
RAPPORT

GOLDER ASSOCIATES AB

UPPDRAGSNUMMER 1961008003

KARLSHÄLL

Avvattningsförsök sediment – Utökade försök 2015



STOCKHOLM

2016-02-19

SWECO ENVIRONMENT AB
REGION ÖST VATTEN

1 (23)

Sweco
Gjörwellsgatan 22
Box 34044
SE-100 26 Stockholm, Sverige
Telefon +46 (0)8 6956000
Fax +46 (0)8 6956010
www.sweco.se

Sweco Environment AB
Org.nr 556346-0327
Styrelsens säte: Stockholm

Lars-Erik Glas
civ. ing
Telefon direkt +46 (0)8 6951462
Mobil +46 (0)70 8782385
lars-erik.glas@sweco.se

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	Inledning	3
2	Inkommande sediment	3
3	Avvattningsförsök	3
3.1	Spädning	4
3.2	Test av polymerer och undersökning av sedimenteringsegenskaper	4
3.3	Vakuumfiltrering	6
3.4	Tillsatser av järn/kalk med vakuumfiltrering	8
4	Tryckfiltrering	8
4.1	Försök med olika dukmaterial	8
4.2	Beredning av prover för bestämningar av skjuvhållfasthet	9
5	Försök med avvattning i geotub	10
6	Kommentarer till avvattningsförsök	13
7	Vattenanalyser	14
8	Behandling av vattenfas	17
9	Kommentarer till vattenanalyser och behandling av vattenfas	20
10	Geotekniska undersökningar	20
11	Slutsatser	22

Bilagor: 1. ALS. Analysprotokoll inkommande sediment
 2. ALS. Analysprotokoll vatten
 3. Sweco geolab. Försöksprotokoll

2 (23)

RAPPORT
2016-02-19

AVVATTNINGSFÖRSÖK SEDIMENT – UTÖKADE FÖRSÖK
2015

1 Inledning

Hösten 2015 togs beslut i projektet att genomföra en serie avvattningsförsök med sediment från saneringsområdet i Karlshäll. Prover togs upp från området i början av november och skickades med bilfrakt till Stockholm.

Försöken är en utökning av tidigare försök utförda av Sweco Environment 2013. De tidigare undersökningsresultaten finns redovisade i undersökningsrapport daterad 2013-05-16 men tas även upp delvis i denna rapport.

2 Inkommande sediment

- 10 st. hinkar à ca 14 l, märkta Fiber (F)
- 4 st. hinkar à ca 14 l, märkta Övrig 1 (Ö1)
- 2 st. hinkar à ca 14 l, märkta Övrig 2 (Ö2)
- 2 st. hinkar à ca 14 l, märkta Övrig 3 (Ö3)

Samtliga hinkar märktes med egen beteckning enligt systemet F1---F10, Ö1,1---Ö1,4, Ö2,1 – Ö2,2 samt Ö3,1 – Ö3,2.

Sedimentet F var genomgående flytande medan sedimenten Ö1 – Ö3 var relativt fasta. Prover uttogs i samtliga hinkar efter intensiv omblandning för analyser av ALS avseende torrsubstans (TS) och glödgningsförlust (GF). Medelvärden och intervall för halterna redovisas i tabell 1 nedan och samtliga analysresultat i bilaga 1.

Tabell 1 Medelvärden och intervall för TS-halter och glödgningsförluster.

PARAMETER	FIBER		ÖVRIG 1		ÖVRIG 2		ÖVRIG 3	
	Intervall	MV	Intervall	MV	Intervall	MV	Intervall	MV
TS (%)	6 – 9,2	7,6	38,3 – 38,9	38,6	14,5 – 14,9	14,7	32,5 – 35	33,8
GF (% av TS)	89 – 96	93	3,8 – 4,3	4,0	39,3 – 40,8	40,1	8,2 – 9,5	8,9
Hg (mg/kg TS)	30 – 38	34	<0,02 – 0,04	<0,03	1,5	1,5	0,31 – 0,41	0,36

3 Avvattningsförsök

Flertalet försök utfördes inledningsvis på prov från enstaka hinkar.

3.1 Spädning

Sediment F var relativt lättflytande utan spädning. Sediment Ö2 blev lättflytande redan vid spädningen 1:0,5 medan proverna från Ö1 och Ö3 som var relativt fasta blev lättflytande vid spädningen 1:1 med vatten. Därför minskades den planerade spädningen av proverna från Ö1 och Ö3 från 3 delar vatten till 2 delar vatten per del sediment.

För att simulera sugmuddring gjordes därför följande spädningar:

F: 1 del sediment och 0,5 del del vatten, alltså 1:0,5. Beräknad TS = 4,3 – 6,1 %

Ö1: 1 del sediment och 2 delar vatten, alltså 1:2. Beräknad TS = 17 %

Ö2: 1 del sediment och 1 delar vatten, alltså 1:1. Beräknad TS = 8,0 %

Ö3: 1 del sediment och 2 delar vatten, alltså 1:2. Beräknad TS = 14 %

3.2 Test av polymerer och undersökning av sedimenteringsegenskaper

Försök med olika polymerer har tidigare utförts vid minst två tillfällen, dels av IVL dels av Sweco. Resultaten var då samstämmiga och några större märkbara förändringar noterades inte vid undersökningarna denna gång. Kemiras katjonaktiva polymer C491 och BASFs Z8120 var i stort sett likvärdiga för sediment F som är starkt fibröst. För Ö1 – Ö3 gav Kemiras nonjonaktiva polymer N300 bäst resultat. Den optimala doseringen av polymer vid mekanisk avvattning bedömdes vara ca 1 – 2 mg/g TS för samtliga 4 provtyper. Störst reduktion av bottenfasen vid sedimentering, med undantag för F-sedimenten, uppnås dock utan dosering av polymer om sedimenteringstiden är minst ett dygn vilket framgår av diagram 1 och 2 nedan från försöken 2013 med liknande sediment. Vid sedimenteringstider på några timmar blir vattenfasen dock ganska grumlig utan polymer. För en mekanisk avvattning på rimlig tid är det dock nödvändigt med polymerdosering.

