

# Rödslam i svenska kraftdammar

Problematik och potentiella lösningar

***Simon Eng***

Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet,  
kandidatarbete, nr 627  
(15 hp/ECTS credits)

---



Geologiska institutionen  
Lunds universitet  
2021



# **Rödslam i svenska kraftdammar**

**Problematik och Potentiella lösningar**

Kandidatarbete  
Simon Eng

Geologiska institutionen  
Lunds universitet  
2021

# Innehållsförteckning

<b>Abstract</b> .....	<b>5,6</b>
<b>1 Introduktion</b> .....	<b>7</b>
<b>2 Bakgrund</b> .....	<b>7</b>
2.1 Påverkande parametrar	8
2.1.1 Geologi	8
2.1.2 Vattenkemi	8
2.1.3 Konstruktion	8
<b>3 Metoder</b> .....	<b>8</b>
2.1 Metod 1	7
2.1.1 Detaljer om Metod 1	8
2.2 Metod 2	9
<b>4 Resultat</b> .....	<b>9</b>
4.1 Enkätresultat	9
4.2 Litteraturstudie	9
4.2.1 Förändring av syrehalt	9
4.2.2 Kalklösningar	10
4.2.3 Inorganiska baktericider	10
4.2.4 Organiska baktericider	10
4.2.5 Mekaniska lösningar	10
<b>5 Diskussion</b> .....	<b>11</b>
5.1 Enkätsvarens betydelse	11
5.2 Utvärdering av metoder	11
5.2.1 Förändring av syrehalt	11
5.2.2 Kalklösningar	12
5.2.3 Inorganiska baktericider	12
5.2.4 Organiska baktericider	12
5.2.5 Mekaniska lösningar	13
<b>6 Slutsatser</b> .....	<b>13</b>
<b>7 Tack</b> .....	<b>14</b>
<b>8 Referenser</b> .....	<b>14</b>
<b>9 Bilagor</b> .....	<b>15</b>

# Sammanfattning

Simon Eng

E, Simon., 2021: Rödslam i svenska kraftdammar - Problematik och potentiella lösningar. *Examensarbeten i Geologi vid Lunds universitet*, Nr 627, 21 sid. 15 hp.

Många vattenkraftverk i Sverige är uppbyggda med dammar som är designade för att läcka en viss mängd vatten baserat på materialet de är byggda med. Flödet av läckagevattnet mäts för att säkerställa dammens funktion, men vid många kraftverksdammar är mätbrunnarna och dräneringsrör fyllda med en rödbrun sörja som kallas rödslam. Rödslandet gör det omöjligt att mäta flödet korrekt, och kan i värsta fall sätta igen dränagesystemet helt och hållet. Ett tidigare examensarbete fastställde att specifika järnbakterier var ansvariga för rödslandet, bakterier som utviner energi genom att oxidera vattenlösligt tvåvärt järn i vattnet till olösligt trevärt järn. För att bekämpa uppbyggnaden av järnbakterierna analyserades föreslagna lösningar från studier om andra branscher som också har problem med rödslam i dränagesystemen. Lösningar som förändrar syrenivåerna, sprider ut kalk, använder inorganiska eller organiska baktericider samt mekaniska lösningar analyserades baserat på deras effektivitet och miljöpåverkan jämfört med den lösning som kraftverk applicerar idag, spolning med högtryckstvätt. Den mest lämpliga lösningen var att sprida ut sågspån och bark från barrträd i dräneringsdiken vid kraftdammen, då denna metod har dokumenterad effekt inom jordbrukssektorn och studier visar att den har liten miljöpåverkan. Dessutom är metoden kostnadseffektiv då sågspån är en restprodukt från skogsbruket. Genom att kombinera denna lösning med spolning när det behövs finns det goda chanser att man kan säkerställa att flödesmätningarna fungerar samt minska den totala kostnaden för underhållet.

**Nyckelord:** Järn, bakterier, vattenkraft, vattenkemi

**Handledare:** Karl Ljung, Martin Hansson (AFRY) & Tina Pålsson (AFRY)

**Ämnesinriktning:** Kvärtärgeologi

*Simon Eng, Geologiska institutionen, Lunds universitet, Sölvegatan 12, 223 62 Lund, Sverige.*

*E-post: si7251en-s@student.lu.se*

# Abstract

Simon Eng

E, Simon., 2021: Iron ochre in swedish hydroelectric dams - Issues and potential solutions. *Dissertations in Geology at Lunds university*, Nr 627, 21 pp. 15 hp (15 ECTS).

Many hydroelectric plants in Sweden are built using dams that are designed to leak a certain amount of water based on the material they are built with. The flow of the leakage water is measured to ensure proper function of the dams, but at several dams the measuring wells and drainage pipes are clogged with a red-brown sludge called Iron Ochre. The build-up of iron ochre is caused by specific bacteria that oxidize soluble iron(II) in the water to insoluble iron (III). The iron ochre forms a thick sludge that can make flow measurements impossible, and at worst can clog up the drainage system completely. In this thesis, methods to combat the growth of bacteria were analyzed based on their efficiency and environmental impact with the aim of finding methods that can be applied at Swedish hydroelectric dams. The methods include changing the oxygen levels, applying lime, using inorganic or organic bactericides and physical solutions. The methods were compared to the existing solution of high-pressure washing with water. According to the evaluation, the most well-suited solution is to apply conifer sawdust and bark in the drainage ditches surrounding the dams. This solution has a documented effect in the agricultural sector and there are studies that suggest it has a low environmental impact. Sawdust and bark are waste products from logging industries, making the solution cost-efficient as well. By combining this solution with high-pressure washing when necessary, it is possible to ensure that proper flow measurements can be taken while decreasing the overall cost of maintenance.

**Keywords:** Iron, bacteria, hydroelectrical dams, water chemistry

**Supervisor(s):** Karl Ljung, Martin Hansson (AFRY) & Tina Pålsson (AFRY)

**Subject:** Quaternary Geology

*Simon Eng, Department of Geology, Lund University, Sölvegatan 12, SE-223 62 Lund, Sweden.*

*E-mail: si7251en-s@student.lu.se*

## 1 Introduktion

Vattenkraften är en viktig del av den svenska energiproduktionen, och för att säkerställa att tillgången kan möta efterfrågan är det av största vikt att ständigt iaktta och utvärdera vattenkraftverkens effektivitet och säkerhet. Alla vattenkraftverk bygger på principen att man kontrollerar energiproduktionen genom att tillåta eller hindra vattenflödet, vilket kan genomföras med en damm. Vissa dammar är tillverkade av betong, men ofta används morän som fyllnadsmassa, vilket medför en viss mängd läckage som samlas upp, varpå flödet kan mätas. Men på ett flertal dammanläggningar i Sverige har mätformågan av flödet försämrats kraftigt då mätbrunnar har satts igen av rödslam, en olöslig substans som är ett resultat av bakterier som oxiderar järn i vattnet (Hamrén 2013). Om flödet av läckagevatten inte kan mätas finns det en risk att större läckage inte upptäcks i tid, och om läckagerören täpps igen helt kan porttrycket i dammen öka, något som kan hota dammens säkerhet.

Det huvudsakliga problemet som uppstår till följd av rödslam är försvårad mätning av läckagevattnets flöde. Detta är till viss del ett resultat av den mätmetod som de flesta dammar i Sverige använder sig av, Thomsonöverfall (Hamrén 2013). Läckagevattnet transporteras av diken till mätbrunnen där gravitationen för vattnet genom Thomsonöverfallet, vilket är en vertikal skiva med en V-formad öppning, oftast med en vinkel på 90 grader (Hamrén 2013). Se Figur 1.

Vattenflödet mäts genom att en tryckmätare mäter hur högt upp på den V-formade öppningen vattnet står. Om mätbrunnen är fylld med rödslam som i bilden kommer vattenytan att stiga i öppningen utan att det faktiska flödet ökar, vilket leder till flödesmätningar som visar mycket högre skenbara (Hamrén 2013).

Dessa opålitliga flödesmätningar gör det svårare att med säkerhet avgöra hur mycket läckage som dammen släpper igenom, vilket kan vara ett säkerhetsproblem då ett högt flöde kan vara ett tecken på att dammen läcker mer vatten än förväntat.

Utöver att försvåra mätningar av vattenflöden finns det fall då rödslam har bildats i så stora volymer att dräneringsrören helt satts igen. Om detta sker kan inga mätningar av läckagevattnet göras, men en mycket allvarligare risk är att läckagevattnet infiltrerar dammen och ökar porttrycket (Hamrén 2013). Om detta sker kan dammens täthet hotas, vilket i värsta fall skulle kunna leda till mycket större läckage som inte går att mäta.

