

Resultat från pilotförsök  
Masstabilisering

Rapport nr 2011:12 (fd. 2011:9)

Oskarshamns kommun

**2011-10-31**

## INNEHÅLL

<b>1</b>	<b>BAKGRUND OCH UTFÖRANDE AV PILOTFÖRSÖKET .....</b>	<b>3</b>
1.1	SYFTET MED PILOTFÖRSÖKET .....	3
1.2	BESKRIVNING AV PILOTFÖRSÖKET .....	4
1.2.1	<i>Pråmalternativet</i> .....	7
1.2.2	<i>Masstabiliseringsalternativet</i> .....	7
<b>2</b>	<b>GENOMFÖRDA UNDERSÖKNINGAR .....</b>	<b>12</b>
2.1	GEOTEKNISKA KONTROLLER .....	12
2.2	MILJÖKONTROLLER.....	12
<b>3</b>	<b>RESULTAT .....</b>	<b>14</b>
3.1	MUDDRING.....	14
3.2	HANTERBARHET VID SCHAKTNING .....	14
3.3	GEOTEKNISKA EGENSKAPER.....	16
3.3.1	<i>Jämförelse med laboratorieförsök</i> .....	20
3.4	MILJÖTEKNISKA EGENSKAPER.....	20
3.4.1	<i>Vattenanalyser på porvatten</i> .....	20
3.4.2	<i>Hydrauliska tester</i> .....	22
<b>4</b>	<b>SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER .....</b>	<b>25</b>
4.1	REKOMMENDATIONER.....	25
<b>5</b>	<b>REFERENSER.....</b>	<b>26</b>

Bilaga 1	Översiktsplan (M 01 från anmälan)
Bilaga 2	Utformning av pilotyta, plan och sektion (M 03)
Bilaga 3	Resultat beräkning av hydraulisk konduktivitet
Bilaga 4	Totalhalter i sediment
Bilaga 5	Vattenanalyser från miljörör, provyta 1-5

## 1 Bakgrund och utförande av pilotförsöket

Oskarshamns kommun är huvudman för projektet "Sanering av hamnbassängen i Oskarshamns hamn" vilket i huvudsak finansieras av Naturvårdsverket. Det övergripande målet med projektet är att långsiktigt minska spridning av prioriterade tungmetaller och organiska miljögifter från sedimenten i hamnbassängen. Tillståndsansökan för verksamheten ingavs till miljödomstolen i mars 2011 och dom förväntas vid årsskiftet 2011/2012.

Projektet omfattar förutom muddring av förorenade sediment även behandling av de förorenade sedimenten genom stabilisering/solidifiering så att dessa kan nyttiggöras som konstruktionsmaterial vid utfyllnader i hamnområdet. Saneringen är tänkt att omfatta hela den inre hamnbassängen och i mån av ekonomiska resurser två djuphålur i inloppet. Totalt kommer ca 500 000 m<sup>3</sup> förorenade bottensediment att omhändertas på ett sådant sätt att framtida utläckage av tungmetaller och dioxiner förhindras.

En delmängd av de förorenade sedimenten, ca 100 000 m<sup>3</sup> kommer att muddras för att skapa plats för den nya färjeterminalen för Gotlandstrafiken. Detta görs i ett tidigt skede i projektet vilket gör att dessa volymer kommer att omhändertas på extern deponi.

Oskarshamns kommun gjorde i april 2011 en anmälan om vattenverksamhet avseende grävuddring inför planerat pilotförsök med stabilisering/solidifiering av förorenade muddermassor från hamnbassängen i Oskarshamns hamn.

### 1.1 Syftet med pilotförsöket

Syftet med pilotförsöket har varit att:

- o att klarlägga hur väl erhållna laboratorieresultat av stabiliserade/solidifierade (s/s) sediment med olika bindemedelsmängd står sig i jämförelse med utförande i full skala. Dessutom utvärderas vilka hållfastheter som uppnås vid inblandning i fält samt hur stor spridningen i hållfasthet blir.
- o att testa olika tekniker för hantering och utläggning av s/s behandlade muddermassor.
- o mäta utlakning av föroreningar i porvatten från den stabiliserade fyllningen samt permeabilitetsbestämning i de olika delytorna.

Utförande och resultat från pilotförsöket avseende geotekniska resultat och miljökontroller i sin helhet redovisas i denna rapport.