Efter spädningen med vatten, 1:0,5 för F, 1:1 för Ö2 samt 1:2 för Ö1 och Ö3, tillsattes polymer med 1,5 mg/g TS under intensiv omrörning. Efter långsamomrörning 15 – 30 sek (flockningen blev märkbar ca 5 sekunder efter avslutad dosering) överfördes blandningarna till mätglas. Sedimenteringen gick relativt snabbt för Ö1, Ö2 och Ö3 medan sedimenteringen för F var långsam och obetydlig efter 1 dygn.

Sedimentvolymerna i blandningen och dessas förhållanden till insituvolumerna efter 24 timmars sedimentering anges i tabell 2 nedan.

4 (23)

RAPPORT
2016-02-19

AVVATTNINGSFÖRSÖK SEDIMENT – UTÖKADE FÖRSÖK
2015

Tabell 2. Sedimentvolym efter spädning, flockning med polymer och följande sedimentering 1 dygn.

Sediment	Spädning	Sedimentfasens volym %	
		av provvolym	relativt in situ
F	1:0,5	90	135
Ö1	1:2	44	132
Ö2	1:1	73	146
Ö3	1:2	50	150

Diagram över sedimenteringsförsök 2013

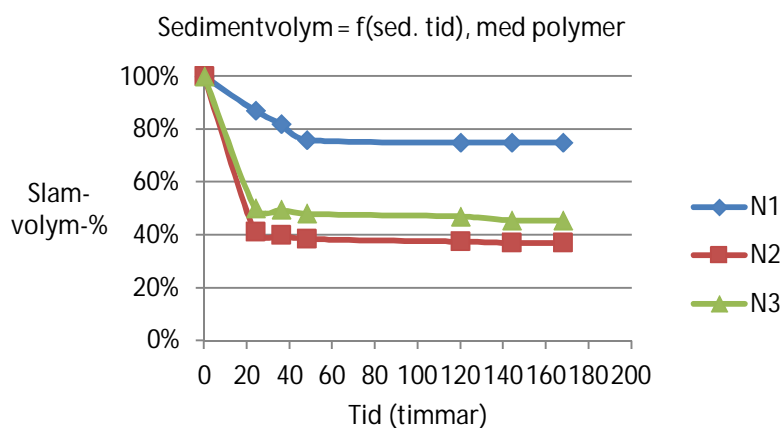


Diagram 1. Sedimentering med polymerer från Kemira (försök 2013)

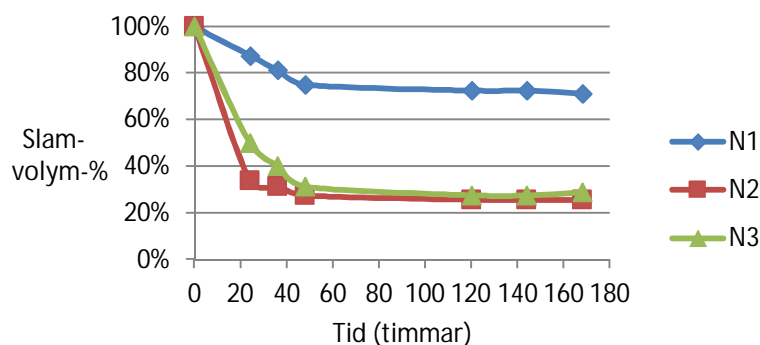


Diagram 2. Sedimentering utan polymer (försök 2013)

Försöken bakom diagrammen ovan utfördes på sediment spädda med större mängder vatten än vad som tillämpats senare. Detta innebär att

slam(sediment)volymerna enligt diagrammen är lägre än för sediment som späts med mindre mängder vatten.

3.3 Vakuumfiltrering

- Vakuumfilter: Diameter 50 mm.
- Filterpapper: Munktell kvalitet 005.
- Vattensug: undertryck ca 90 %, absoluttryck, ca 0,1 bar.

I samtliga avvattningsförsök späddes sedimenten med lika mängder vatten som vid sedimenteringsförsöken och flockades med polymer. Klarvattenfasen hölls av efter ca 1 timme. Varje filtreringssats omfattade ca 50 ml med undantag för provet från F där 100 ml satsades. Filtratmängd och filtreringstid till genombrott av sedimentkakan uppmättes, dvs. tills trycket sjönk på grund av sprickor i filterkakan. I de flesta fallen uppgick filtratvolymen till ca 80 % av slutvolymen efter ca halva den totala filtreringstiden som anges nedan.

F9, beräknad TS-halt 5,0 % efter spädning

Polymer C491, 1,5 mg/g TS, 3 st. filtreringar.

Filtreringstid: 110 – 140 sek. Vid vakuumfiltreringsförsöken 2013 uppmättes tiden till 120 sek varvid filterarean var dubbelt så stor per filterad mängd.

TS-halter efter avvattning: 23,6 – 23,5 – 20,1 %. Försöken 2013 gav TS-halten 16,3 % varvid ingångshalten också var lägre.

Fiberkakorna var relativt fasta trots den relativt låga TS-halten. En stor del av vattnet torde vara bundet i fibrerna. Trots det torkade kakorna förvånansvärt snabbt vid lagringen i rumstemperatur och var brännbara ett par dagar efter filtreringen vilket indikerar en TS-halt minst 60%. Se även försättsidan

Ö1,1, beräknad TS-halt 17 % efter spädning

Polymer N 300, 1,5 mg/g TS, 2 st. filtreringar.

Filtreringstid: 260 – 280 sek.

TS efter avvattning: 50,9 %, (en analys).

Slamkakornas fiberinnehåll bedömdes som relativt lågt. Provet Ö1,1 liknade prov N3 från 2013 men med något högre TS-halt och lägre glödgningsförlust. TS-halten för N3 efter vakuumfiltrering uppmättes då till 41 %.