Enligt handledare på AFRY som har kontakt med flertalet dammägare är en vanlig lösning på problemen med rödslam att periodiskt spola ur mätbrunnarna och tillhörande rör. Detta är dock endast en temporär lösning som dessutom kräver en relativt stor och kostsam insats. Ett flertal olika lösningar har föreslagits i studier om rödslam, och inom andra branscher med samma problem appliceras lösningar som ännu inte har testats i Sveriges dammar. En av dessa branscher är jordbruket, där problem med rödslam i dräneringsledningarna är mycket vanligt och har undersökts av bland andra Ap Dewi (1985) och Ford (1993). För att minska problemen med rödslam rekommenderar de en rad möjliga lösningar som främst fokuserar på mark- och

vattenkemi, dräneringskonstruktion och baktericider som minskar bakteriernas tillväxt.

Jordbruk och kraftverk har stora skillnader i konstruktion och funktion, men dräneringssystemen som används tillsammans med dem har flera saker gemensamt, till exempel att vatten transporteras med hjälp av diken till samlingsbrunnar där flödet kan mätas. Inom båda branscherna uppstår problem i dessa samlingsbrunnar, vilket innebär att lösningar som är designade för jordbrukens dräneringssystem bör undersökas för att se om lösningarna kan appliceras vid svenska kraftverk

## 2 Bakgrund

I ett examensarbete skrivet 2013 i samarbete med SWECO utreder Anders Hamrén förekomsten av rödslam i mätbrunnar i svenska vattenkraftverk. I det arbetet fastställde han att bakterier i mätbrunnarna är källan till rödslammet. Bakterierna oxiderar tvåvärt järn i vattnet till trevärd järnoxider för att utvinna energi (Ap Dewi 1985). Eftersom tvåvärt järn och dess oxider inte är vattenlösliga fälls de ut och bildar tillsammans med bakterierna rödslammet. Mängden rödslam som produceras av bakterierna påverkas av en rad olika parametrar som är relaterade till



Figur 1 - Ett Thomsonöverfall som är fyllt med en problematisk mängd rödslam. Den stora volymen rödslam ökar det skenbara flödet av vatten, vilket leder till felmätningar. Foto av Simon Eng

bland annat förhållanden i omkringliggande miljö som vattnets kemiska egenskaper och konstruktionen av dammen och mätbrunnarna. I detta arbete kommer de parametrar som är mest relevanta för de möjliga lösningarna att tas upp, då flertalet parametrar inte är rimliga att påverka med avseende på dammägarnas målsättningar eller med avseende på rådande miljölag i Sverige.

## 2.1 Påverkande parametrar

### 2.1.1 Geologi

En geologisk faktor som kan påverka produktionen av rödslam är materialet som dammarna är konstruerade av (Ford 1993), då vattnet som samlas i mätbrunnarna passerar genom materialet. Enligt driftansvariga från norra Sverige påträffas inte problemet i kraftverk med dammar som är konstruerade av betong, vilket kan förklaras av att betong har betydligt lägre permeabilitet i jämförelse med vanliga fyllnadsmaterial som morän. Dammar kan ha delar som består av naturligt material, vilket kan variera från de artificiella delarna som generellt består av förbestämda fyllningsmassor i en specifik ordning (Hamrén 2013). Faktorer som kan vara relaterad till om dammen har naturliga delar är den organiska halten i jorden och den påföljande koncentrationen av humusämnen, lerhalten och kalkhalten.

Den organiska halten i fyllnadsmaterialet och halten av humusämnen kan påverka produktionen av rödslam av flera anledningar. En högre halt av humusämnen leder till ett lägre pH vilket i sin tur gör så att det tvåvärda järnet i vattnet inte oxideras innan det når järnbakterierna, vilket kombineras med att bakterier som gynnas av den organiska halten frigör järn från mineral i jorden (Ap Dewi 1985).

### 2.1.2 Vattenkemi

Syrehalten i vattnet påverkar järnhalten då syret kan oxidera tvåvärt järn i marken till trevärt järn innan det transporteras till mätbrunnarna (Ford 1993). Syrehalten i sig påverkas bland annat av att bakterier i materialet som vattnet transporteras genom använder syret för att bryta ned organiskt material, samt av hur vattenmättat materialet är. Om materialet är luftigt och inte står under vatten under längre perioder så finns det större möjlighet för vattnet att ta upp syre från luften som kan användas för att oxidera järn.

Det finns ämnen som naturligt kan förekomma i löst form i vattnet som i tillräckligt höga halter kan påverka förekomsten av rödslam, som koppar och kalk (Ap Dewi 1985).

Koppar kan verka som en effektiv baktericid, vilket kan minska förekomsten av järnbakterierna som skapar rödslam. Kalk förekommer mer i vissa material än i andra och kan agera som ett oxiderande ämne vilket kan minska mängden tvåvärt järn som är löst i vattnet (Ap Dewi 1985).

### 2.1.3 Konstruktion

Beroende på hur dammen är konstruerad kan det finnas aspekter som påverkar produktionen av rödslam samt hur svåra problemen blir. Till exempel kan materialet som dräneringsrören är tillverkade av leda till att rödslammet fäster mer till insidan av röret, vilket i sin tur påverkar hur snabbt rören sätts igen (Bryant et al. 1988). Vidare kan storleken och formen på öppningarna till dräneringsrören påverka hur snabbt rören sätts igen, möjligtvis på grund av att järnbakterierna lättare får fäste om kanterna på öppningen inte är släta (Ford 1993).

Vid en småländsk damm observerades en tydlig skillnad mellan de delar som bestod av naturlig jordmån och de delar som enbart bestod av fyllningsmassor, där mätbrunnarna som mätte läckagevatten från de

naturliga delarna hade mycket mer rödslam än mätbrunnarna vid de artificiella, se Figur 2. Detta kan vara ett resultat av en högre halt organiskt material i de naturliga partierna, eller en högre halt järn som kan lösas ut i vattnet.

Med avseende på barrträden som växte på de naturliga delarna är det rimligt att anta att jordmänen är sur till följd av en högre halt humussyror (Brantberg & Simonsson 2005). Lågt pH gynnar produktionen av rödslam, vilket innebär att det är möjligt att dammar som helt består av fyllningsmassor kan förväntas ha mindre allvarliga problem med rödslam.

## 3 Metoder

För att kunna bedöma om en potentiell lösning är rimlig för dammägare i Sverige att applicera behövs ett mått på hur de upplever problematiken. Om problemen



Figur 2 - Naturlig del av damm med barrträd kan ses till vänster, medan den artificiella delen kan ses till höger. Lågg märke till de röda fläckarna framför den vänstra delen. Foto av Simon Eng.

som uppstår på grund av rödslam är relativt harmlösa och enkla att åtgärda är det inte rimligt att föreslå lösningar som innefattar höga kostnader eller stora ombyggnationer då de nuvarande lösningarna då skulle vara att föredra.

Som en del av det här arbetet skickas en enkät ut till dammägare i Sverige med frågor som bör ge mer information om hur utspritt problemet är i Sverige samt hur stora problemen är vid olika anläggningar. En del av enkäten fokuserar också på hur dammägarna själva upplever problemen samt vad de gör för att åtgärda problemen som uppstår. En annan del av enkäten handlar om vattenprover och detaljer kring dammarna. Svaren på dessa frågor används i en annan studie och kommer därför inte tas med i detta arbete. Enkäten i sin helhet återfinns i bilaga 1.

Då problem med rödslam är vanligt i fler industrier än i kraftverk finns det ett flertal studier om sätt att förebygga och åtgärda problemen som uppstår. Med en litteraturstudie kommer potentiella lösningar sammanställas för att sedan analyseras och jämföras med



varandra. För att utreda om en potentiell lösning är passande för kraftdammar i Sverige kommer den här studien utgå från två bedömningskriterier:

#### 1: Effektivitet

En potentiell lösning ska förebygga eller ta bort rödslam minst lika effektivt som spolning, annars är det inte rimligt för dammägare att byta till dessa lösningar. Effektiviteten är bland annat baserad på hur snabbt lösningen kan ta bort rödslammet, minskningen av rödslammets uppbyggnad, hur länge brunnar och rör blir fria från rödslam och om lösningen kräver insatser som är mer tidskrävande och komplicerade än spolning.

#### 2: Miljöpåverkan

För att en metod ska kunna rekommenderas till dammägarna i Sverige får den inte resultera i koncentrationer av något ämne som överstiger Naturvårdsverkets gränsvärden i vattnet som släpps ut från mätbrunnen. Den potentiella lösningen får samtidigt inte skada omkringliggande natur mer än vad det nuvarande underhållet gör.