## 1.2 Beskrivning av pilotförsöket

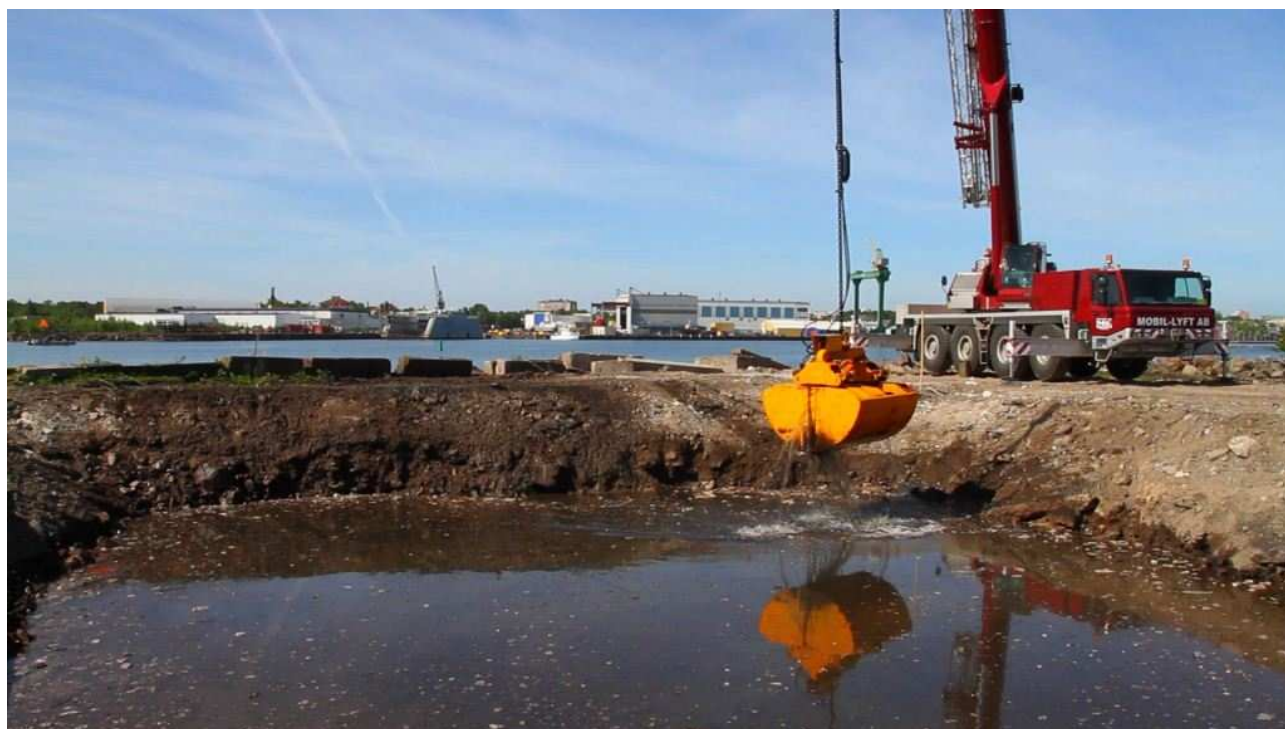
Grävningen av de två bassängerna utfördes under maj och juni 2011 i östra delen av hamnen, se Figur 1 och *bilaga 1*, i anslutning till en befintlig lagun.



**Figur 1** Översiktsbild med pilotytan

Själva försöksytan består av två bassänger, ca 10\*10 m + 5\*9 m och ett djup på ca 3 m, se *bilaga 2*. Avsikten med två försöksytor var att testa och utvärdera två alternativa metoder för hantering och uppläggning av s/s behandlade muddermassor, "pråmalternativet" i bassäng 2, se 1.2.1 och "masstabiliseringsalternativet" i bassäng 1, se 1.2.2.

Totalt muddrades 400 m<sup>3</sup> förorenade sediment från muddringsytan i havet utanför försöksområdet. Muddringen utfördes genom grävuddring med gripskopa monterad på en mobilkran med långt utligg, se Figur 2.



**Figur 2** Mobilkran med gripskopa lyfter in muddermassor till bassäng 1.



**Figur 3** Gripskopa vid lyft från vattnet.

När muddermassorna placerats i sina respektive bassänger togs samlingsprover av massorna ur bassäng 1. Samlingsprovet utgjordes av 5 stycken delprover fördelade över hela bassängens yta. Proverna togs i ytan.