Ö2,1, beräknad TS-halt 8 % efter spädning

Polymer N 300, 1,5 mg/g TS, 2 st. filtreringar.

Filtreringstid: 90 – 110 sek.

TS efter avvattning: 28,6 % (en analys).

Sedimentet benämns som halvfiber. Sedimentet N2 från 2013 fick TS-halten 39 % efter vakuumfiltrering men bedöms ha innehållit ett betydligt lägre inslag av fiber eftersom glödgningsförlusten endast var ca hälften av vad som analyserats för Ö2,1.

Ö3,1, beräknad TS-halt 14 % efter spädning

Polymer N 300, 1,5 mg/g TS, 3 st. filtreringar.

Filtreringstid: 100 – 130 sek.

TS efter avvattning 50,3 - 55,5 - 56,1 %.

Försöken med vakuumfilter sammanfattas i tabell 3 nedan.

Tabell 3. Vakuumfilter. F9, Ö1.1 - Ö3.1. Polymerer: C491 (F9) resp. N:300 (Ö1 – Ö3), båda 1,5 mg/g TS.

Prov, spädning	Tid, sek	TS-in %	TS-ut	TS sjö-botten	Antal	Kommentar
F9, 1:0,5	125	5,3	22,4	8	3	100 ml till vakuumfilter.
Ö1,1 1:2	270	17	50,9	38,9	1	215 ml, sed. 1 tim, 130 ml dekanterat. 50 ml till vakuumfilter.
Ö2,1, 1:1	100	7,3	28,6	14,9	2	215 ml, sed. 1 tim, 40 ml dekanterat. 50 ml till vakuumfilter. 90 % filtrat efter 30 s.
Ö3,1 1:2	110	9,6	53,9	35	3	215 ml, sed. 1 tim, 140 ml dekanterat. 50 ml till vakuumfilter. 90 % filtrat efter 120 s.

Resultaten enligt tabellen överensstämmer relativt väl med resultaten 2013 för jämförbara prover.

3.4 Tillsatser av järn/kalk med vakuumfiltrering

Kakorna från filtreringarna av sedimenten efter flockning med polymer var ganska lösa med undantag för F-provet. Vid undersökningen 2013 utfördes därför filtreringsförsök med sediment som konditionerats med järn och kalk. Järnkloriden tillsattes som vattenlösning med koncentrationen ca 200 g trevärt järn/l. Därvid minskade filtreringstiderna markant men TS-halterna ökade inte och skjuvhållfastheten blev inte över 11 kPa.

4 Tryckfiltrering

Tryckfiltrering har utförts i rostfri cylinder med, filterdiametern 50 mm. Mängden satsat material anpassades så att filterkakans beräknades bli 15 -20 mm. Efter fyllning monterades kolv för komprimering av provet, topplock och tryckluftsslang. Försöken utfördes med högst 4 bar och filtrering pågick tills filtratflödet var mindre än 1 ml/5 min.

4.1 Försök med olika dukmaterial

Försök i laboratorieskala med tryckfilter används bl a av leverantörer av silbandspressar respektive filterpressar som underlag för dimensionering.

Vid de inledande försöken testades tre olika typer av filtermedia:

- Geotextil i samma utförande som används i påsar och tuber för slamavvattnig.
- Viraduk avsedd för avvattnig av sjösediment i silbandspress.
- Duk avsedd för avvattnig av sjösediment i kammarfilterpress.

I försöken avvattnades den beredda blandningen, FÖ, av sediment från de tre provtagningsområdena F, Ö1 och Ö3. Blandningens TS-halt var 19 % med GF 23 %. Blandningen späddes med lika del vatten till volymen 300 ml för varje försök. Flockning med 1,5 g polymer C491/g TS. Efter ca 5 min. dekanterades ca 170 ml fritt och klart vatten. Resten satsades i tryckcylindern.

Resultaten från försöken redovisas i tabell 4 nedan

8 (23)

RAPPORT
2016-02-19

AVVATTNINGSFÖRSÖK SEDIMENT – UTÖKADE FÖRSÖK
2015

Tabell 4. Försök med olika filtermedia i tryckfilter. Blandsediment FÖ.

Filtermedium	Presstid Σ min	Tryck, bar	Filtrat Σ ml	TS %
Geotextil	1	1	50	
	2	2	65	
	3	3	65	
	8	4	65	41,9
Vira	1	1	40	
	2	2	60	
	3	3	60	
	8	4	60	40,1
Filterpressduk	1	1	40	
	2	2	57	
	3	3	57	
	8	4	58	38,4

Filterkakornas tjocklek var ca 20 mm i samtliga försök. Det förelåg ingen synlig skillnad mellan filtraten från filterdukarna. Den större delen av partikelmängderna kom vid starten av respektive filtrering.

Valet av filterduk inverkar som synes inte märkbart på TS. Försök med de olika filterdukarna gjordes också på fibersedimenten från hink F10 varvid TS-halterna blev:

- Geotextil: 24,1 %
- Viraduk; 23,3 %
- Kammarfilterpressduk; 23,7 %

Inkommande TS-halt var ca 4,3 % efter spädning. Även i dessa försök blev skillnaderna mellan TS-halterna alltså små. I de kommande försöken användes därför viraduken som användes i silbandspressar.

4.2 Beredning av prover för bestämningar av skjuvhållfasthet

Prover för bestämningar skjuvhållfasten bereddades av sediment från områdena F och Ö2 samt av blandningarna Ö1 + Ö2 samt F+Ö1+Ö3 (lika blandningen i föregående försök).