## 4 Resultat

Resultatet delas in i två delar, en del om svaren på enkäten och en del som sammanfattar de lösningar som hittades under litteraturstudien. Handledare på AFRY hjälpte till att välja ut vilka dammägare som enkäten skulle skickas ut till för att få så många användbara svar som möjligt och hjälpte även till med att utforma frågorna i enkäten för att anpassa språket till dammägarna.

### 4.1 Enkätresultat

På grund av säkerhetsskäl kan vissa av svaren på enkäten inte presenteras i denna rapport, men för de frågor som är relevanta med avseende på studiens syfte kommer svaren att sammanfattas nedan. 8 personer svarade på enkäten, men flera av respondenterna har kunskaper om fler än en anläggning, se Bilaga 1. För att förenkla hanteringen av svaren beskrev varje respondent endast den anläggning där problemen uppfattas som mest allvarliga.

Den första relevanta frågan angår om de har stött på problem med rödslam i någon av sina anläggningar, där sju av åtta svarade att de har nuvarande problem, och en svarade att de har haft problem tidigare men inte vet om problemen kvarstår idag. En av respondenterna som ansvarar för flera anläggningar lade till att problemen med rödslam har uppmärksammats i både södra och norra Sverige. Insamlade koordinater av anläggningarna visar att problemen med rödslam påträffas i mellersta och södra Sverige, samt längre norrut.

Frågorna som följer behandlar respondenternas upplevelse av problematiken, där samtliga respondenter upplever närvaron av rödslam som ett problem. Tre respondenter anser att problemen kan kategoriseras som små, medan fyra i stället upplever att rödslammet orsakar medelstora problem och en respondent uppger att de har betydande problem. Det vanligaste problemet är försvärad övervakning följt av igensättning av dränage. En av respondenterna rapporterar att arsenik kan samlas i rödslammet och utgöra ett arbetsmiljöpro-

blem, medan en annan respondent lyfter fram kostnaderna för att åtgärda problemen.

Svaren om hur ofta problemen behöver åtgärdas skiljer sig något men spolning av dräneringsrören sker en till ett par gånger per år. Rensning av mätbrunnarna är mycket vanligare att åtgärda, då flera respondenter svarar att de måste manuellt rensa ur brunnarna flera gånger i månaden. Flera av respondenterna lyfter fram att vissa anläggningar har större problem än andra, men att i flera fall så åtgärdas problemen inte lika ofta som det hade behövts.

Falsklarm är ett resultat av att Thomsonöverfallet sätts igen till den grad att den skenbara vattennivån höjs till nivåer som kräver att dammen kontrolleras. Två av respondenterna rapporterar att falsklarm förekommer flera gånger om året, där en av respondenterna svarar att i vissa anläggningar förekommer det flera gånger i månaden. En av respondenterna som svarade att falsklarm inte förekommer lägger till att larmnivåer inte har satts i den anläggningen, medan en annan respondent uppger att falsklarm inte förekommer om brunnarna rensas kontinuerligt. Det bör tilläggas att en av respondenterna som rapporterade falsklarm flera gånger om året också medgav att mätvärdena toppar varje vecka, inte tillräckligt för att utlösa ett larm men tillräckligt för att störa mätningarna.

Enligt respondenterna har inga lösningar prövats för att förebygga uppbyggnaden av rödslam, men när det kommer till att ta bort rödslam har respondenterna svarat att spolning och rensning av mätbrunnarna och dräneringsrören är tillräckligt för att få bukt med problemen. En av respondenterna uppger även att syra har använts för att ta bort rödslam som kristalliserats, men denna syrabehandling var effektiv endast som en temporär lösning tillsammans med spolningen.

### 4.2 Litteraturstudie

Potentiella lösningar som insamlats från litteraturen presenteras gruppvis baserat på mekanismerna bakom lösningarna. Sammanlagt sammanfattas möjliga lösningar från 10 studier som fokuserar på eller innehåller delar om sätt att minska uppbyggnaden av rödslam i dräneringsrör. Lösningar som använder baktericider nämns i flest studier, men även mekaniska lösningar och kalklösningar rekommenderas av mer än en studie.

#### 4.2.1 Förändring av syrehalt

Syrehalten i marken är en viktig mekanism vilken påverkar järnhalten i vattnet som kommer fram till järnbakterierna i dräneringsrören och mätbrunnarna, eftersom järnbakterierna använder syre för att oxidera tvåvärt järn och därmed utvinna energi (Hamrén 2013). Vidare så måste järnet i marken först reduceras om det ska kunna lösas upp i vattnet och transporteras vidare, en reaktion som en annan typ av bakterie i marken använder för att utvinna energi (Ap Dewi 1985). Dessa reducerande bakterier är inte de som orsakar uppbyggnaden av rödslam men är en viktig del av dess produktion.

Att förändra syrenivåerna i marken och vattnet som går genom dräneringssystemet har föreslagits som potentiella lösningar till problemen med rödslam, och det finns argument som talar för att både aeroba och anaeroba miljöer kan vara effektiva för att minska till-

växten av järnbakterierna. Genom att kraftigt syresätta marken som vattnet passerar genom kan man göra det enklare för tvåvärt järn i marken att oxideras och därmed inte lösas ut i vattnet, vilket gör det svårare för järnbakterierna att producera rödslam i dräneringsrör (Ford 1993).

En fördränning av marken kan öka syrenivån om man håller jorden luftig och motverkar tillförseln av vatten i minst 12 månader (Ap Dewi 1985), men syrenivån kan även ökas om man till exempel med en grävmaskin luckrar upp marken för att tillåta luften att infiltrera marken (Ford 1993). Den ökade syrenivån kan även göra det svårare för bakterier att reducera trevärt järn i mineral i marken, då de föredrar en syrefattig miljö (Ap Dewi 1985). Om det trevärda järnet i marken inte reduceras kan det inte lösas ut i vattnet som passerar och förs därmed inte vidare till dräneringsrör där järnbakterier skapar störst problem. Aeroba förhållanden i marken har potential att minska mängden tillgängligt järn i vattnet som når dräneringsrören, men anaeroba förhållanden har också möjlighet att förebygga uppbyggnaden av rödslam genom att försvåra oxidationen som järnbakterierna utför för att utvinna energi (Hamrén 2013).

Utan ett oxidationsmedel likt syre vilket kan göra tvåvärt järn till trevärt kan inte bakterierna fortplanta sig, men för att uppnå detta måste dräneringsrör och tillhörande dränagesystem läggas under vatten för att motverka att luft infiltrerar och tillför syre till vattnet (Hamrén 2013). Att förebygga oxidationen genom att motverka syretillförseln är endast passande vid vissa förhållanden, till exempel att flödet inte mäts med Thomsonöverfall samt att dränaget sker genom berggrunden (Hamrén 2013). Om dessa förhållanden inte förekommer finns det stor risk att vattnet syresätts även om dräneringsrören hålls under vatten, vilket skulle betyda att vattnet syresätts och järnbakterierna kan fortplanta sig (Hamrén 2013).

#### 4.2.2 Förändring av oxidationsförutsättningar med hjälp av kalk

För att oxidera tvåvärt järn i marken krävs närvaron av ett oxidationsmedel som syre. Även kalk kan agera som ett oxidationsmedel, och därför kan en ytlig applikation av kalk ha liknande effekter som en syresättning av marken (Ford 1993). Tester med ytligt kalk har genomförts i Florida men har inte lyckats minska uppbyggnaden av rödslam med den effektivitet som önskas inom jordbruket (Ford 1993). Kalket sprids ut vid ytan för att vatten som passerar genom jorden ska kunna föra det vidare och oxidera järn i mer än bara de ytliga lagerna. Det oxiderade järnet kommer inte lösas ut i vattnet och kommer därför inte nå järnbakterierna i dräneringsrören.

Kalkstensfragment kan även placeras lokalt kring dräneringsrörens öppningar för att öka pH-värdet och möjliggöra oxidationen av järn innan det kommer in i dräneringssystemet (Ap Dewi 1985), men det finns studier som pekar mot att detta inte är tillräckligt effektivt och dessutom kan täppa igen porsystemet runt dränageöppningarna (Ford 1973 & Kuntze 1982).

#### 4.2.3 Inorganiska baktericider

I stället för att förhindra oxidationen av tvåvärt järn finns det metoder som direkt attackerar bakterierna med baktericider. Koppar är en effektiv baktericid som har visat lovande resultat i studier utförda i Tyskland (Ford 1993). Dock finns det studier utförda i fält som pekar mot att kopparens effektivitet inte är lika stor praktiskt som den har varit laborativt (Ap Dewi 1985), något som studier i Florida visat där de även fick problem med utfällningar av svårlösta kopparsulfider som orsakade större problem än rödslammet som studierna ämnade att åtgärda (Ford 1993).