Samlingsprovet skickades till laboratorium för analys av både jordartstyp och föroreningsinnehåll. Analysresultaten visade att de muddrade massorna är representativa för de sediment som finns utanför strandlinjen vid pilotförsöket. Detta gäller vid jämförelser av såväl jordartstyp, vattenkvot och föroreningshalter.

De muddrade sedimenten placerades i de båda bassängerna och efter 2 veckor inleddes inblandning av bindemedel med en masstabiliseringsutrustning, se Figur 4. Två olika bindemedelsmängder testades, 100 respektive 150 kg/m<sup>3</sup> i båda fallen bestående av 30 % Merit 5000 och 70 % Byggcement. Bindemedlet blandades i muddermassorna enligt ett förbestämt blocksystem, där det för varje block var bestämt hur mycket bindemedel som skulle blandas ner i massorna.



Foto Alf Lindmark

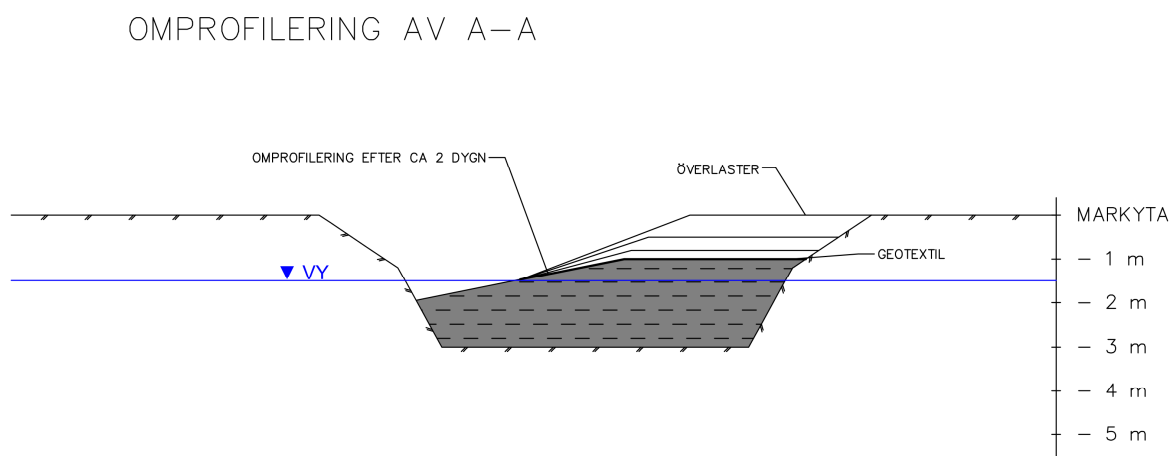
**Figur 4** Masstabilisering i bassäng 2. Deltagare vid i ett seminarium juni 2011 är åskådare

När muddermassorna s/s behandlats placerades en geotextil ut och däröver en överlast bestående av 1,0 m grus/bergfyllning på en av ytorna för respektive bindemedelsmängd vilket framgår av nedanstående beskrivning av alternativen. På ytorna utan överlast placerades ett 20 cm sand/gruslager så att ytan lättare kan beträdas för kontroll och mätningar. Syftet med överlasten är att komprimera de s/s behandlade muddermassorna och påskynda sättningsutvecklingen.

### 1.2.1 Pråmalternativet

Avsikten med pråmalternativet i bassäng 2 var i huvudsak att testa de stabiliserade massornas hanterbarhet som funktion av tid. Denna hantering skulle kunna vara ett alternativ till normal masstabilisering in-situ där stabiliserade muddermassor hanteras en viss tid efter att stabilisering är utförd. Exempelvis kan massorna stabiliserats redan i pråmarna för att efter några dygn läggas innanför invallningarna. Modelleringen av massorna skulle starta när skjuvhållfastheten översteg 8 kPa, d.v.s. ett försök att efterlikna en situation som motsvarar att massorna grävs upp från en pråm och placeras innanför invallningarna.

Under själva pilotförsöket fylldes hela bassängen med muddermassor till nivån ovanför befintlig vattenyta. Muddermassorna masstabiliserades därefter på traditionellt sätt med en bindemedelsmängd på 150 kg/m<sup>3</sup> (C/M 70/30). De s/s behandlade muddermassorna har 3 dygn efter inblandning schaktats mot ena sidan av bassängen i en brant vall för att uppnå en lutning på 1:6. Därefter placerades en överlast av 0,5 m ut på ytan. Målsättning var en betydligt brantare lutning på 1:3 eller 1:4. En schematisk bild av detta framgår av Figur 5.



