Scheibe, 1995; Lubarski et al, 1996; Sabo, 1997*).

Försöken med att tillsätta järnhaltigt slam vid cementtillverkning, som Köpenhamn Vatten driver (se avsnitt 4.1.5), kommer att redovisas under 1999 (*pers. medd. Andersom, 1998*).  
*a) sid 298-299, uppgifter om Hamburg vattenverk.*

Enligt Cement- och Betong Institutet (CBI) tillverkas inget aluminatcement i Sverige, där vattenverksslammet skulle passa bäst in och de cementfabriker som finns (Slite, Skövde och Degerhamn på Öland) har ingen brist på aluminium i sina råvaror (*pers. medd. Petterson, 1998*). Aluminiumet fungerar ofta som accelerator i cementbaserade material (ex betong) vilket kan vara intressant inom vissa specifika områden. CBI erbjöd sig att genomföra ett enklare test för att undersöka om vattenverksslam har en bindande effekt tillsammans med cement (typ Slite Std P). Fyra olika slam-vatten-cement blandningar gjordes. Efter 14 dygn i konditioneringsrum var blandningarna fortfarande mjuka (se *bilaga E*). Det gick inte heller att blanda in slammet i betong (av 10 kg betong ersattes 1 kg med slam plus 0,42 l vatten) eftersom det totalt hindrade hårdnandet.

### Miljö

Transportsträckan för det avvattnade slammet till tillverkaren blir avgörande för hur miljövänlig produkten blir. Det finns ingen cementtillverkare i Stockholmsregionen, utan de finns i Slite (Gotland), Skövde samt i Degerhamn (Öland). Bortsett från transporten är detta alternativ mycket attraktivt ur miljösynpunkt, med tanke på att aluminiumet (eller järn) kommer till användning och minskar behovet av annan råvara.

### Ekonomi

I Luxemburg uppgår kostnaden för att avvattna (centrifug) och transportera slammet 70 km 58.15 EURO/ton (27 % ts), se avsnitt 4.1.7. Detta motsvarar ca 530 SEK (antagit 1 EURO=9 SEK). Enligt Köpenhamn Vattens beräkningar är det ekonomiskt rimligt att leverera slammet (900 ton per år) till cementindustrin (*pers. medd. Andersom, 1998*).

## **6.7 Återvinning av fällningskemikalie**

Tanken att återvinna fällningskemikalien ur vattenverksslam har lockat många under årens lopp. Redan 1970 publicerades en artikel i Vatten om "Återvinning av aluminiumsulfat vid ytvattenverk" (*Ericsson & Lundberg, 1970*) och ännu tidigare gjordes försök med aluminiumsulfatåtervinning på Alelyckan i Göteborg i regi av Chalmers Tekniska Högskola (*Hallquist & Weijman-Hane, 1965*). Men redan 1960 publicerades en artikel i Journal AWWA med titeln "Recovery and reuse of alum sludge at Tampa" (*Roberts & Roddy, 1960*). Jan Hjort har utfört liknande försök i två omgångar, på 70-talet och 1980.

Dokumentation saknas men enligt muntlig uppgift från Hjort fick man problem med höga rester av organiskt material (COD) i Al-lösningen. I de allra flesta studierna tillämpas återvinning i sur miljö (pH ca 2-4).

## Teknik

Det finns flera olika tekniker och ändamål med återvinning presenterade i litteraturen. Här görs en uppdelning enligt nedan:

- *Återvinning enligt KREPRO*

I KREPRO-processen (Hellström, 1998; Pettersson et al, 1994) produceras en aluminiumråvara för koagulantproduktion. Tekniken kräver ett avvattnat slam (15-20%), surgöring, tillsats av natriumsulfat, upphettning samt tre efterföljande avvattningssteg (centrifug). Råvaran (Al-hydrat) skall upparbetas i Kemiras fabrik för produktion av ex AVR. Svårigheten är att erhålla en metall- och organiskt ren råvara. Processen är mycket energi- och kemikaliekrävande samt att den genererar nya slam som måste omhändertas. Med KREPRO-processen skulle Stockholm vattens totala slam-produktion kunna minska med ca 30 % och den deponerade mängden med ca 60 %.