Om problemen med rödslam främst består av igenläggning av dränage finns det förslag på att konstruera dräneringsledningar med plattor som redan har en inbyggd baktericid som gör det svårare för järnbakterierna att få fäste (Ford 1993). Dock urlakas dessa plattor då baktericiderna löses ut i vattnet, vilket gör detta till en temporär lösning som har potential att släppa ut oacceptabla nivåer av miljöfarliga ämnen till omkringliggande vattendrag (Ford 1993).

Det finns även baktericider som fenoler, kloroform och silverniträt som har dokumenterad effekt på specifika bakteriestammar (Lacke & Wattie 1940), men det finns studier som tar upp att för många baktericider är de halter man skulle behöva uppnå för att nå ett tillfredställande resultat tillräckligt höga för att utgöra ett miljöhot (Thorburn & Trafford 1976, McIntyre 1978).

#### 4.2.4 Organiska baktericider

Det finns mer naturliga baktericider som sågspån och bark, vilka kan placeras så att vatten passerar genom det organiska materialet innan det går in i dräneringssystemet (Ap Dewi 1985). När barken bryts ned släpps låga halter av baktericider ut som motverkar uppbyggnaden av rödslam även under längre perioder, men det finns risker att vissa av ämnena som tanniner släpps ut i för höga halter (Ap Dewi 1985).

Det finns studier som visar att sågspån och bark från barrträd kan vara mycket effektivt för att motverka rödslam i dräneringsrör inom jordbruket, samt att halterna av fenoler som släpps ut är mycket lägre än om bark från lövfällande träd används (Vaughan *et al.* 1984). Sågspånet och barken från barrträden uppvisade en god förmåga att absorbera tvåvärt järn från vattnet och bibehålla det även när det organiska materialet bryts ned, vilket resulterade i att dräneringsrör som tidigare behövdes rensas två gånger om året förblev fria från rödslam (Vaughan *et al.* 1984).

#### 4.2.5 Mekaniska lösningar

Att med hjälp av högtryckstvätt spola bort rödslam är en effektiv metod om det appliceras regelbundet, då rödslammet blir svårare att ta bort med tiden och blir kristallint efter 12 månader (Ford 1993). För att hålla dräneringsrör och mätbrunnar fria bör de spolas ofta för att rödslammet inte ska få möjligheten att hårdna, men det finns inga indikationer på att varmt vatten bör användas, då rödslammets löslighet inte märkbart påverkas av vattnets temperatur (Ford 1993). Om ett dräneringsrör lämnas utan åtgärder i mer än ett år finns det studier som indikerar att spolning endast åtgärdar problemen under en kort period (Ap Dewi 1985).

Om för höga tryck används under spolningen finns

det en risk att det skadar underliggande fyllnadsmaterial som då kan följa med vattnet och hamna i vattendragen som dränaget leder till eller orsaka igensättningar av dränagerören (Ap Dewi 1985).

## 5 Diskussion

### 5.1 Enkätsvarens betydelse

Resultaten från enkäten bekräftar att problemen med rödslam påträffas vid kraftdammar i hela Sverige. Två av respondenterna i enkäten svarade även att rödslamet förekommer på fler än en av de anläggningar som de ansvarar för, vilket kan indikera att större delen av kraftverken i Sverige har problem med rödslam. Dock har inte enkäten tillräckligt många respondenter för att verkligen visa den totala utsträckningen av problematiken i landet.

Enkätrespondenternas svar på hur de upplever problemen visar att spolning av mätbrunnarna och dräneringsledningarna är lösningar som fungerar, även om flera respondenter anser att lösningarna är kostsamma och temporära. Detta är en indikation på att en utvärdering av andra potentiella lösningar först måste jämföras med dessa lösningar för att avgöra om det är värt besväret att införa en ny lösning. Då nästan alla respondenter har haft problem med övervakningen i mätbrunnarna är lösningar som fokuserar på denna aspekt att föredra, men även lösningar som åtgärdar igensättningen av dränage kan vara attraktiva för de anläggningar som har allra störst problem.

De flesta respondenter behöver spola ur rören och mätbrunnen minst en gång varje år, men mätbrunnarna behöver städas av personalen på plats mycket oftare. Om en lösning minskar uppbyggnaden av rödslam i mätbrunnarna skulle det minska hur ofta personal behöver undersöka och städa överfallen. En lösning som minskar uppbyggnaden i både mätbrunnen och dräneringsrören skulle innebära att man inte behöver spola och städa mätbrunnarna lika ofta, och om lösningen inte är kostsam jämfört med spolning är det möjligt att dra ned den totala kostnaden för underhållet av mätbrunnarna.

Den frågan i enkäten som behandlar falsklarm visar att de nuvarande lösningarna som de flesta respondenter använder är tillräckliga för att förhindra att vattennivån i överfallen stiger till för höga nivåer, men flera av respondenterna svarar även att de inte har något system som varnar om vattennivån blir för hög. För respondenter som inte har ett varningssystem kan en lösning som minskar antalet falsklarm vara en onödig investering, men för den respondent som får falsklarm flera gånger i månaden kan en sådan lösning vara mer attraktiv.

### 5.2 Utvärdering av metoder

Alla lösningar som nämns ovan i resultatet har minst en studie som föreslår dem som lösningar, men att metoderna har potential att minska uppbyggnaden av rödslam är inte tillräckligt för att de ska kunna appliceras vid svenska kraftverk. Lösningarna kommer nu att bedömas utefter de två bedömningskriterier som beskrevs i metoden, där lösningarnas effektivitet jämförs med spolning och lösningarnas miljöpåverkan jämförs med spolning. Lösningarna kommer att presenteras i samma ordning som i resultatet och de lös-

ningar som bedöms vara lämpliga enligt bedömningskriterierna kommer sedan att ställas mot varandra för att bestämma den mest lämpliga lösningen.

#### 5.2.1 Förändring av syrehalt

Förutsättningarna för att kunna påverka syrenivån i fyllnadsmaterialet i kraftdammar är inte lika stor som i jordbruksmark, vilket gör alla metoder som ämnar påverka syrenivån mindre lämpade för kraftdammar i Sverige.

Metoderna för att öka syrehalten och därmed oxidera järnet innan det når mätbrunnarna består av mekaniska processer som helt enkelt inte går att genomföra på en damm utan att riskera dammens täthet. Att luckra upp marken med maskiner skulle endast gå att genomföra när magasinet är så gott som tomt, och skulle antagligen inte syresätta marken tillräckligt för att åstadkomma en betydande förändring eftersom marken bör fördräneras och hållas luftigt i minst 12 månader för att uppnå en syrehalt som motverkar att järn löses ut i vattnet (Ap Dewi 1985). Under dessa 12 månader kan inte dammen användas, och förlusten av en hel årsproduktion av energi är inte värt det eftersom marken skulle förlora detta syre när dammen tas i bruk igen och läckagevattnet fyller ut porsystemet som då slutar vara luftigt. Att mekaniskt luckra upp fyllnadsmaterialet med till exempel en grävmaskin skulle dessutom kunna förstöra den mycket noga planerade lagerföljden som dammarna är uppbyggda med, vilket kan skada dammens täthet och leda till större läckage.

Lösningarna som ämnar att förhindra järnet i marken från att lösas ut i vattnet är endast effektiva om man antar att majoriteten av järnet som når fram till järnbakterierna kommer från marken i dammen, men det finns studier som indikerar att större delen av järnet kan tillföras längre uppströms (Eurenius, 2011), vilket betyder att dessa lösningar inte nödvändigtvis minskar järnhalten i vattnet tillräckligt mycket för att minska tillväxten av rödslam.

Att upprätthålla anaeroba förhållanden är en omöjlighet för de många kraftdammar som använder Thomsonöverfall för att mäta vattenflödet. På grund av hur överfallen är konstruerade kommer kontakten med luft vara omöjlig att motverka, och vattnet syresätts även på grund av fallhöjden efter överfallet. Vidare så är dräneringsrören dimensionerade för att kunna ta emot mycket större flöden av läckagevatten än vid typiska förhållanden eftersom mängden vatten i magasinet förändras beroende på hur mycket man använder kraftverket. Att ständigt se till att alla dräneringsrör är vattenfyllda för att motverka syretillförsel skulle innebära att läckagevatten skulle läcka ut i fyllnadsmaterialet om vattentrycket in i ledningarna blir för stort. Detta kan i sin tur leda till ökat porvattentryck och därmed utgöra en risk för dammsäkerheten.