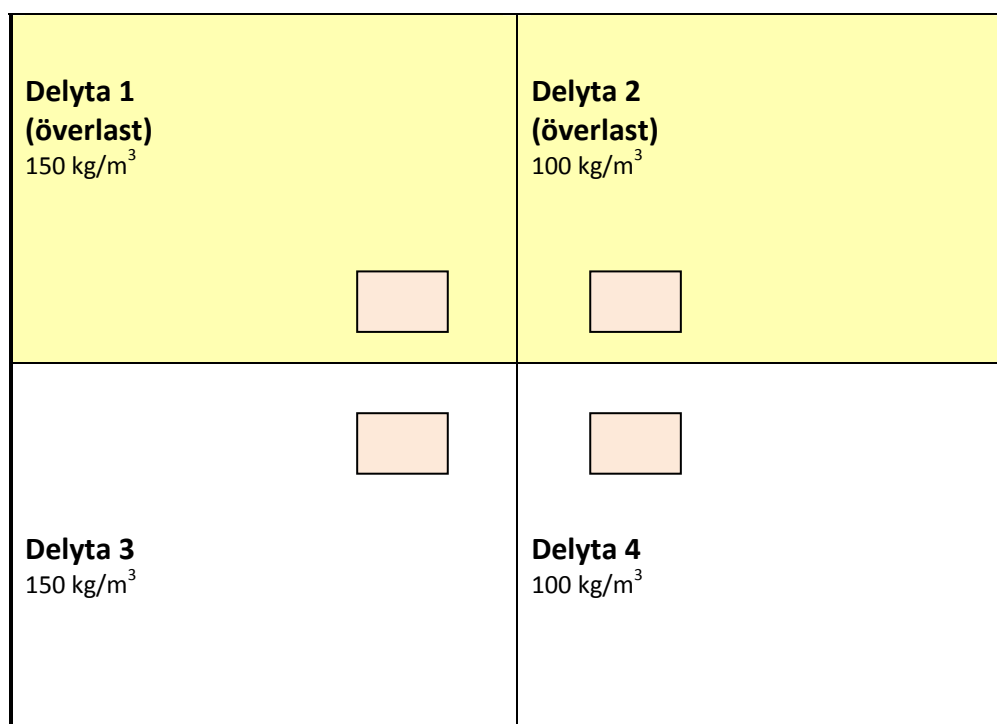
Figur 5 Uppschaktade massor med släntlutning

### 1.2.2 Masstabiliseringsalternativet

Masstabiliseringsalternativet innebär att masstabiliseringstekniken använts på ett traditionellt sätt med inblandning av bindemedel enligt ett förutbestämt mönster. Den bassäng som använts för detta alternativ indelades i fyra provtytor för att testa olika bindemedelsmängder och med eller utan överlast. Av tabell 1 framgår bindemedelsmängder och om överlast lagts ut eller ej för de olika provtytorerna. Av bilaga 2 framgår de olika provtytorerna.

**tabell 1** Bindemedelsmängder och överlast

Provyta	1	2	3	4
Bindemedelsmängd (C/M 70/30)	150	100	150	100
Överlast (1,0 m)	ja	ja	nej	nej



Mätstation vingborr och GV rör

**Figur 6** Bassäng 1 med delytor 1-4. Varje mätstation omfattar 4 st. provpunkter som sitter med avståndet 1 m från varandra.

Inom varje delyta upprättades en mätstation inom vilken tester gjordes med vingborr, se Figur 6. På delytorna 1, 2 och 5 placerades 4 st. plaströr (benämnda VB1, VB 2, VB3 och VB4) inom varje mätstation innan överlasten lades på plats. Detta för att möjliggöra vingborrningen genom överlasten. Hållfastheten i fyllningen kontrollerades i fyra olika tidssteg efter utförd stabilisering. Grundvattenröret i varje mätstation placerades ut efter första mättillfället, se Figur 7.



**Figur 7** Skyddsror utplacerade innan överlasten lagts på plats. Rör med VB 1 och GV rör längst till höger, VB 2 närmast, VB 3 längst till vänster.