- *Återvinning genom olika separationsmetoder*

En enklare återvinningsvariant än KREPRO är att endast blanda slam och syra och sedan separera den lösta fraktionen från den fasta. Den lösta metallhaltiga fraktionen kan sedan användas som fällningskemikalie i antingen vatten- eller avloppsverk. Den fasta fraktionen deponeras. För att denna metod ska fungera måste det organiska innehållet och spårmetallinnehållet i VVS vara lågt annars hamnar de i metallösningen. Av den anledningen lämpar sig inte tekniken på vårt slam (pers. medd. Hjort, 1998; Juhna, 1997). I Durham, North Carolina, USA, finns en fullskaleanläggning i drift med den här tekniken (Bishop et al, 1989; Bishop et al, 1989; Cornwell, 1993). Vattenverket producerar ca 2 ton ts/dygn. Processen är enkel: 4 % slam blandas med svavelsyra i en tank. Klarfasen, Al-lösningen, pumpas till ett mellanlager och det olösta materialet avvattnas m h a centrifug. Det avvattnade sura slammet blandas med kalk och deponeras. Det framgår inte av artiklarna hur Al-lösningen fungerar som fällningskemikalie. På WEF/AWWA konferens om vattenverksslam [56] kommer ett föredrag om "Full-Scale Operational Experiences with Alum Recovery" att hållas. Övriga studier med liknande teknik presenteras i (AWWARF, 1990; Cornwell & Susan, 1979; Ericsson & Lundberg, 1970; Juhna, 1997).

- *Membranteknik*

Det första steget i denna teknik är upplösning av aluminium i VVS med svavelsyra. I Westbridge-modellen (Winde, 1997) separeras  $Al^{3+}$  från olösta partiklar och organiskt material i ett syratåligt sk CR-filter (Cross Rotational Ultrafilter). Denna teknik har dock endast testats i labbskala och Westbridge fick inte gehör hos VA-forsk när de sökte pengar för fortsatta studier. I en annan studie (AWWARF, 1997; Sengupta & Shi, 1992) presenteras ett liknande försök med kompositmembran för selektiv avskiljning av aluminium. Metoden fungerar enligt följande: 1) surgöring med svavelsyra 2) selektiv sorption av Al (III) på kompositmembranet 3) regenerering av det Al (III) laddade membranet med utspädd svavelsyra som bildar aluminiumsulfat som sedan kan användas som fällningskemikalie. Författarna till artikeln var mycket positiva till försökets utfall.

Utöver dessa tre alternativ finns en muntlig uppgift från Koppers, 1997, om ett verk i Nederländerna (Heerenveen i provinsen Friesland) som framställer järnklorid av järnslam och saltsyra. Produkten används sedan vid avvattning av avloppsslam.

#### Miljö

För Kemiras del innebär KREPRO en viss miljövinst eftersom dom slipper bryta bauxit samt att transportererna kan reduceras något. Men ur helhetssynpunkt är tekniken mycket tveksam p g a att processen är mycket kemikalie- och energikrävande samt att den genererar nya, svårhanterliga slam (Hellström, 1998). Övriga metoder har inte utvärderats ur miljösynpunkt.

#### Ekonomi

Årskostnaden (drift och kapital) är uppskattad till 4585 kkr (varav 2775 kkr som driftskostnad) (Hellström, 1998), se *bilaga C* för mer detaljer.

### **6.8           Användning inom skogsbruket**

#### Teknik

I en studie från USA (Grabarek & Krug, 1987) beskickades ytorna med slang (ts-halt ca 1,5 %). Slamgivan uppgick till ca 17,5 ton/ha. Slammet bearbetades inte ned i förnan. I en annan studie (Geertsema et al, 1994) spreds uppgick slamgivan till 23 ton ts per acre (motsvarar ca 57 ton ts/ha). Teknik okänd.

#### Miljö

Man har inte konstaterat ett hämrat fosofrupptag, aluminiumtoxicitet eller växthämning hos träd som en följd av VVS spridning (Geertsema et al, 1994; Grabarek & Krug, 1987). Bra alternativ om marken ligger nära vattenverken. Vid större avstånd ökar transportererna och samtidigt miljöbelastningen.

#### Ekonomi

Starkt beroende på transportavstånd och tillgänglig teknik för spridning.

### **6.9           Fällningskemikalie i avloppsreningsverk (surgjort slam)**

#### Teknik

VVS avvattnas vid vattenverket och transport till avloppsreningsverk där slammet blandas med syra för att lösa upp metallen. För att undvika skumning tillsätts ofta skumdämpande medel. Blandningen används sedan som fällningskemikalie på verket. Till skillnad från metoderna som beskrivs under avsnitt 6.7, punkt 2, görs ingen avskiljning av olöst material ur slam-syrablandningen innan den doseras på verket. Tekniken tillämpas på några ställen i Nederländerna (De Blois, 1997; Heijman et al, 1995) och enligt en Key-note under Reserach & Dvelopment i WQI, 1997 tror man att tekniken kommer att öka.