Tabell 5 Avvattning i tryckfilter, 4 bar. Antal pressningar 10 – 15/sedimenttyp

Sediment	TS-in %	Presstid Min.	TS-ut (antal analyser)	Kaktjocklek
F (fiber)	ca 5	3 – 5	24 – 32 (5)	20 – 25 mm
Ö1+Ö3	ca 18	8 - 10	59,6; 60; 62,4 (3)	10 – 12 mm
Ö2	ca 10	7 – 10	54,7(1)	15 – 20 mm
FÖ (F+Ö1+Ö3)	ca 12	5 – 8	38 – 42 (3)	15 – 20 mm

Filterkakorna packades i tuber för undersökningar på Sweco Geolab med undantag för blandprovet Ö1 + Ö3. Kolven i cylindern fastnade vid flertalet av försöken sannolikt beroende på att små sandkorn pressades in mellan kolv och cylindervägg vilket medförde att nödvändigt antal pressningar för packning av en tub ej kunde utföras inom rimlig tid.

5 Försök med avvattning i geotub

Det första försöket med avvattning genom geotextil utfördes i en påse med sidomått 65x48 cm och fyllningsvolymen ca 40 l. Påfyllning skedde i ett rör med diametern 50 mm. Kudden placerades på galler som låg på en plastbalja för uppsamling av filtrat. I detta försök avvattades endast ett sediment, F. På grund av materialbrist av sedimenten från områdena Ö2 och Ö3 samt praktiska skäl utfördes de följande 5 försöken i mindre påsar, design shoppingbag med måtten 50x34 cm och fyllnadsvolym ca 14 l. Dessa påsar hängdes upp i hinkar för uppsamling av filtrat.

Sedimenten satsades i påsarna efter utspädningar och flockning som vid de tidigare avvattningsförsöken. Ingen sedimentering skedde före satsningen. Vid hanteringen av de nu större mängderna noterades att flockningen var relativt känslig varför polymerdoseringen ökades till 2 g/kg TS vid fyra av försöken med de små påsarna. Ett försök utfördes dessutom med F-sediment utan polymertillsats (se tabell 8).

I samtliga försök med de mindre påsarna frystes sedimenten när filtratflödena i stort sett upphört. Med undantag för försöket utan polymer var filtratavrinningen snabb i samtliga försöken under de första 5 minuterna varefter flödet avtog snabbt. Vidare pressades 4 av de 5 små sedimentpåsarna med trycket ca 0,65 bar under 1 – 2 dygn. Försökresultaten redovisas i tabellerna 6 – 11 nedan.

Tabell 6. FGT1. Fibersediment: Spädning 1:0,5. Fruset – Tinat. Avvattning inomhus, 2/12 – 15/12, stor påse, polymertillsats 1,5 g/kg TS. In: Ca 38 kg . Ut: 11,6 kg

Dag	Prov	Avrinnings- tid, h	Dränerad volym, l	TS, %	Vikt kg	Övrigt
1		0	0	ca 5,3,	ca 38	
1		0,5	21			
1		1	22,4			
1		4	22,9			
2	1	18	23,5	12,6-12,6		
3		43	23,5			
3						In i frys
6						Ut ur frys
8			24,6			Tinat
10	2	+62	24,8	15,9-17,9		
11			24,8		11,6	Öppen lagring
14			24,8			

Tabell 7. FGT2. Fibersediment: Spädning 1:0,5. Fruset – Tinat. Avvattning inomhus, 4/12 – 28/12 2015, liten påse, polymertillsats 2 g/kg TS. In: Ca 12 kg. Ut: 2,5 kg

Dag	Prov	Avrinnings- tid, h	Dränerad volym, l	TS, %	Vikt kg	Övrigt
1		0	0	ca 5,5	ca 12	
1		1	6,8			
1		3	7,0			
2	1	24	7,3	12,7-13,3*		
3		48	7,4		4,4	
3-6			7,5			0 - +7 °C
6						Pressad 0,65.mvp
7	2		8,1	15,2		
7					3,9	In i frys
10						Ut ur frys
12			8,1			Tinat
12						Pressad, 0,65.mvp
13			8,1			
18	3			18,1		Öppen förvaring, 20 °C
25			8,1	23,5	2,5	Härefter sluten förvaring, 20 °C

* Prov från botten resp. topp i påsen.

Bortsett från torkning är resultaten för de bägge avvattningarna FGT1 och FGT2 likvärdiga.

Tabell 8. FGT3. Fibersediment: Spädning 1:0,5. Fruset – Tinat. Avvattning inomhus, 4/1 – 23, 2016, liten påse, ingen polymertillsats. In: Ca 12 kg. Ut: 3,9 kg

Dag	Prov	Avrinnings- tid, h	Dränerad volym, l	TS, %	Vikt kg	Övrigt
1		0	0	ca 5,3	ca 12	
1		1	4,3			
1		2	4,9			
2		24	6,0			
4	1	72	6,7	16,1-16,2*	4,4	
4						In i frys
8	2		7,1	15,8-17,1*	3,9	Tinat, sedan sluten för- varing, 20 °C
20	3		7,1	17,5		Blandprov. Härefter sluten förvaring, 20 °C

* Prov från botten resp. topp i påsen.

Avvattningen blev betydligt långsammare utan polymerblandning men efter ca 1 vecka blev TS-halterna likvärdiga. Filtratet blev dock som väntat betydligt grumligare, se vidare avsnitten 7 och 8.