**Figur 8** Uppbyggnad av mätstation delyta 1.



**Figur 9** Utlagd överlast Y1 och Y2

## 2 Genomförda undersökningar

### 2.1 Geotekniska kontroller

Syftet med pilotförsöket är att studera de geotekniska och miljötekniska egenskaperna. De geotekniska egenskaperna fokuserar på hur hållfastheten i de stabiliserade sedimenten utvecklas över tiden. Mätningar av hållfastheten i de stabiliserade sedimenten har genomförts under de 90 första dyggen.

I byggskedet är det huvudsakligen massornas skjuvhållfasthet som påverkar hur massorna kan hanteras och med vilka laster massor kan belastas. De egenskaper som är viktiga i driftskedet (i hamnverksamheten) är främst sättnings- och bärighetsegenskaper. Utfyllda områden som skall nyttiggöras som exempelvis upplagsytor för hamnens gods bör utformas så att framtida sättningar inte blir till ett hinder eller medför stort underhåll.

De geotekniska egenskaperna har utvärderats genom att kontrollera skjuvhållfastheten med vingborr efter olika tidpunkter enligt schema som framgår av tabell 2.

**tabell 2** Schema för kontroll av skjuvhållfastheten med vingborr

Tid efter stabilisering	Provyta 1-4	Provyta 5
3 dygn	x	x
19 dygn	x	x
47 dygn	x	x
82 dygn	x	x

### 2.2 Miljökontroller

#### *Vattenanalyser i miljörör*

De miljötekniska egenskaperna omfattar kontroll av innehåll av föroreningar i porvatten från de stabiliserade/solidifierade muddermassorna och eventuella förändringar över tiden.

Provtagning av vatten från miljörören har skett vid två tillfällen under de 90 första dyggen enligt schema som framgår av tabell 3. Provtagning har skett med typ Bailer hämtare (långsmal hämtare med automatisk bottenventil).

**tabell 3** Schema för provtagning av vatten i miljörör

Tid efter stabilisering	Provyta 1-4	Provyta 5
2 månader	x	x
3 månader	x	x

Utöver vattenprovtagning har även hydrauliska försök i grundvattenrören genomförts med slugtest. Utförande beskrivs närmare i bilaga 3.

### *Hydrauliska försök*

De hydrauliska försök som utförts är slugtest i grundvattenrör (miljörör) som monterats med skruvprovtagare i provytorna. Slugtesten är utförd med så kallad "Fallinghead" metoden. Rören är monterade direkt i de stabiliserade muddermassorna utan filtersand kring filterröret. Rören är försedda med bentonittätning. För att möjliggöra en snabbare avläsning av tryckförändringen tillsattes 2 liter rent vatten i GV 1 och GV 2 och med 1 liter rent vatten i övriga rör vid slugtesten. I tabell 4 redovisas bakgrundsdata rörande grundvattenrören och filter.

**tabell 4** Bakgrundsdata rörande grundvattenrör och filter

GV-rör	Rörets längd (m)	Filter längd (m)	Nivå filter mummy	Material vid filter
1	3	1,0	1,70-2,70	Stabiliserade muddermassor
2	3	1,0	1,50-2,50	Stabiliserade muddermassor
3	2	1,0	0,50-1,50	Stabiliserade muddermassor
4	3	1,0	1,0-2,0	Stabiliserade muddermassor
5	4	1,0	2,0-3,0	Stabiliserade muddermassor

Grundvattennivåmätningarna är utförda med grundvattenlogger, Schlumberger SWS diver och Minidiver som kompenseras för lufttrycksvariation under försöken. Lufttrycket har mätts en gång varannan minut. Loggning av grundvattennivån har gjorts var 30:e sekund under mätförloppet vid försöken i GV1 och GV 2. Vid försöken i GV 3 och GV 4 ökades mätintervallet till 5 minuter eftersom förloppet tog lång tid. Slugförsöket i GV 5 har utförts med endast manuell mätning. Verifierande mätning av grundvattennivån har utförts med manuell mätning före slugförsöket samt omedelbart innan grundvattenloggern plockats upp ur röret. Data från loggern har använts som rådata för beräkning i mjukvaran Aquifertest 2010.1. Beräkning av hydraulisk konduktivitet har för samtliga rör gjorts enligt Hvorslev (C.W.Fetter).