Lösningarna som går ut på att förändra syrenivåerna är lämpliga enligt bedömningskriteriet Miljöpåverkan, då inga miljöfarliga ämnen behövs användas och påverkan på omkringliggande miljö är minimal. Dock är lösningarna inte lämpliga enligt bedömningskriteriet Effektivitet, då de inte kan appliceras i kraftdammar utan mekaniska processer som kan påverka dammens säkerhet och enkelt kan försämrats om Thomsonöverfall används för mätningar av flödet.

## 5.2.2 Förändring av oxidationsföretsättningar med hjälp av kalk

Det finns studier som föreslår kalkning som en rimlig åtgärd för problem med rödslam inom jordbruket (Ford 1993 & Dewi 1985), men det är det svårt att se hur man effektivt kan applicera det i kraftdammar.

Om man ytligt sprider ut det i fyllnadsmaterialet för att möjliggöra oxidationen av tvåvärt järn innan det sprider sig med vattnet uppkommer frågan om hur mycket kalk man skulle behöva använda för att uppnå betydande resultat och hur stor kostnaden av kalken skulle bli. På grund av det nästan ständiga vattenflödet från magasinet genom fyllningsmassorna kommer kalken med tid att föras genom dränagesystemet till vattendragen, varpå man skulle behöva tillföra mer kalk.

Det finns studier som indikerar att den mängd kalk som krävs för att uppnå resultat inom jordbruket är tillräckligt hög för att medföra stora kostnader (Ap Dewi 1985), men det är svårt att säga om kostnaden skulle bli mindre eller större för kraftdammar eftersom mängden kalk som behövs bland annat beror på dammens yta samt hur mycket läckagevatten dammen släpper igenom.

Dessutom finns det ingen garanti att den utspridda kalken når ned till de relevanta delarna av fyllnadsmaterialet, och om järnhalten i vattnet är tillräckligt hög efter att det har passerat fyllningsmassorna kommer järnbakterierna kunna fortplanta sig ändå. Det finns studier som visar att om kalkhalten kring dräneringsöppningar blir för stor finns det en risk att dräneringssystemet täpps igen, vilket skulle leda till samma problem som uppbyggnaden av rödslam kan göra (Ford 1973 & Kuntze 1982).

Likt med lösningar som ökar syrehalten i marken förlitar sig lösningar med kalk på att det mesta av järnet som järnbakterierna använder kommer från fyllnadsmaterialet som vattnet passerar genom. Men eftersom detta inte är en självklarhet finns det en risk att även om kalken hindrar järn från att lösas ur fyllnadsmaterialet kan järnhalten i vattnet som når järnbakterierna vara tillräckligt hög för att rödslam ska bildas.

Lösningar som använder ytlig applikation av kalk kan inte förväntas vara effektiva som en kontinuerlig lösning jämfört med spolning och passerar därför inte bedömningskriteriet Effektivitet. På grund av att man troligtvis behöver konstant tillföra kalk till marken finns det även en stor risk att miljöpåverkan blir för stor för att rättfärdiga resultaten. Alltså är dessa lösningar illa lämpade även enligt bedömningskriteriet Miljöpåverkan.

## 5.2.3 Inorganiska baktericider

Ett genomgående problem med lösningar som involverar baktericider är att vattnet som passerar mätbrunnarna förs vidare till vattendrag i anslutning till anläggningen. Då de flesta baktericider är allvarliga miljögifter finns det en stor risk att de resulterande halterna i läckagevattnet är tillräckligt höga för att överstiga gränsvärden. En av enkätrespondenterna rapporterade att de har använt syrabehandlingar tidigare för att få bort det värsta av rödslamet, och det finns förslag av bland annat Ford (1993) som går ut på att kombinera en applikation av syror och högtryckstvätt för att få

bort äldre avlagringar av rödslam som har kristalliserat.

Det är tänkbart att tillförda syror kan döda järnbakterierna i stor utsträckning, men likt med kalklösningar så utgör det ständigt flödande vattnet ett logistiskt problem. Om man måste tillföra mer syra så fort problemen uppkommer finns det risk att för stora mängder av syrorna kommer ut i vattendragen och utgör en miljöfara. Dessutom kan kraftiga syror orsaka skador på dräneringsrör och mätinstrument och medföra en onödig risk för involverad personal.

En annan baktericid som har föreslagits är koppar, vilket både Ford (1993) och Dewi (1985) skriver om i sina arbeten. Båda skriver att det finns lovande studier men Ap Dewi (1985) tillägger också att praktiska försök inte har lyckats återskapa de laborativa resultaten. Det finns även en risk att mängden koppar som behövs för att bekämpa järnbakterierna är tillräckligt hög för att överstiga naturvårdsverkets gränsvärden, vilket Ap Dewi (1985) poängterar. Ford (1993) skriver att även han är orolig att kopparlösningar kan medföra för stora miljörisker, då de resulterande halterna i vattendragen kan övergå gränsvärdena i USA. Miljöriskerna är även stora enligt Ford (1993) med lösningen där baktericider byggs in i ledningar i form av plattor, och eftersom dessa plattor endast är en temporär lösning och förlorar sina baktericider med tiden måste man gräva upp dräneringsrören för att kunna byta ut dessa plattor.

De kraftigare gifterna som Ap Dewi (1985) skriver om som fenoler och kloroform må ha en dokumenterad effekt, men det finns en risk att de utsläppta halterna som krävs för att åstadkomma de sökta resultaten utgör en miljörisk. Dessutom är dessa gifter dokumenterade att fungera endast mot specifika arter av järnbakterier, vilket innebär att det inte ens är säkert att de fungerar vid alla anläggningar (Ap Dewi 1985).

Inorganiska baktericider har god potential för att vara effektiva mot uppbyggnaden av rödslam om de appliceras tillräckligt ofta, men det finns en risk att dessa insatser kan behövas så ofta att det totala underhållet av mätbrunnarna blir större jämfört med att helt enkelt spola ur brunnarna och rören. Dessa lösningar kan därmed vara lämpliga enligt bedömningskriteriet Effektivitet, men på grund av att de flesta av dessa baktericider är mycket giftiga finns det en mycket stor risk att de inte är lämpliga enligt bedömningskriteriet Miljöpåverkan.

## 5.2.4 Organiska baktericider

I en intervju med en driftansvarig för kraftdammar i norra Sverige framkom det att det har genomförts ett försök där sågspån och bark har använts i hopp om att det skulle kunna minska mängden rödslam. Då det inte finns några detaljerade rapport om detta försök är det svårt att avgöra hur det applicerades och vilken typ av sågspån som användes, men den driftansvariga visste efter uppföljning att experimentet inte fick någon betydande effekt.

Detta är ett tecken på att de baktericida effekterna av sågspån och bark inte är tillräcklig för att bekämpa rödslam i kraftdammar, men som Vaughan *et al* (1984) visar kan det vara mycket effektivt inom jordbrukssektorn där liknande problem med rödslam förekommer. Andra studier av svenska kraftverk föreslår organiskt

kol i form av sågspån som en möjlig lösning (Ekström et al, 2009). På grund av detta finns det fortfarande en möjlighet att det är en rimlig lösning för svenska kraftdammar.

En risk som lyfts fram av Ap Dewi (1985) är att ämnen som fenoler och tanniner kan släppas ut i så stora mängder av sågspånet och barken att det kan utgöra en miljöfara. Dock så indikerar resultaten från Vaughan et al (1984) att problemen med utsläpp av farliga ämnen går att minska kraftigt om man använder sågspån och bark från barrträd i stället för lövfällande träd. Det är därför möjligt att sågspån och bark kan vara en rela-



Figur 3 - Ett dräneringsdike vid en kraftdamm i Småland. Man ser rödslam i botten av färan längs med hela dammen. Foto av Simon Eng.

tivt miljövänlig lösning.

Effektiviteten av organiska baktericider kan förväntas vara mindre om det används vid kraftdammar än om det används i jordbrukssammanhang på grund av de relativt stora vattenmassorna som passerar genom mätbrunnarna i kraftdammar. Men studier som Ekström et al (2009) pekar mot att effektiviteten är tillräckligt stor för att åtminstone underlätta underhållet av rör och mätbrunnar genom att minska uppbyggnaden av rödslam.

Detta är mycket lovande för kraftdammar då applikationen av sågspån och bark inte är en omfattande eller tidskrävande insats utan enkelt kan dumpas i dräneringsdiken som i bilden nedan, se Figur 3. På grund av att det finns flera studier som talar för sågspånets förmåga att minska uppbyggnaden av rödslam är detta en lämplig lösning enligt bedömningskriteriet Effektivitet, speciellt eftersom det finns studier av svenska kraftdammar som rekommenderar denna lösning, något som de andra kategorierna av lösningar saknar.