#### Miljö

Stor miljövinst om man helt eller delvis kan ersätta den befintliga fällningskemikalien vid verket (om den existerande fällningskemikalien i sig inte är ”miljövänlig”), särskilt om den kräver långa transporter. I SVAB:s fall är miljövinsten liten.

### Ekonomi

Starkt beroende på befintlig fällningskemikalie vid avloppsverket. I Stockholm Vattens fall är den ekonomiska vinsten liten p g a det låga priset på Heptahydraten, som för övrigt är en restprodukt vilket i sin tur är positivt ur miljösynpunkt.

## **6.10 Deponering**

### Teknik

Deponi kan ske på land (AWWARF, 1987; AWWARF, 1992) och i vatten (AWWARF, 1991). Det är en mycket enkel metod men kostsam. P g a VVS låga metallinnehåll behöver inte slammet deponeras på specialtipp. Det är tveksamt om slammet kan utnyttjas som täckmassor p g a dess konsistens efter avvattning. Sk ”mono-deponi” förekommer bl a vid Ringsjöverket (*pers. medd. Johansson, 1997*), i Tyskland och på flera håll i USA (AWWARF, 1987; AWWARF, 1992). Med mono-deponi menas en särskild deponeringsplats endast avsedd för VVS. I Ringsjön utnyttjas en gammal torvmosse dit man pumpar slam med 0,5-1 % torrhalt.

### Miljö

Långt ifrån en kretsloppshantering. Innebär mycket transporter.

### Ekonomi

Årskostnaden (drift och kapital) är uppskattad till 4365 kkr (varav 2875 kkr som driftskostnad) (*Hellström, 1998*), se **bilaga D** för mer detaljer.

## **6.11 Förhindra svavelväte (H<sub>2</sub>S) bildning**

### Teknik

Svavelväte kan bildas i exempelvis avloppsledningar och röt-kammare. Genom att tillsätta ett järnsalt kan man bli kvitt detta problem och istället bildas järnsulfider (ex FeS, FeS<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>S<sub>3</sub>). Det har även visat sig att järnslam kan användas för ändamålet (AWWARF, 1990) vilket bl a tillämpas i Nederländerna (*pers. medd. Koppers, 1997*). Denna metod har även studerats i Tyskland med positivt resultat (*Knutzen et al, 199?*; *Benzinger & Dammann, 1995*; *Dammann & Benzinger, 1995*). Så länge Stockholm Vatten använder aluminiumsalt och inte järnsalter som fällningsmedel kan detta inte tillämpas. Även om så var fallet torde en mycket liten mängd av Stockholm Vattens totala slamproduktion åtgå till ändamålet. Botkyrka kommun har dock visat ett intresse för att binda svavelväte i sina avloppsledningar (*pers. medd. Hellström, 1998*).

## 7. RANGORDNING-SLUTSATS

Med hänsyn till främst teknik och praktiska förutsättningar för Stockholm Vatten men även miljö och ekonomi har följande rangordning gjorts för de olika alternativen:

*Prioritet 1 Vidareutveckling av metoderna i egen regi*

- Minska eller upphöra med slamproduktionen
- Överledning till avloppsreningsverk
- Inarbetning i mark/jordtillverkning

*Prioritet 2 Fortsatt bevakning och eventuellt stödja försöksverksamhet*

- Användning inom jordbruket (för att undvika fosforläckage och som jordförbättringsmedel)
- Vassbäddar
- Tegelstenstillverkning