Tabell 9. FÖ1GT1. Blandsediment F: 2 delar, Ö1+Ö3: 0,5 + 0,5 delar. Spädning 1:1. Fruset, tinat och pressat,. Avvattning inomhus, 14/12 – 28/12, polymertillsats 2 g C491/kg TS. In: Ca 13 kg. Ut: 3,3 kg

Dag	Prov	Avrinnings- tid, h	Dränerad volym, l	TS, %	Vikt kg	Övrigt
1		0	0	Ca 9	Ca 13	
1		1	6,9			
2	1	19	8,6	28,5- 28,6	4,5	
3	2	44	8,7	31,0		
4	3	68	9,1	34,4	4,1	Pressad 0,65 mvp
5		61	9,2			Till frys
8		61	9,2			Ut ur frys
9		85	9,2			Tinat
9		93	9,2			Pressad
15	4		9,3	37,8	3,3	Härefter sluten förvaring, 20 °C
37					3,3	

Tabell 10. Ö1+Ö3(lika delar)GT1. Blandsediment: Spädning 1:2. Fruset – Tinat. Avvattning inomhus, 16/12 – 28/12, polymertillsats 2 g N300/kg TS. In: Ca 13 kg. Ut: 3,2 kg

Dag	Prov	Avrinnings- tid h	Dränerad volym, l	TS, %	Vikt kg	Övrigt
1		0	0	Ca 16	14	
1		0,5	8,7			
2	1	17	9,4	42,4	4,6	Till pressning
3	2		9,8	46,7	4,2	
3						Till frys
6						Ut ur frys
7			10,0			Tinat-pressning
13	3		10,0	64,0	3,2	Härefter sluten förvaring, 20 °C
35	4		10,0	63,5	3,2	

Ökningen av TS-halten från 47 % till 64 % motsvarar en avdunstning av ca 1 kg vatten.

Tabell 11. Ö2GT: Spädning prov 1:1. Fruset – Tinat. Avvattning inomhus, 25/1 – 2/2, 2016, polymertillsats 2,0 g N300/kg TS. In: 4,8 kg Ut: 1,4 kg

Dag	Prov	Avrinnings- tid	Dränerad volym, l	TS, %	Vikt kg	Övrigt
1	1	0	0	6,4	4,8	
1		2 min.	2,3			
1		4 h	3,3		4,6	
2	2	24 h	3,4	21,2		
3		48 h	3,4		2,0	Till frys
7					1,8	Ut ur frys
8	3	Ca 60 h	3,5	24,2	1,4	Tinat
9			3,55			Härefter sluten förvaring, 20 °C

Mindre mängd sediment p g a materialbrist.

6 Kommentarer till avvattningsförsök

Resultaten från avvattningsförsöken har sammanställts i tabell 12 nedan där även resultat från försök 2013 ingår.

Tabell 12. Sammanställning av uppnådda TS-halter med undersökta metoder.

Sediment	TS-halter %			
	Vakuumfilter	Tryckfilter	Geotextil	Kammarfilterpress
F	22,4	24 – 32	15 – 18	19 – 26 ¹
Ö1+Ö3	50,9 – 53,9	59,6 – 62,4	47 (64)	-
Ö2	28,6	54,7	24,2	47 – 51 ¹
FÖ (F+Ö1+Ö3)	-	38 - 42	38	-

¹ Resultat från försök 2013 med liknande sediment.

- Frysning och tillämpat tryck har haft en begränsad effekt. Utförda försök indikerar att TS-halten kan öka med ca 5 % under en säsong genom torkning.
- Skillnaden mellan torkresultaten enligt tabellerna 7 och 8 (olika påsar för F-sediment) efter ca en vecka bedöms ligga inom felmarginalen för provtagning och analys.
- En viss avdunstning har skett i samtliga försök. F-sedimentet, tabell 7, har lagrats öppet en längre tid än det oflockade sedimentet, tabell 8. Oflockad avvattning kommer sannolikt inte att komplicera behandlingen av filtratet nämnvärt trots att detta var betydligt grumligare än vid de övriga försöken.

Sannolikt är det inte tekniskt-ekonomiskt möjligt att avvattna fibersedimenten mekaniskt till över 30 % TS vilket kan jämföras med svårigheterna att avvattna torv. En icke obetydlig ökning av TS-halten torde kunna påräknas om sedimenten får torka väderskyddat en säsong. Frästorv läggs upp på strängar utomhus för att torka på sommaren till TS-halter upp till 70 – 80 %. Fibersedimenten bedöms torka snabbare än torv.

7 Vattenanalyser

Uppsamlade filtratmängder från avvattningsförsöken med tryckfilter och geotextilpåsar samt ett par dekanteringsvatten analyserades med avseende på metaller inklusive kvicksilver. Analyserna redovisas i sin helhet i bilaga 2 och ett urval av parametrar i tabellerna nedan. Analyserna utfördes på såväl ofiltrerade prover som på prover filtrerade av analyslaboratoriet ALS. I tabellhuvudena i avsnitt 7 och 8 anges den senare analysen som "ALS-filtrerad". Filtrering genom veckfilter ingår i de flesta behandlingsförsöken,

avsnitt 8, och anges som "filtrerat". Analyserna som utförts på av Sweco filtrerade prover innebär således att proverna filtrerats både på veckfilter och på ett tätare filter hos ALS, vilket avskiljer alla partiklar större än 0,45 µm. Hänvisningar till relevanta analysrapporter anges med de fyra sista siffrorna i rapportnumret.

Tabell13. Analysresultat. Vatten från dekantering av spädvatten från sedimentering 1 dygn av oflockat prov från område Ö2.1, Ö2.2 samt oflockat blandprov från områdena Ö1 och Ö3. Analysprotokoll –1692 och –1693

	Ö2.1:0 ofiltrerat (µg/l)	Ö2.1:0. ALS-filtr (µg/l)	Ö2.2:0 ofiltrerat (µg/l)	Ö2.2:0. ALS-filtr (µg/l)	Ö1+Ö3 ofiltrerat (µg/l)	Ö1+Ö3 ALS-filtrerat (µg/l)
Järn	49 500	20 400	31 600	6 200	14 400	5 900
Aluminium	18 600	177	6130	26	2 800	45
Arsenik	24	13	29	8,9	29	20
Bly	44	0,44	22	<0,2	2,9	<0,2
Kadmium	0,54	<0,05	0,22	<0,05	0,07	<0,05
Koppar	160	<1	110	<1	62	2,1
Krom	36	0,87	12	<0,5	5,8	<0,68
Kvicksilver	<0,02	<0,02	5,1	<0,02	0,25	<0,02
Nickel	5,5	5,5	13	2,9	6,2	3,14
Zink	26	26	97	4,5	34	13,5

Något dekanteringsvatten från fibersediment har inte analyserats eftersom inga större mängder av detta vatten antas vara aktuella i en fullstor anläggning p g a dåliga sedimenteringsegenskaper.