## **3 Resultat**

### **3.1 Muddring**

Anläggningsfasen avser anläggande av bassängerna, muddringen och stabiliseringen. Under anläggningsfasen genomfördes provtagning av sediment för att verifiera att dess egenskaper överensstämde med de sediment som testats i laboratorium. Några andra kontroller genomfördes inte. Vid okulär besiktning av vattnet i samband med grävuddringen bedömdes uppkommen grumling vara liten. Några störningar vid muddringen har inte rapporterats.

### **3.2 Hanterbarhet vid schaktning**

I det s.k. pråmalternativet testades hur de stabiliserade massorna beter sig 3 dygn efter utförd stabilisering. Provschaktning utfördes med grävmaskin med extra lång arm.

Grävmaskinen placerades i bassängens ena kortända. Grävaren hade tillräcklig räckvidd för att kunna nå över hela bassänglängden. Inledningsvis, i skede 1, schaktade grävaren upp massor och byggde upp en slänt med lutningen ca 1:4 med krönkant i bassäng mitt. Vid denna inledande schaktning behölls en zon om ca 1 m till omgivande slänter som inte rördes. Detta för att inte tillföra vatten till schaktmassorna från omgivande grusfyllning.

När även dessa delar schaktades bort rann vatten in i schakten från de omgivande slänterna. Vatteninblandningen påverkade schaktmassorna påtagligt. Den tidigare erhållna slänten i lutning ca 1:4 blev instabil och flöt ut till en lutning som var betydligt flackare, i storleksordningen 1:6. Se bilder Figur 10 och Figur 11.

Den erhållna slänten i lutning ca 1:6 låg i sitt jämviktsläge med en säkerhetsfaktor på 1 eller lägre vilket gjorde att påförandet av överlasten på den horisontella ytan ovan vatten genomfördes med stegvis upplastning. Den första överlasten som lades ut efter 3 dagar efter schaktning utgjordes av 20 cm grusfyllning ovanpå geotextil. Överlast steg 2 utfördes efter ytterligare 1 vecka upp till 0,5 m och därefter ytterligare 0,5 m överlast efter ytterligare en vecka.



**Figur 10** Bassäng 2 fylld med muddermassor.



**Figur 11** Provschaktning i bassäng 2. Skede 1 med en skyddszon mot vatteninträngning.



**Figur 12** Provschaktning i bassäng 2. Skede 1 uppbyggnad av slänt i lutning ca 1:4.

Slutsatsen blir att de stabiliserade massorna inte är hanterbara efter så kort tid som 3 dygn efter stabilisering om vatten finns tillgängligt och kan blandas in massorna som då blir mycket flytbenägna.

### 3.3 Geotekniska egenskaper

Efter olika tidpunkter har skjuvhållfastheten uppmätts med vingborr på olika djup i de s/s behandlade massorna. Varje mätning har genomförts i olika punkter eftersom mätningen i sig innebär att man borrar ner genom massorna och därmed påverkar materialets egenskaper. Provpunkterna ligger så nära varandra så möjligt inom en yta på 1 m<sup>2</sup>. Resultaten från varje provyta framgår av tabellerna nedan.

**tabell 5** Uppmätt skjuvhållfasthet för provyta 1

(150 kg/m<sup>3</sup> C/M 70/30 + överlast)

Vinge		1	F	F	F
Djup (m)	Antal dygn efter härdning	<b>3</b>	<b>19</b>	<b>47</b>	<b>82</b>
0,2				11	26
0,7		35	45	29	31
1,2		22	28	48	138
1,7		8	53	66	33
2,2		14			
Medelvärde		20	42	38	57
Std avvikelse		12	13	24	54

Anm:

Vinge 1: 170\*80 Stor Std med vingfaktor 0,5 med instrument

Vinge F:132\*85 Finsk med Vingfaktor 0,345 med momentnyckel

Djup=djup på de s/s behandlade massorna

**tabell 6** Uppmätt skjuvhållfasthet för provyta 2

(100 kg/m<sup>3</sup> C/M 70/30 + överlast)

Vinge		1	F	F	F
Djup (m)	Antal dygn efter härdning	<b>3</b>	<b>19</b>	<b>47</b>	<b>82</b>
0,2			3	3	13
0,7		25	31	23	124
1,2		>50	45	24	121
1,7		>50			
2,2		42			
Medelvärde		34	26	17	86
Std avvikelse		12	21	12	63

**tabell 7** Uppmätt skjuvhållfasthet för provyta 3

(150 kg/m<sup>3</sup> C/M 70/30 utan överlast)