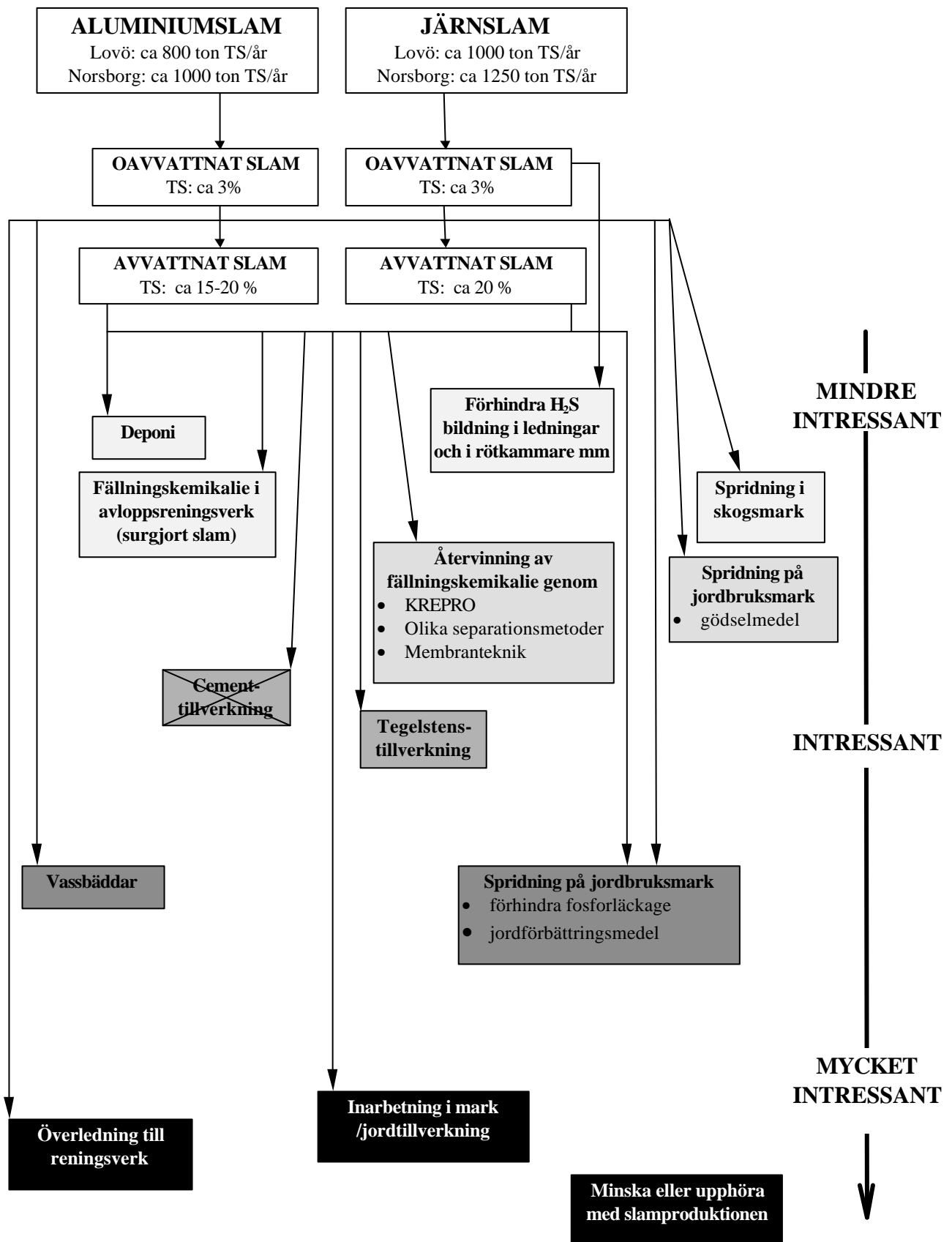
*Prioritet 3 Fortsatt bevakning*

- Återvinning av fällningskemikalie (bl a KREPRO)
- Användning inom jordbruket (som gödningsmedel)

*Prioritet 4 Inget alternativ för Stockholm Vatten*

- Kommunal deponering
- Fällningskemikalie i avloppsreningsverk (surgjort slam)
- Förhindra sulfidbindning i avloppsledningar mm (järnhaltigt slam)
- Användning inom skogsbruket
- Cementtillverkning (även om metoden är intressant så finns ingen marknad)

Rangordningen sammanfattas även i **figur 2** där det även framgår om metoderna är kopplade till en viss typ av slam (Fe- eller Al) och om de måste föregås av avvattning eller ej.



**Figur 2.** Sammanfattning och rangordning av olika disponeringsmetoder som behandlats i rapporten. Cementtillverkning är en intressant metod men enligt CBI finns ingen marknad (CBI, 1998; pers. medd. Petterson, 1998) därav överkryssat.

## 8 REFERENSLISTA

1. AWWARF (Water Works Association Research Foundation). (1987). Handbook of practice, Water treatment plant waste management.
2. AWWARF (Water Works Association Research Foundation). (1989). Sludge: Handling and disposal. Samling av artiklar.
3. AWWARF (American Water Works Association Research Foundation). (1990). Slib, schlamm, sludge.
4. AWWARF (American Water Works Association Research Foundation). (1990). Land application of water treatment sludges: impacts and management.
5. AWWARF (American Water Works Association Research Foundation). (1991). Alum sludge in the aquatic environment.
6. AWWARF (American Water Works Association Research Foundation). (1992). Landfilling of water treatment plant coagulant sludges.
7. AWWARF (American Water Works Association Research Foundation). (1995) An asseement of cropland application of water treatment residuals.
8. AWWARF (American Water Works Association Research Foundation). (1997). Selective alum recovery from water treatment residuals.
9. Berg, P. (1976). Behandling av slam från vattenverk. Del 1 Litteraturstudie och teori. CTH, publikationsserie B 76:2.
10. Berg, P. (1976). Behandling av slam från vattenverk. Del 2 Undersökningar. CTH, publikationsserie B 76:3.
11. Barthlmé, B. et al. (1997). Abfälle aus der Trinkwasseraufbereitung. Korres. Abwasser 1997 (44), nr 4.
12. Benzinger, S. & Dammann, E. (1995). Einsatz von Eisenhydroxidschlamm aus der Grundwasseraufbereitung zur Schwefelwasserstoffbekämpfung in der Abwasserbehandlung. Wasser-Abwasser 136, Nr. 5.
13. Bertholdsson, N-O. (1997). FePO<sub>4</sub> som fosforgödning till korn, ärt och raps. Rapport från Svalöf Weibull.