Miljöriskerna går inte att ignorera och fler studier behövs för att undersöka om utsläppen av tanniner och fenoler är större när metoden appliceras vid svenska kraftverk än inom jordbruket. Men eftersom studier av (Ekström et al, 2009) anser att utsläppen är tillräckligt små för att lösningen fortfarande ska vara lämplig att

tillämpa för kraftdammar i Sverige. Sammanfattningsvis kan bark och sågspån av barrträd vara lämpliga även enligt bedömningskriteriet Miljöpåverkan, då det finns studier som rapporterar att utsläppen är tillräckligt små för att inte utgöra en miljörisk.

## 5.2.6 Mekaniska lösningar

Att med hjälp av vatten spola bort rödslam har enligt enkäten varit en effektiv och relativt enkel lösning om uppbyggnaden av rödslam blir för stor. Enligt Ford (1993) kan denna lösning även appliceras på mer svår-bortaget rödslam om man använder mycket högt tryck, men det är ändå att föredra att man gör en mindre insats med spolning oftare för att temporärt åtgärda problemen.

Svaren på enkäten visar att de flesta av respondenterna upplever spolningen som en relativt kostsam och omfattande åtgärd, speciellt eftersom det kan involvera att grävmaskiner rensar ut tillhörande vattendrag. Fler insatser kan givetvis minska problemen så att så stora insatser inte är lika nödvändiga, men det är möjligt att det kostar mer med flera insatser vilket innebär att det inte är lämpligt ur en ekonomisk aspekt. Det bör även tilläggas att spolning inte minskar uppbyggnaden av rödslam och därmed kan vara en mycket kostsam åtgärd om en anläggning har en snabb tillväxt av järnbakterier.

Flera enkätrespondenter svarade också att personalen vid dammen måste städa mätbrunnarna varje månad för att säkerställa att mätinstrumenten fungerar som de ska, något som troligen är en tidskrävande arbetsbörda. Denna mindre åtgärd må göra det möjligt att temporärt få mer pålitliga mätvärden, men det gör ingenting för att minska hur snabbt rödslammet kommer tillbaka och det åtgärdar inte heller igensättningen av dräneringsrören.

Att spola med vatten medför inga miljörisker och har minimal potential att påverka omkringliggande miljö, vilket gör dessa mekaniska metoder mycket lämpliga enligt det andra bedömningskriteriet. Även om de långvariga effekterna inte är optimala så är den temporära effektiviteten mycket väl dokumenterad, vilket gör lösningarna lämpliga även enligt det första bedömningskriteriet.

## 6 Slutsatser

Enligt svaren från enkäten är det rimligt att anta att problemen med rödslam påträffas i hela Sverige i nästan alla kraftdammar, samt att de flesta dammägare upplever att problemen är av mindre betydelse och att spolning och städning av mätbrunnarna är en temporär men tillfredställande lösning.

Baserat på de två bedömningskriterierna Effektivitet och Miljöpåverkan är tillförseln av organiskt material i form av sågspån och bark den mest lämpliga lösningen för dammägare i Sverige utöver de lösningar som de redan applicerar idag. Utöver dess effektivitet är lösningar som utnyttjar sågspån och bark även kostnadseffektiva då dessa restprodukter från skogsindustrin enkelt kan appliceras i diken för dränagevatten, vilket inte kräver några omfattande insatser eller ombyggnationer. De baktericida effekterna av det organiska materialet har potential att minska uppbyggnaden av rödslam, vilket minskar behovet av underhåll

av mätbrunnar och dräneringsrör. Om man kombinerar detta med spolningar när det behövs kan man säkerställa att mätinstrumenten fungerar som de ska och samtidigt hålla nere kostnaderna för underhållet.

Studier av svenska kraftverk rekommenderar sågspån, vilket tyder på att miljöpåverkan är tillräckligt liten, men om det organiska materialet bryts ned och inte byts ut i tid finns det risk att det transporteras med vattnet och sätter igen mätbrunnarna, och därför behövs studier som undersöker effektiviteten av sågspånslösningar under ett längre perspektiv. Andra faktorer som behövs undersökas är hur mycket sågspån som behövs för att uppnå maximal effekt, hur länge effekten varar innan man behöver byta ut sågspånet samt om lösningen är lika effektiv oavsett vilka bakteriestammar som orsakar uppbyggnaden av rödslam.

Andra förebyggande metoder som att använda en viss typ av material för dräneringsrör eller att bygga om dränagesystemet för att hålla det vattenfyllt och anaerobt är rimliga förslag vid upprättningen av nya kraftdammar, men det är inte rimligt att föreslå för dammar i drift på grund av de omfattande ombyggnationerna som skulle krävas.

Även om tillförseln av organiskt material verkar vara en lovande lösning så krävs det fortfarande mer forskning om dess miljöpåverkan under en längre tid, samt om effekten av det organiska materialet är på grund av dess baktericida egenskaper eller om det är på grund av att det främjar en annan, mindre problematisk bakterieflora. Med vidare studier finns det goda förhoppningar på att en lämplig lösning kan bestämmas och implementeras i svenska kraftdammar för att minska behovet att spolning och säkerställa att mätinstrumenten fungerar korrekt.

## 7 Tack

Stort tack till mina handledare från AFRY, Martin Hansson & Tina Pålsson. Er expertis och entusiasm är det som möjliggjorde detta arbete.

Tack Karl Ljung, min handledare från Geologiska institutionen som uppmuntrade mig att göra ett så bra arbete som möjligt. Tack Christian Ekström för enkät-sammanställning och samarbete i samband med platsbesök.

## 8 Referenser

Ap Dewi, I., 1985: The characterisation and control of ochre deposits in land drainage systems. *Doktorsavhandling vid University of Wales*, 1-291.

Brandtberg, P-O. & Simonsson, M., 2005: När markerna surnar. *Fakta Skog 15*, 1-4.

Bryant, R.G., Tech, C. & Shaw, K., 1988: IRON OCHRE CONTROL METHODS - A Literature Review -. *Drainage FACTSHEET*, Ministry of Agriculture and Food, Abbotsford, Canada.

Ekström, I., Persson, K., Jender, M., Mencin, N., Roll, F. & Bergman, M., 2009: Vargfors dammsäkerhetshö-

jande åtgärder, fyllningsdammar. *Rapport Sweco Infrastructure AB*, uppdrag 2166147

Eurenus, L., 2011: Utvärdering av analysvar på läckvatten från Svegsdammen, brunn 4 (MB4V) och brunn 5 (MB5V). *PM Sweco Environment AB*, uppdrag 1644401001.

Ford, H.W., 1993: Iron Ochre And Related Sludge Deposits In Subsurface Drain Lines. *IFAS Extension CIR 671*. 1-8.

Ford, H.W., 1973: Obstacles to water control in Florida citrus groves. *Congreso Mundial de Citricultura*, 247-251.

Hamrén, A., 2013: Rostfärgat slam i dränagesystem vid vattenkraftsanläggningar - orsaker och åtgärder. *Examensarbete i energisystem vid Sveriges lantbruksuniversitet*. 1-35.

Kuntze, H., 1982: Iron clogging in soils and pipes: Analysis and treatment. *Bulletin of the German Association for Water Resources and Land Improvement (DVWK)*, Pitman, Bonn, Tyskland.

Lackey, J. B. & Wattie, E., 1940: Studies of Sewage Purification: XIII. The Biology of *Sphaerotilus natans* Kützing in Relation to Bulking of Activated Sludge. *Public Health Reports (1896-1970)* 55, 975.

McIntyre, A.D., 1978: Effects of pollution on inshore benthos. In B.C. Coull (ed.): *Ecology of Marine Benthos*, 301-318. University of South Carolina Press, Columbia, South Carolina.

Thorburn, A. & Trafford, B. D., 1976: Iron ochre in field drains - A summary of present knowledge. *Field Drainage Experimental Unit Technical Bulletin 76/1*.

Vaughan, D., Wheatley, R.E. & Ord, B.G., 1984: Removal of ferrous iron from field drainage waters by conifer bark. *Journal of Soil Science* 35, 149-153.

## 9 Bilagor

### Bilaga 1- Enkät

En del information är överstruken för att bevara anonymiteten hos respondenterna. Sammanställd av Christian Ekström.