Järnhalterna är höga. En relativt stor del av järnet har sannolikt förelegat i tvåvärd lättlöslig form. Jämförelsedata för dekanteringsvatten 2013 saknas.

Tabell 14. Analysresultat. Filtrat från tryckfiltrering (FT) av fibersediment med olika filterdukar. Analysprotokoll --6417 och --6418. Samtliga försök på samma sats.

	Geotextil ofiltrerat (µg/l)	Viraduk ofiltrerat (µg/l)	Kammarfilt.-pressduk ofiltrerat (µg/l)	Geotextil ALS-filtr (µg/l)	Viraduk ALS-filtr (µg/l)	Kammarfilt.-pressduk ALS-filtr (µg/l)
Järn	19 000	2 700	2 200	14 000	1 100	99
Aluminium	191	143	46	70	13	5,9
Arsenik	2,0	2,4	2,5	1,7	1,9	2,0
Bly	3,3	3,5	2,2	0,6	0,22	<0,2
Kadmium	0,78	0,06	<0,05	0,70	<0,05	<0,05
Koppar	30	14	10	14	1,3	6,1
Krom	<0,9	<0,5	0,98	<0,5	<0,5	<0,2
Kvicksilver	1,33	2,7	0,53	<0,02	<0,02	0,03
Nickel	8,1	9,0	8,2	31	7,8	7,3
Zink	570	42	25	480	28	23

Halterna är högre i filtraten från Geotextil och Viradukarna beroende på att filterpressduken var avsevärt tätare. Järn- och zinkhalterna är avsevärt högre efter geotextilen än från de övriga dukarna. Zinkhalterna ligger dock på låg nivå.

Tabell 15. Analysresultat. Vatten från avvattning i geotextilpåsar av sediment från område F, försök FGT1, FGT2 och FGT3 Analysprotokoll --1635, --1636, --5575 och --5581.

	FGT1:0 ofiltrerat (µg/l) Stor påse	FGT2:0 ofiltrerat (µg/l) Liten påse	FGT3:0 ofiltrerat (µg/l) Liten påse	FGT1:0 ALS-filtr (µg/l)	FGT2:0 ALS-filtr (µg/l)	FGT3:0 ALS-filtr (µg/l)
Järn	12 000	6 800	6 300	220	1 400	250
Aluminium	1 800	44	2 020	8,2	10	9,8
Arsenik	3,8	2,5	5,3	1,6	1,5	2,6
Bly	9,6	<0,5	38	<0,2	<0,2	<0,2
Kadmium	0,57	<0,05	0,49	<0,05	<0,05	<0,05
Koppar	83	4,9	240	<1	2,1	<1
Krom	5,1	<0,9	5,5	<0,5	<0,5	<0,5
Kvicksilver	28	0,33	38	0,03	<0,02	0,03
Nickel	14	10	12	3,9	10	4,0
Zink	390	30	370	2,2	26	4,8

FGT3 utfördes utan polymertillsats vilket gav ett grumligare filtrat. Variationen av järnhalten kan bero på att försöken utförts på massa i olika hinkar från område F.

8 Behandling av vattenfas

Behandlingen av vattenfaserna har omfattat försök med sedimentering och flockning samt efterföljande filtrering.

Tabell16. Analysresultat. Samlingsprov av filtrat från ca 15 st tryckfiltreringar av sediment från område F. Behandlat med sedimentering och filtrering. Analysprotokoll --1421 och --1441

	FT0 (µg/l)	FT-sed. (µg/l)	FT-sed-flockat filtrerat. (µg/l)	FT0 ALS- filtr (µg/l)	FT-sed. ALS- filtr. (µg/l)	FT-sed- filtrerat ALS-filtrerat (µg/l)
Järn	6 500	1 200	850	1 000	470	540
Aluminium	1 200	79	81	9,7	7,4	7,6
Arsenik	3,6	0,88	1,59	1,7	1,2	1,2
Bly	9,6	1,2	0,88	0,64	0,31	0,38
Kadmium	0,28	0,13	0,1	<0,05	<0,05	<0,05
Koppar	36	87	57	5,1	44	41
Krom	10	2,3	1,3	1,4	<0,5	0,57
Kvicksilver	6,0	0,31	0,1	0,03	<0,02	<0,02
Nickel	16	5,2	5,1	8,1	4,1	3,8
Zink	80	14	6,8	23,6	11	11

De flesta metallhalterna, i synnerhet kvicksilver, reduceras för varje reningssteg.

Tabell17. Analysresultat. Samlingsprov av filtrat från ca 10 st tryckfiltreringar av blandprov, sediment från områdena Ö1 och Ö3. Behandlat med sedimentering och filtrering. Analysprotokoll --1421 och --1441

	(Ö1+Ö3)T (µg/l)	(Ö1+Ö3)T sed. (µg/l)	(Ö1+Ö3)T-sed- flockat, filtrerat. (µg/l)	(Ö1+Ö3)T ALS-filtrerat (µg/l)	(Ö1+Ö3)T-sed- Flockat, filtrerat. ALS-filtrerat (µg/l)
Järn	197 000	1 500	1 500	680	162
Aluminium	1 200	79	356	27	10
Arsenik	68	9,3	3,9	2,3	2,8
Bly	9,6	1,2	1,2	0,26	<0,2
Kadmium	0,28	0,13	0,07	<0,05	<0,05
Koppar	36	87	13	3,0	5,8
Krom	10	2,3	0,99	<0,5	<0,5
Kvicksilver	6,0	0,31	<0,02	<0,02	<0,02
Nickel	16	5,2	13	15	10
Zink	80	14	20	11	20

I stort sett samma tendens som i tabell 16. Halterna ligger på låg nivå med undantag för järn och aluminium. Halten av arsenik bör observeras. Den övervägande delen järn förelåg uppenbarligen i partikulärform.