14. Bishop, M. M. et al. (1989). Testing of alum recovery for solids reduction and reuse. Artikel i AWWARF: Sludge: handling and disposal.
15. Bishop, M. M. et al. (1989). Alum recovery and sand drying bed studies at Durham, North Carolina. Artikel i AWWARF: Sludge: handling and disposal.
16. Blomberg, J. (1997). Fällning med vattenverksslam på avloppsvatten - ett labbskaleförsök. Intern rapport SVAB, nr 26 okt-1997.
17. Blomberg, J. (1997). Filterspolvatten från vattenverk. Intern rapport SVAB, nr 53 dec-1998.
18. Cement- och betonginstitutet (CBI). (1998). Undersökning av bindande effekter hos vattenverksslam. PM.
19. Churchill, W.M. (1994). Aspects of sewage sludge utilisation and impact on brickmaking. British Ceramic Transactions, Vol. 93, No. 4, 1994.
20. Cornwell, D. A. & Susan, J. A. (1979). Characteristics of acid-treated alum sludges. JAWWA, October 1979.
21. Cornwell, D et al. (1993). The benefit and performance of a full-scale alum recovery facility. Proceedings AWWA 1993 Joint Residual Conference dec 5-8, 1993, Phoenix, Arizona, USA.
22. Cone, J.R. & Powergas D. Use of alum sludge from water treatment as a brick additive. Proceedings from American Ceramic Society 78 th Annual meeting and exposition, Cincinnati, Ohio, May 1-6, 1976.
23. Dall, W. & Scheibe, W. (1995). Verwendung von stark hydroxidhaltigen Schlammen aus der Trinkwasseraufbereitung (Utilization of sludges containing hydroxides from drinking water production). Slutrapport. Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft fuer Verfahrenstechnik Freiberg.
24. Dammann, E. & Benzinger, S. (1995). Verwertung von Eisenhydroxidschlamm aus der Grundwasseraufbereitung in der kommunalen Abwasserbehandlung. Internrapport Hamburger Wasserwerke GmbH.
25. De Blois, Mark. (1997). Användning av dricksvattenslam som fällningskemikalie på reningsverk - förstudie. VBB Viak utredning.
26. Dharmappa, H.B. et al. (1997). Water treatment plant residuals management. Wat. Sci. Tech. Vol 35, No. 8, 1997.

27. DVGW Regelwerk, W221/I. (1998). Nebenprodukte und Rückstände aus Wasseraufbereitungsanlagen: Teil 1: Grundsätze und Planungsgrundlagen.
28. DVGW Regelwerk, W221/I. (1998). Nebenprodukte und Rückstände aus Wasseraufbereitungsanlagen: Teil 2: Behandlung.
29. DVGW Regelwerk, W221/I. (1998). Nebenprodukte und Rückstände aus Wasseraufbereitungsanlagen: Teil 3: Vermeidung, Verwertung und Beseitigung.
30. DVGW Regelwerk, W221/I. (1998). Nebenprodukte und Rückstände aus Wasseraufbereitungsanlagen: Teil 4: Einleiten und Einbringen von Rückständen aus Anlagen der Wasserversorgung in Abwasseranlagen.
31. Elliott, H. A. & Dempsey, B. A. (1991). Agronomic effects on land application of water treatment sludges. (1991). JAWWA, April 1991.
32. Ericsson, B. et al. (1969). Seminarium om avloppsfrågor vid vattenverk, 26 november 1969.
33. Ericsson, B. & Lundberg, B. (1970). Återvinning av aluminiumsulfat vid ytvattenverk. Vatten nr 4, 1970.
34. Feenstra, L. Et al. (1997). Reusing water treatment plant sludge as secondary raw material in brick manufacturing. Proceedings of the International Conference on the Environmental and Technical Implications of constructions with Alternative Materials, WASCON '97, Houthem St. Gerlach, the Netherlands, 4-6 June, 1997.
35. Geertsema, W. S. et al. (1994). Long-term effects of sludge application to land. JAWWA, November 1994.
36. Grabarek, R.J. & Krug, E.C. (1987). Silvicultural application of alum sludge. JAWWA, June 1987.
37. Hallquist, S. & Weijman-Hane, G. (1965). Aluminiumsulfatåtervinning. CTH, publikationsserie B 67:2.
38. Hansen, B, et al. (1993). Flockningsförsök på Norsborgs vattenverk 93-04-21—22 och Lovöns vattenverk 93-04-28—29. Utredning Kemira Kemwater.
39. Heijman, S.G. J., et al. (>1995). Ijzerhoudend drinkwaterslib: een tweede schakel tussen de dedrijfstacken drinkwater en afvalwater. Okänd källa.
40. Hellström, B-G. (1998). Utvärdering av kreproanläggning för vattenverksslam. PM Stockholm Vatten AB.