Sammanställning enkät

2021-04-26

ID	Fråga	Svar	Kommentar
	Skall er dammanläggning hållas anonym i undersökningen?		
4		Nej	
5		Nej	
8		Ja	
13		Nej	Om det är viktigt så får ni kontakta mig.
15		Ja	
18		Ja	Det är ett krav enligt min chef.
A		Ja	
B		Ja	
	Ange dammanläggningens namn och koordinater.		
4			
5			
8			
13			
15			
18			
A			
B			
	Har ni problem med utfällningar av järnoxid, s.k. rödslam?		
4		Ja	
5		Ja	
8		Ja	Vi har mycket slam i ledningar och framförallt i brunnarna. Det medför årliga underhåll för att spola ledningarna men det ger oss märkbara effekter kontinuerligt i mätbrunnen. Givarna som mätare vattennivån i brunnen påverkas av slamansamlingen.
13		Ja	Renasas inte läckageledningar till mätbrunnar kommer mätresultaten att påverkas.
15		0	Kanske, vet ej. Idag inget stort problem, hålls under uppsikt/uppföljning. Rören spolades för ett par år sedan, mycket grus och sten (kvar från byggtiden). Se examensarbete av [REDACTED] Hör av er om ni behöver mer underlag om just den dammen.
18		Ja	På många olika anläggningar, både i södra och norra Sverige.
A		Ja	Ja, i betongdammen faller rödslam ut från grundvatten som läcker ut från berggrunden. Rödslammet sätter igen dräneringar och fyller tomponöverfall vilket genererar felmätningar. I rödslammet ansamlas även arsenik och med tiden blir halterna väldigt höga i slammet. Det är ett arbetsmiljöproblem och troligen den allvarigaste konsekvensen.
B		Ja	Sätter igen dränering, brunnar, thomson etc

ID	Fråga	Svar	Kommentar
	Hur stora problem upplever ni att röddalarn orsakar i er anläggning?		
4		Små problem	Förekommer i drän,brunn av mindre betydelse.
5		Medelstora problem	
8		Medelstora problem	
13		Små problem	Med dagens underhåll funkar det.
15		Små problem	
18		Betydande problem	Det blir osäkerheter i dammätningarna samt att det medför en hel del underhållskostnader för att rensa bort, justera givare mm pga röddalarn.
A		Medelstora problem	Främst ett arbetsmiljöproblem. Men när man vet om det är åtgärderna ganska enkla. Håll god hygien så man inte får i sig slammet och tvätta skor så man inte drar runt slammet. När slammet trokar på tex gångbanor kan det damma och man kan då få i sig arseniken.
B		Medelstora problem	Mer på vissa anläggningar, mindre eller inget på andra
	Vilka problem orsakar röddalarn?		
4		Försvårad dammövervakning	
5		Försvårad dammövervakning	Utfällning i brunn för läckagemätning
8		Igensättning av dränage	Vil även klicka i försvårad dammövervakning här.
13		Igensättning av dränage	
15		Försvårad dammövervakning	
18		Försvårad dammövervakning	Försvårad dammövervakning men även igensättning av dränage.
A		Försvårad dammövervakning	Se förra kommentären
B		Igensättning av dränage	
	Hur ofta krävs underhåll till följd av röddalarn, med tex spolning?		
4		En gång om året	
5		Flera gånger om året	
8		En gång om året	En gång per 1-2 år för ledningar. 1 år vore bra. 2 år är minimum. Flera gånger i månaden så måste personal "sopa" rent i brunarna.
13		En gång om året	Spolning av ledningarna sker en gång per år. Mätöverfallen rensas vid mätningar månadsvis.
15		0	Det får vi se
18		En gång om året	Svårt att ge ett svar. Det är olika beroende på anläggning och vattendrag. Men spolning hade nog behövts oftare på många ställen men det är kostsamt och därför försöker man lösa det genom att rensa brunarna med driftteknikernas hjälp.
A		Flera gånger om året	Det är framför allt ansamlingarna i mätöverfall som kräver åtgärd.
B		Flera gånger om året	Beroende på anläggning, [redacted] är en av de värsta, [redacted] vet mer om den.
	När under året är problemen med röddalarn som störst?		
4		0	Ingen upplåtning
5		Lika stora problem hela året	
8		Lika stora problem hela året	
13		Lika stora problem hela året	Vet faktiskt inte om det bildas mer vissa årstider.
15		0	Vet ej
18		Lika stora problem hela året	Ser man på dammätningarna som görs så är det lika stort problem året om men det är svårt att säga eftersom man inte själv är ute i fält så ofta.
A		Lika stora problem hela året	
B		0	Har inte reflekterat över detta
	Hur ofta orsakar röddalarn falsklarm i mätbrunnar?		
4		Aldrig	
5		Armat (tex larmnivå ej satt, beskriv nedan)	Om vi rengör så orsakar det inga falsklarm, ialf inte ännu.
8		Flera gånger om året	Larm kan vi få några gånger om året. Däremot så sker toppar i mätning på grund av slam framför V varje vecka. Ofta rensas det av vår personal alt. släpper det av sig själv innan larmnivån nås.
13		Aldrig	
15		0	Aldrig såvitt jag vet
18		Flera gånger om året	Det är också olika men på många ställen är flera gånger om året men på vissa anläggningar är det varje månad.
A		Armat (tex larmnivå ej satt, beskriv nedan)	Vi har inga larmnivåer på läckagemätningen i betongdammen (än)
B		0	Hänvisar till input från [redacted]



ID	Fråga	Svar	Kommentar
	Har ni analyserat vattenprover från dränagesystemet och/eller magasin? Om ja, finns det analysprotokoll vi kan ta del av?		
4		Nej	
5		Ja	Provtagning 2017 brunnen, finns även från kraftverket.
8		Nej	
13		Nej	
15		0	Kanske finns i examensarbetet: [REDACTED]
18		Nej	(Ett gymnasiearbete är utfört i år där man gjort några enkla analyser angående järnutfällningar).
A		Ja	Ja, rapport kring arsenikförekomsten finns. Den kan ni ta del av om ni vill.
B		0	Vi har vattenprover från de flesta anläggningar men det är info som vi tyvärr inte kan dela.
	Kommer allt uppsamlat läckagevatten från magasinet, eller kommer en betydande del av vattnet från omgivningen?		
4		Troligtvis en hel del från omgivningen.	
5		I huvudsak från magasinet.	
8		Betydande del från magasin.	
13		Allt kommer från läckage genom dammen.	
15		Allt från magasinet	
18		Det är olika beroende på anläggning. Vid vissa anläggningar tränger vatten från närliggande omgivning i i dammarläggnings dränagesystem. Det kan vara svårt att separera på vissa anläggningar.	
A		Från berggrunden.	
B		Varierar. En del annat vatten blir det alltid men förhoppningsvis ska det mesta vara från dammen.	
	Har ni mätdata från flödesmätningar för läckage, tex Thomsonöverfall, som vi kan ta del av?		
4		Nej	
5		Ja	
8		Ja	
13		Ja	
15		0	Ivetsamt om det ger något. Vi gjorde om mätprotokollet för något år sedan. Ganska stökiga mätfler med felaktig data tillbaka i tiden.
18		Ja	Det ska nog gå att ordna.
A		Ja	Ja, mätdata finns men då instrumenteringen är ganska nyligen installerad så är mätserien kort, och inte heller kvalitetsssäkrad.
B		0	Kolla med [REDACTED]
	Har ni testat att förebygga uppbyggnaden av röddalarn? Har dessa åtgärder varit effektiva och hur länge har effekten varat?		
4		Nej	
5		Inga tester utförda.	
8		Nej inte var jag känner till.	
13		Nej	
15		Inte vad jag vet, kanske längre tillbaka i tiden (se exjobb)(jobbat i 2 år)	
18		Nej. Inte mer än att försöka låta inloppen av rören mynna under vattenytan i brunnen.	
A		Nej	
B		Inte vad jag vet.	