Tabell 18. Analysresultat. Behandling av samlingsprov från avvattning i stor geotextilpåse av flockat sediment från område F, försök FGT1 Analysprotokoll –1635, --1636, -- 0069 och 0070.

	FGT1:0 (µg/l)	FGT1--sed. (µg/l)	FGT1- sed.- flockat- filtrerat (µg/l)	FGT1:0 ALS- filtrerat (µg/l)	FGT1- sed.- flockat-filtrerat ALS-filtrerat (µg/l)
Järn	12 000	5 500	1 200	220	6,4
Aluminium	1 800	150	1 300	8,2	128
Arsenik	3,8	2,8	1,0	1,6	<1
Bly	9,6	3,0	3,41	<0,2	<0,2
Kadmium	0,57	0,06	<0,05	<0,05	<0,05
Koppar	83	100	31	<1	<1
Krom	5,1	1,1	4,5	<0,5	<0,5
Kvicksilver	28	2,1	0,17	0,029	0,05
Nickel	14	5,5	12	3,9	8,1
Zink	390	44	52	2,2	0,05

Tabell 19. Analysresultat. Behandling av samlingsprov från avvattning i liten geotextilpåse av oflockat sediment från område F, försök FGT3 Analysprotokoll –1635, --1636, -- 0069 och --0070.

	FGT3:0 (µg/l)	FGT3--sed. (µg/l)	FGT3- sed.- flockat- filtrerat (µg/l)	FGT3:0 ALS- filtrerat (µg/l)	FGT3- sed.- flockat-filtrerat ALS-filtrerat (µg/l)
Järn	6 300	3 300	280	250	205
Aluminium	2020	200	91	9,8	14
Arsenik	3,8	2,8	2,3	2,6	2,0
Bly	38,3	4,7	2,8	<0,2	<0,2
Kadmium	0,49	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Koppar	240	29	35	<1	15
Krom	5,5	<0,9	<0,9	<0,5	<0,5
Kvicksilver	38	3,7	0,77	0,025	<0,02
Nickel	12	6,6	6,2	4,0	5,6
Zink	370	35	62	4,8	38

De avsevärt lägre halterna av järn och aluminium i detta försök utan flockning med polymer före avvattningen jämfört med försök FGT1, tabell 18 kan bero på olika påsmaterial eller, mer sannolikt, på att sedimenten i försök FGT1 togs från hinkarna F4 och F6 medan försök FGT3 utfördes med sediment från hinkarna F3, F9 och F10.

Tabell 20. Analysresultat. Behandling av samlingsprov från avvattning i liten geotextilpåse av flockat blandsediment från område Ö2, försök Ö2GT Analysprotokoll –1687, –1688, --2171 och 2172.

	Ö2GT:0 (µg/l)	Ö2GT:fs flockat--sed. (µg/l)	Ö2GT:f,F flockat-sed.- flockat- filtrerat (µg/l)	Ö2GT:0 ALS- filtrerat (µg/l)	Ö2GT:s,F sed.- flockat-filtrerat ALS-filtrerat (µg/l)
Järn	13 500	12 200	3 100	250	96
Aluminium	1 200	830	220	13	3,7
Arsenik	13	15	12	3,3	2,7
Bly	5,2	4,6	0,76	<0,2	<0,2
Kadmium	0,10	0,09	0,05	<0,05	<0,05
Koppar	37	38	86	6,3	11
Krom	3,6	2,5	1,4	<0,5	<0,5
Kvicksilver	1,3	1,1	0,04	<0,02	<0,02
Nickel	7,4	5,7	7,6	3,6	3,9
Zink	52	30	27	13,5	16

Filtratet innehöll en del svårsedimenterad suspenderad substans bestående av knappt synliga fiberrester. Därför flockades vattnet med polymer C491 före sedimenteringen. Vattnet förblev dock opakt.

Tabell 21. Analysresultat. Behandling av samlingsprov från avvattning i liten geotextilpåse av flockat blandsediment från områdena Ö1 och Ö3 försök (Ö1+Ö3)GT Analysprotokoll – 1692, och 1693.

	(Ö1+Ö3)GT:0 (µg/l)	(Ö1+Ö3)GT flockat--sed. (µg/l)	(Ö1+Ö3)GT sed.-flockat- filtrerat (µg/l)	(Ö1+Ö3)GT:0 ALS-filtrerat (µg/l)	Ö1+Ö3)GT sed.-flockat- filtrerat ALS-filtrerat (µg/l)
Järn	12 600	8 200	3 100	2 600	760
Aluminium	1 600	649	220	73	28
Arsenik	31	22	12	10	8,2
Bly	2,3	1,0	0,76	<0,2	<0,2
Kadmium	0,071	<0,05	0,05	<0,05	<0,05
Koppar	48	71	86	3,0	33
Krom	4,8	2,5	1,4	0,71	<0,5
Kvicksilver	0,079	0,03	0,04	<0,02	<0,02
Nickel	7,8	5,7	7,6	4,0	5,9
Zink	50	30	27	9,5	18

Försöksvattnet flockades på samma sätt som i försöket enligt tabell 20.