41. Jonasson, B. (1995). Förstudie till fältförsök med vattenverksslam på bevuxen mark - slutrapport. SLU, 1995.
42. Jonasson, B. (1995). Undersökning av vattenverksslams användbarhet på bevuxen mark - slutrapport. SLU, 1995.
43. Juhna, T. (1997). Water treatment residues handling at Daugava water treatment plant. Examensarbete 20 p vid KTH, 1997.
44. Knutzen, R. et al. (1997). Beseitigung von Sulfidproblemen in Abwasserkanälen durch Eisenhydroxidschlamm. Internrapport Hamburg Wasserverke GmbH.
45. Lind, C. B. (1993). Reduction of water treatment residuals by polyaluminium hydroxychloride coagulants. Proceedings AWWA 1993 Joint Residual Conference dec 5-8, 1993, Phoenix, Arizona, USA.
46. Linderholm, K. (1997). Fosfors växttillgänglighet i olika typer av slam, handelsgödsel samt aska. VA-forsk rapport 1997-6.
47. Lubarski, V. et al. (1996). Endurance test of aluminous cement produced from water treatment sludge. Vatten nr 1, 1996.
48. Lucas, J. B. Et al. (1994). Alum sludge land application and its effect on plant growth. JAWWA, November 1994.
49. Migneault W. H. (1988). Fresh water utility recycles its sludge - potential for brick-making. Biocycle, 1988, Vol 29, No 4.
50. Nordén, L. & Engdahl, M. (1995). Vattenverksslammets bidrag till föroreningshalter i Ryaverkets slam. Intern rapport, GRYAB, 1995:3.
51. Nordström-Enkel, A. (1997). Fällningsförsök i labbskala på Norsborgs vattenverk och Lovö vattenverk. Internrapport Kemwater.
52. Ohlsson, T. et al. (1997). Inarbetning av avloppslam - en metod att tillverka jord. NV-rapport nr 4823.
53. Parsons, J. M. (1993). A land application program for a water treatment plant sludge. Proceedings AWWA 1993 Joint Residual Conference dec 5-8, 1993, Phoenix, Arizona, USA.
54. Persson, B. (1994). Vattenverksslams inverkan på tillgängligheten av fosfor i marken. Examensarbete 20 p vid SLU, nr 91, 1994.

55. Pettersson, L et al. (1994). Utnyttjande av dricksvattenslam för att producera fällningskemikalier och på ett effektivt sätt återanvända slammet. Intern rapport Kemira Kemwater.
56. Reh, C. W. (1980). Disposal and handling of water treatment plant sludge. JAWWA, February, 1980.
57. Roberts, J. M. & Roddy, C. P. (1960). Recovery and reuse of alum sludge at Tampa. JAWWA, 1960.
58. Sabo, R. (1997). Origin, treatment and recycling of residues at the provincial and interurban drinking-water company of the Province of Antwerp (PIDPA). Water-Energie-Leefmilieu. 1997, 16(96).
59. Sengupta, A. K. & Shi, B. (1992). Selective alum recovery from clarifier sludge. JAWWA, January 1992.
60. Storhaug, R. & Paulsrud, B. (1998). Behandling og disponering av vannverksslam - forprosjekt. NORVAR-rapport nr 86/98.
61. Svenska vatten- och avloppsverksföreningen. (1991). Vattenverksslam. Publikation P67.
62. Tay, J-H & Show, K-Y. (1991). Properties of cement made from sludge. Journal of environmental engineering 117, nr 2.
63. Wang, L. K. & Wu, B. C. (1988). Recovery and reuse of filter alum and soda alum in a water treatment plant. Föredrag vid the 1988 Water Supply Symposium of the New York State Department of Health.
64. Winde, K. (1997). Al-sulfat återvinning. VA-forsk ansökan, nr 59-97 (avslag).
65. Warden, J. H. (1983). Sludge treatment plant for waterworks. Water research centre, Wrc. Technical report TR 189, March 1983.
66. Wastewater role for drinking water sludge. Key-note under Research & Development i WQI, september 1997.
67. WEF/AWWA JOINT RESIDUALS AND BIOSOLIDS MANAGEMENT CONFERENCE, 27-30 January 1999, in Charlotte, North Carolina, USA. Proceedings.
68. Öman, J. (1998). Överledning av vattenverksslam till avloppsreningsverk. Intern rapport SVAB, nr 24 1998.