ID	Fråga	Svar	Kommentar
	Har ni testat några åtgärder för att lösa problemen orsakade av uppbyggnad av rödslem? Har dessa åtgärder varit effektiva och hur länge har effekten varat?		
4		Nej	
5		Inga tester utförda.	
8		Nej inte mer än borste och spolning.	
13		Nej	
15		Se ovan	
18		Nej.	
A		Inte än, men vi planerar att ha automatisk spolning av mätöverfallen.	
B		Har gjort det på tidigare arbetsplatser i form av syrabehandling, funkar tillfälligt.	
	Kan vi kontakta er med eventuella frågor? Ange i så fall kontaktuppgifter.		
4			
5			
8			
13			
15			
18			
A			
B			

## Tidigare skrifter i serien

### "Examensarbeten i Geologi vid Lunds universitet":

575. Végvári, Fanni, 2019: Vulkanisk inverkan på klimatet och atmosfärcirkulationen: En litteraturstudie som jämför vulkanism på låg respektive hög latitud. (15 hp)
576. Gustafsson, Jon, 2019: Petrology of platinum-group element mineralization in the Koillismaa intrusion, Finland. (45 hp)
577. Wahlquist, Per, 2019: Undersökning av mindre förkastningar för vattenuttag i sedimentärt berg kring Kingelstad och Tjutebro. (15 hp)
578. Gaitan Valencia, Camilo Esteban, 2019: Unravelling the timing and distribution of Paleoproterozoic dyke swarms in the eastern Kaapvaal Craton, South Africa. (45 hp)
579. Eggert, David, 2019: Using Very-Low-Frequency Electromagnetics (VLF-EM) for geophysical exploration at the Albertine Graben, Uganda - A new CAD approach for 3D data blending. (45 hp)
580. Plan, Anders, 2020: Resolving temporal links between the Högberget granite and the Wigström tungsten skarn deposit in Bergslagen (Sweden) using trace elements and U-Pb LA-ICPMS on complex zircons. (45 hp)
581. Pilser, Hannes, 2020: A geophysical survey in the Chocaya Basin in the central Valley of Cochabamba, Bolivia, using ERT and TEM. (45 hp)
582. Leopardi, Dino, 2020: Temporal and genetic constraints of the Cu-Co Vena-Dampetorp deposit, Bergslagen, Sweden. (45 hp)
583. Lagerstam Lorien, Clarence, 2020: Neck mobility versus mode of locomotion - in what way did neck length affect swimming performance among Mesozoic plesiosaurs (Reptilia, Sauropterygia)? (45 hp)
584. Davies, James, 2020: Geochronology of gneisses adjacent to the Mylonite Zone in southwestern Sweden: evidence of a tectonic window? (45 hp)
585. Foyen, Alex, 2020: Foreland evolution of Blåisen, Norway, over the course of an ablation season. (45 hp)
586. van Wees, Roos, 2020: Combining luminescence dating and sedimentary analysis to derive the landscape dynamics of the Velická Valley in the High Tatra Mountains, Slovakia. (45 hp)
587. Rettig, Lukas, 2020: Implications of a rapidly thinning ice-margin for annual moraine formation at Gornergletscher, Switzerland. (45 hp)
588. Bejarano Arias, Ingrid, 2020: Determination of depositional environment and luminescence dating of Pleistocene deposits in the Biely Váh valley, southern foothills of the Tatra Mountains, Slovakia. (45 hp)
589. Olla, Daniel, 2020: Petrografisk beskrivning av Prekambriska ortognejser i den undre delen av Särviskollan, mellersta delen av Skollenheten, Kaledonska orogenerna. (15 hp)
590. Friberg, Nils, 2020: Är den sydatlantiska magnetiska anomalin ett återkommande fenomen? (15 hp)
591. Brakebusch, Linus, 2020: Klimat och väder i Nordatlanten-regionen under det senaste årtusendet. (15 hp)
592. Boestam, Max, 2020: Stränder med erosion och ackumulation längs kuststräckan Trelleborg - Abbekås under perioden 2007-2018. (15 hp)
593. Agudelo Motta, Laura Catalina, 2020: Methods for rockfall risk assessment and estimation of runout zones: A case study in Gothenburg, SW Sweden. (45 hp)
594. Johansson, Jonna, 2020: Potentiella nedslagskratrar i Sverige med fokus på Östersjön och östkusten. (15 hp)
595. Haag, Vendela, 2020: Studying magmatic systems through chemical analyses on clinopyroxene - a look into the history of the Teno ankaramites, Tenerife. (45 hp)
596. Kryffin, Isidora, 2020: Kan benceller bevaras över miljontals år? (15 hp)
597. Halvarsson, Ellinor, 2020: Sökande efter nedslagskratrar i Sverige, med fokus på avtryck i berggrunden. (15 hp)
598. Jirdén, Elin, 2020: Kustprocesser i Arktis - med en fallstudie på Prins Karls Förland, Svalbard. (15 hp)
599. Chonewicz, Julia, 2020: The Eemian Baltic Sea hydrography and paleoenvironment based on foraminiferal geochemistry. (45 hp)
600. Paradeisis-Stathis, Savvas, 2020: Holocene lake-level changes in the Siljan Lake District - Towards validation of von Post's drainage scenario. (45 hp)
601. Johansson, Adam, 2020: Groundwater flow modelling to address hydrogeological response of a contaminated site to remediation measures at Hjortsberga, southern Sweden. (15 hp)
602. Barrett, Aodhan, 2020: Major and trace element geochemical analysis of norites in the Hakefjorden Complex to constrain magma source and magma plumbing systems. (45 hp)
603. Lundqvist, Jennie, 2020: "Man fyller det med information helt enkelt": en fenomenografisk studie om studenters upplevelse av geologisk tid. (45 hp)
604. Zachén, Gabriel, 2020: Classification of

- four mesosiderites and implications for their formation. (45 hp)
605. Viðarsdóttir, Halla Margrét, 2020: Assessing the biodiversity crisis within the Triassic-Jurassic boundary interval using redox sensitive trace metals and stable carbon isotope geochemistry. (45 hp)
606. Tan, Brian, 2020: Nordvästra Skånes prekambriiska geologiska utveckling. (15 hp)
607. Taxopoulou, Maria Eleni, 2020: Metamorphic micro-textures and mineral assemblages in orthogneisses in NW Skåne – how do they correlate with technical properties? (45 hp)
608. Damber, Maja, 2020: A palaeoecological study of the establishment of beech forest in Söderåsen National Park, southern Sweden. (45 hp)
609. Karastergios, Stylianos, 2020: Characterization of mineral parageneses and metamorphic textures in eclogite- to high-pressure granulite-facies marble at Allmenningen, Roan, western Norway. (45 hp)
610. Lindberg Skutsjö, Love, 2021: Geologiska och hydrogeologiska tolkningar av SkyTEM-data från Vombsänkan, Sjöbo kommun, Skåne. (15 hp)
611. Hertzman, Hanna, 2021: Odensjön - A new varved lake sediment record from southern Sweden. (45 hp)
612. Molin, Emmy, 2021: Rare terrestrial vertebrate remains from the Pliensbachian (Lower Jurassic) Hasle Formation on the Island of Bornholm, Denmark. (45 hp)
613. Højbert, Karl, 2021: Dendrokronologi - en nyckelmetod för att förstå klimat- och miljöförändringar i Jämtland under holocen. (15 hp)
614. Lundgren Sassner, Lykke, 2021: A Method for Evaluating and Mapping Terrestrial Deposition and Preservation Potential for Palaeostorm Surge Traces. Remote Mapping of the Coast of Scania, Blekinge and Halland, in Southern Sweden, with a Field Study at Dalköpinge Ångar, Trelleborg. (45 hp)
615. Granbom, Johanna, 2021: En detaljerad undersökning av den mellanordoviciska "färdalkalkstenen" i Dalarna. (15 hp)
616. Greiff, Johannes, 2021: Oolites from the Arabian platform: Archives for the aftermath of the end-Triassic mass extinction. (45 hp)
617. Ekström, Christian, 2021: Rödfärgade utfällningar i dammanläggningar orsakade av *G. ferruginea* och *L. ochracea* - Problemstatistik och mikrobiella levnadsförutsättningar. (15 hp)
618. Östsjö, Martina, 2021: Geologins betydelse i samhället och ett första steg mot en geopark på Gotland. (15 hp)
619. Westberg, Märta, 2021: The preservation of cells in biomineralized vertebrate tissues of Mesozoic age – examples from a Cretaceous mosasaur (Reptilia, Mosasauridae). (45 hp)
620. Gleisner, Lovisa, 2021: En detaljerad undersökning av kalkstenslager i den mellanordoviciska gullhögenformationen på Billingen i Västergötland. (15 hp)
621. Bonnevier Wallstedt, Ida, 2021: Origin and early evolution of isopods - exploring morphology, ecology and systematics. (15 hp)
622. Selezeneva, Natalia, 2021: Indications for solar storms during the Last Glacial Maximum in the NGRIP ice core. (45 hp)
623. Bakker, Aron, 2021: Geological characterisation of geophysical lineaments as part of the expanded site descriptive model around the planned repository site for high-level nuclear waste, Forsmark, Sweden. (45 hp)
624. Sundberg, Oskar, 2021: Jordlagerföljden i Højeådal utifrån nya borrhningar. (15 hp)
625. Sartell, Anna, 2021: The igneous complex of Ekmanfjorden, Svalbard: an integrated field, petrological and geochemical study. (45 hp)
626. Juliusson, Oscar, 2021: Implications of ice-bedrock dynamics at Ullstorp, Scania, southern Sweden. (45 hp)
627. Eng, Simon, 2021: Rödslem i svenska kraftdammar - Problematik och potentiella lösningar. (15 hp)



## LUNDS UNIVERSITET

Geologiska Institutionen  
Lunds universitet  
Sölvegatan 12, 223 62 Lund