9 Kommentarer till vattenanalyser och behandling av vattenfas

Samtliga försöksvatten innehåller höga halter järn och i vissa fall även av aluminium. I fibervattnet är halterna måttliga men i några av vattnen från de övriga områdena är halterna ganska höga. ALS har på önskemål kontrollerat några analyser och fann inget fel. Det har visat sig att sedimentytorna blir rostfärgade vid exponering mot luften. Järnet tycks dock inte förekomma i löslig form i nämnvärda mängder, varken som tvåvärt eller trevärt i sedimenten från de övriga områdena. Luftning av vattnen vid såväl lågt som högt pH-värde i flera timmar gav endast lätt rödaktig färg av trevärt järn men däremot kunde mindre mängder röda korn observeras indikerande närvaro av oxider som är tunga och endast lösliga vid den uppslutning som görs hos ALS. Järn torde inte vara något problem från miljösynpunkt men lösligt järn kan användas som ett effektivt koaguleringsmedel för utfällning av andra föroreningar vilket är möjligt i F-sedimenten där järnet befanns vara mer lättoxiderat. Slutligen bör

10 Geotekniska undersökningar

De geotekniska undersökningarna utfördes av Sweco Geolab, dels på utvalda sediment avvattnade genom tryckförsök respektive geotextilpåsar, dels på sediment från område

20 (23)

RAPPORT
2016-02-19

AVVATTNINGSFÖRSÖK SEDIMENT – UTÖKADE FÖRSÖK
2015

Ö2 som stabiliserats genom tillsats av cement eller en blandning av cement och Merit. Vid sedimentering av prov från Ö2 utan polymertillsats blev sedimentfasens volym 124 % av in situ-volymen efter sedimentering ett dygn vilket kan jämföras med 146 % vid sedimentering efter flockning med polymer (tabell 2). Stabiliseringsförsöken med cement och Merit i sedimenten från Ö2 utfördes således efter sedimentering utan polymer för att hålla vattenmängden nere.

Undersökningarna omfattade bestämning av provernas vattenkvot, densitet och skjuvhållfasthet vid tryckförsök. De stabiliserade proverna undersöktes en vecka efter inblandningen. Upprepning av mätningarna är planerade att ske efter ytterligare tre veckor och slutligen ett år efter inblandningen. Undersökningarna en vecka efter inblandningen redovisas i bilaga 3 och sammanfattas i tabellerna nedan.

Tabell 22 Geotekniska undersökningar. Prov stabiliserade genom mekanisk avvattning. Sammanfattning av resultat efter en vecka.

Parameter	Prov						
	Avvattning tryckfilter			Avvattning geotextilpåsar			
	FT	Ö2T	FÖT	FGT2	(Ö1+Ö3)GT	Ö2GT	FÖGT
Skjuvhållfasthet (kPa), tryckförsök	66	38	32	37	28	7	12
Vattenkvot %	242	134	105	315	56	262	144
Densitet t/m ³	0,97	1,28	1,27	0,97	1,56	1,16	1,23

Resultaten indikerar att en acceptabel hållfasthet vid exempelvis deponering kan uppnås vid avvattning av fibersedimenten såväl genom tryckfilter (FT) som genom geotextilpåsar (FGT2). För sedimentet från område Ö2 gav tryckfiltreringen (Ö2T) också en acceptabel skjuvhållfasthet medan resultatet från avvattning genom geotextilpåsen (Ö2GT) ligger långt under. Hållfastheten för det geotextilavvattnade blandsedimentet (Ö1+Ö3)GT blev något lägre blandsedimentet FGT2 men en fungerande tryckfiltrering torde ha gett ett betydligt bättre resultat.

Det ska också nämnas att resultaten för de i tryckfilter avvattnade proverna är genomgående bättre än för de prover som avvattades i kammarfilterpress 2013, i synnerhet för fibersedimentet.

Tabell 23 Geotekniska undersökningar. Prover från område Ö2 stabiliserade genom tillsats av cement och Merit. Lagrade 7 dagar vid 7°C.

Parameter	Prov Ö2.1+Ö2.2		
	Tillsats cement/Merit, g/l		
	200/0	300/0	210/90
Skjuvhållfasthet (kPa), tryckförsök	10	22	19
Vattenkvot %	234	177	188
Densitet t/m ³	1,19	1,25	1,24

Proverna var fortfarande något blöta vid mätningen. Försöken kommer att upprepas efter härdning i 4 veckor respektive 1 år.

11 Slutsatser

Genomförda försök med sediment från Karlshäll visar på relativt goda avvattningsegenskaper för samtliga undersökta sedimenttyper. Föregående behandling med polyelektrolyt förkortar avvattningstiden vid mekanisk avvattning med övertryck (ex silbandspress eller kammarfilterpress). Fibersedimenten som innehåller huvuddel av aktuell förorening i form av kvicksilver avvattnas lätt med gravimetrisk avvattning i s.k. geotubmaterial vilket även gäller övriga sedimenttyper med lägre fiberandel. Fibersedimentens torrhalt ökar något vid frysning samt kan efter ytterligare lufttorkning även nå goda förbränningsegenskaper. Förbränningsegenskaperna bör beaktas vid beslut om slutliga metoder för avvattning och omhändertagande.

Sedimentationsegenskaperna varierar mellan de olika undersökta sedimenten efter spädning till motsvarande ett sugmuddrat sediment. Sammantaget kan dock en huvuddel av erhållet suspenderat material avskiljas efter ca 1 dygns sedimentationstid i öppna ex dammar.

Klarvattenfasen efter sedimentering uppvisar i huvudsak partikelbunden förorening. Efter filtrering är metallhalterna genomgående låga. Kviksilverhalten i filtrerad klarfas ligger inom intervallet <0,02 – 0,8 ug/l. pH-värdet för undersökta vattenprover låg mellan pH 6,5 – 7.

Genomförda geotekniska undersökningar avseende skjuvhållfasthet i tryckförsök visar på varierande hållfasthet hos avvattnade sediment. Hållfastheten bedöms dock sammantaget tillräcklig för att konstruktionsmässigt kunna deponera avvattnat sediment från saneringsområdet med reservation för fibersediment som vid tryckförsöken uppvisar svårtolkade resultat p.g.a. dess fiberinnehåll. Undantag är sediment av typ halvfiber vilka uppvisar relativt låg hållfasthet vid gravimetrisk avvattning i geotub och bör i ur denna aspekt avvattnas mekaniskt.

SWECO ENVIRONMENT AB
REGION ÖST VATTEN



Niclas Lindström



Lars-Erik Glas