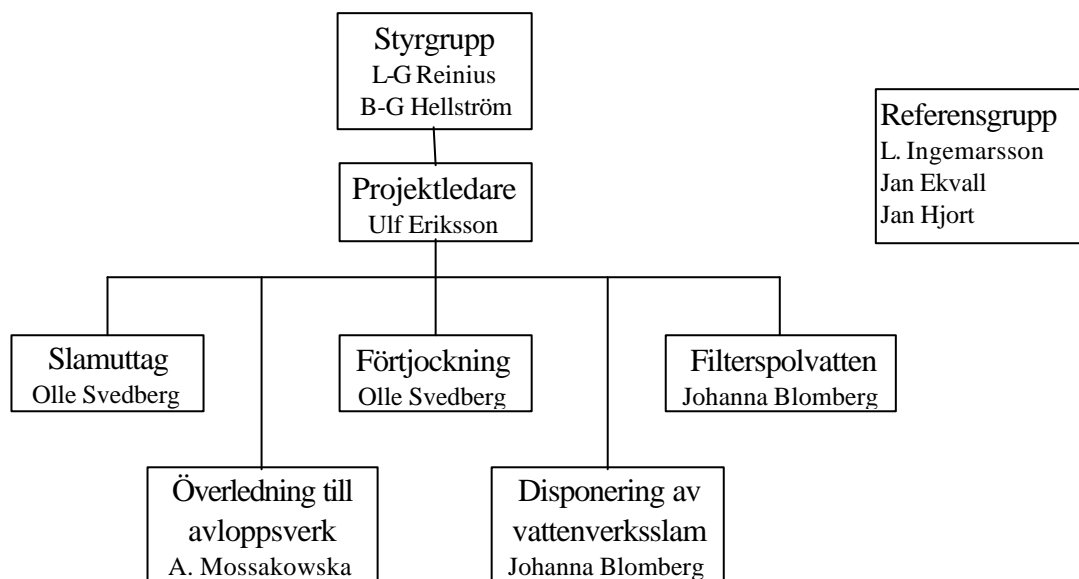
#### MUNTliga REFERENSER OCH KORRESPONDANS

- M1. *Andersen, Jens*. Köpenhamn Vatten, Danmark. December 1998.

- M2. *Hellström, BengtGöran*. Stockholm Vatten. 1998.
- M3. *Hjort, Jan*. Stockholm Vatten AB. November 1998.
- M4. *Hoffman, M*. Sachtleben Chemie. IWSA konferens i Madrid, September 1997
- M5. *Koppers, H. M. M.* fd KIWA, Nederländerna. September 1997.
- M6. *Johansson, Rolf*. Ringsjöverket, Sydsvatten. 1997.
- M7. *Pettersson, Karin*. Cement- och betonginstitutet, Stockholm. December 1998.
- M8. *Qvarnström, Lennart*. Stockholm Vatten AB. 1998.
- M9. *VAI VA Projekt*. Lars Ljungqvist. Informationsmöte. September 1998.

## SLAMPROJEKTET

Under 1992 fattade Stockholm Vattens styrelse beslutet att slamfrågan skall vara löst till år 2000. Sedan dess har ett antal försök genomförts för att erhålla kunskap om de olika delarna i ett omhändertagande, både förtjockning och uttag av slam från processen och kvittblivning eller återvinning. 1997 bildades ett formellt projekt med målet att i början av 1999 presentera en utredning som skall vara tillräcklig grund för att fatta beslut om hur slammet skall tas om hand. Projektet är organiserat som ett huvudprojekt med fem underprojekt.



KOSTNADSKALKYL FÖR OLIKA ALTERNATIV  
AVSEENDE OMHÄDERTAGANDE AV VATTENVERKSSLAM

ALTERNATIV 1 ÅTERVINNING ENLIGT KREPRO

Bas		Investering	kr
1000 ton TS slam		Utrustning	7850
Alunit 860 ton TS		Byggnad	3000
Hydroxidslam Ton/år	1200	Installation	8000
Organiskt slam Ton/år	800	Övrigt	1150
Deponi kostnad slam Kr/Ton	425		
(Deponikostnaden inkl.frakt)		<u>Summa Inv</u>	<u>20000</u>

Kapitaltjänstkostnad		Driftkostnad	kr
Bidrag	4500	Drift	1300
Investering SV	15500	Deponi hydslam	510
Räntesats	0,08	Deponi orgslam	340
Avskrivning	10 år	Frakt alunit	175
<u>Årlig kapitalkost.</u>	<u>2310</u>	Personal	450
		<u>Summa drift</u>	<u>2775</u>

**Sammanställning**

Kapitaltjänstkostnad	2310
Driftkostnad	2775
Intäkt alunit	-500
<b>Total årlig kostnad</b>	<b><u>4585</u></b>

KOSTNADSKALKYL FÖR OLIKA ALTERNATIV  
AVSEENDE OMHÄDERTAGANDE AV VATTENVERKSSLAM

ALTERNATIV 2 AVVATTNING OCH DEPONI

Bas		Investering	kk
1000 ton TS slam		Utrustning	3000
Ton avvattnat slam 20% TS	5000	Byggnad	2000
Deponikostnad Kr/Ton	425	Installation	4500
(Frakt ingår i deponikost.)		Övrigt	500
		<b>Summa Inv</b>	<b>10000</b>

Kapitaltjänstkostnad		Driftkostnad	kk
Bidrag	0	Drift	500
Investering SV	10000	Deponi slam	2125
Räntesats	0,08	Frakt slam	0
Avskrivning år	10	Personal	250
<b>Årlig kapitalkost.</b>	<b><u>1490</u></b>	<b>Summa drift</b>	<b><u>2875</u></b>

Sammanställning		kk
Kapitaltjänstkostnad	1490	
Driftkostnad	2875	
<b>Total årlig kostnad</b>	<b><u>4365</u></b>	



KOSTNADSKALKYL FÖR OLIKA ALTERNATIV  
AVSEENDE OMHÄDERTAGANDE AV VATTENVERKSSLAM

ALTERNATIV 3 AVVATTNING OCH INARBETNING

Bas		Investering	kk
1000 ton TS slam		Utrustning	3000
Ton avvattnat slam 20% TS	5000	Byggnad	2000
Inarbetskostnad Kr/Ton TS	725	Installation	4500
(Inarbetskostnad avser samt. kostnader)		Övrigt	500
		<u>Slamlager</u>	<u>1000</u>
		Summa Inv	11000

Kapitaltjänstkostnad		Driftkostnad	kk
Bidrag	0	Drift	500
Investering SV	11000	Inarbeting	725
Räntesats	0,08	Frakt slam	0
Avskrivning	10 år	Personal	250
<u>Årlig kapitalkost.</u>	<u>1639</u>	<u>Summa drift</u>	<u>1475</u>

Sammanställning		kk
Kapitaltjänskostnad	1639	
Driftkostnad	1475	
Total årlig kostnad	<u><u>3114</u></u>	



1999-01-07

Ref  
ATSTOCKHOLM VATTEN AB  
Johanna Blomberg  
Processenheten  
106 36 STOCKHOLM

## Vattenverksslamm

För att studera om vattenverksslamm från Lovö vattenverk har några bindande egenskaper tillsammans med cement har mindre provblandningar utförts. Slamm, cement (Slite Std P) samt vatten blandades till plastisk konsistens Efter blandning förvarades blandningarna i plastmuggar under plastfolie i konditioneringsrum med RF 100 %.

I följande tabell redovisas en sammanställning av de olika provblandningarna samt hur hårda proven var efter olika dygn.

Prov	Slam	Cement	Vatten	1 d	2 d	4 d
A	500	50	156	mjuk	mjuk	mjuk
B	500	75	134	mjuk	mjuk	mjuk
C	500	100	135	mjuk	mjuk	mjuk
D	500	150	137	mjuk	mjuk	mjuk

Ett nytt försök utfördes med inblandning av slamm i färsk betong. Av 10 kg betong ersattes 1 kg med slamm plus 0,42 l vatten. Efter 14 dygn var betongen lika lös som från början.

Resultaten visar att slammets inte har några bindande egenskaper. Det går inte heller att blanda in slammets i betong eftersom det totalt hindrar hårdnandet. Detta beror troligen på att slammets innehåller organiskt material.

Med vänlig hälsning

Cement och Betong Institutet  
CBI konsult

Anders Thorsén  
Ingenjör