Vinge		1	F	F	F
Djup (m)	Antal dygn efter härdning	<b>3</b>	<b>19</b>	<b>47</b>	<b>82</b>
0,3		5	13	3	11
0,8		30	48	102	21
1,4		11	53	67	45
1,8				28	24
Medelvärde		15	38	50	25
Std avvikelse		13	22	44	14

**tabell 8** Uppmätt skjuvhållfasthet för provyta 4

(100 kg/m<sup>3</sup> C/M 70/30 utan överlast)

Vinge		1	F	F	F
Djup (m)	Antal dygn efter härdning	<b>3</b>	<b>19</b>	<b>47</b>	<b>82</b>
0,3		3	13	4	6
0,8		29	17	14	17
1,4		10	20	14	7
1,8		22	14	29	17
Medelvärde		16	16	15	12
Std avvikelse		12	3	10	6

**tabell 9** Uppmätt skjuvhållfasthet för provyta 5

(150 kg/m<sup>3</sup> C/M 70/30 + överlast och ”omrört”)

Vinge		F	F	F
Djup (m)	Antal dygn efter härdning	<b>16</b>	<b>44</b>	<b>79</b>
0,7		11	5	17
1,2		7	12	9
1,7		17	7	10
2,2		10	10	13
2,7		16	17	
3,2		13	18	
Medelvärde		12	12	12
Std avvikelse		4	5	4

Uppmätta hållfastheter i de stabiliserade delytorna visar på stora inhomogeniteter när det gäller hållfastheten. Skjuvhållfastheten varierar kraftigt både i djupled och i plan inom samma delyta. Skjuvhållfastheten är högst för yta 1 och 2 (båda med överlast) och uppgår till 50-86 kPa som medelvärde efter 82 dygn. Hållfastheten i dessa delytor ökar som funktion av tid vilket inte kan ses på ett tydligt sätt för delytorna 3 och 4 som saknar överlast. Lägst är skjuvhållfastheten för yta 5 där skjuvhållfastheten i medeltal uppgår till 12 kPa efter 79 dygn.

Spridningen i hållfasthet är stor och därför blir tolkningen av erhållna resultat osäker. Trots skillnaderna i djupled inom de olika delytor med samma bindemedelsmängd, både med och utan överlast, indikerar resultaten ändå att överlasten har betydelse för hållfasthetsutvecklingen hos de olika delytorna.

För delytorna 1 och 3 med inblandningsmängden 150 kg/m<sup>3</sup> ökar hållfastheten som medelvärde efter 82 dygn med ca 200 % som funktion av överlast. Delytorna med den mindre inblandningsmängden 100 kg/m<sup>3</sup> ökar ca 700 % i hållfasthet. Skillnaden i resultat mellan de olika bindemedelsmängderna är inte så stor som kunde förväntas. Detta kan bero på att inblandad bindemedelsmängd har varit för hög i delyta 2.

Anledningen till att skjuvhållfastheten är lägst i ytan är sannolikt att masstabiliseringsutrustningen börjar blåsa ut bindemedlet en bit ner under ytan och inblandningen blir därför mindre i ytan. Den betydligt lägre skjuvhållfastheten i yta 5 orsakas sannolikt av den omblandning som gjordes i materialet efter att härdningen startat (ca 3 dygn). Strukturer i materialet som börjat byggas upp

har brutits och även en viss inblandning av mer vatten som fanns i bassängen har haft en negativ inverkan på hållfasthetsutvecklingen.

### 3.3.1 Jämförelse med laborieförsök

I tabell 10 jämförs muddermassor som stabiliseras i laboratorium med samma bindemedelrecept med uppmätta hållfastheter i pilotförsöket alla med ca 90 dagars härdningstid. Värderna från pilotförsöket avser medelvärden i hela jordprofilen. Spridning i hållfastheter gör tolkningarna osäkra. En tolkning kan vara att hållfastheter i fält utan överlast efter 90 dagar är lägre än laborievärden och in situ värden med överlast mer motsvarar tester i laboratorium. Värdet inom parentes anger pilotförsökets hållfasthet i procent av laborievärde. Skjuvhållfastheten uppmätt i laboratorium erhålls ur enaxliga tryckförsök medan in situ värden från pilotförsöket är mätt med vingborr, Svensk och Finsk typ.

**tabell 10** Skjuvhållfastheter erhållna vid laborietester och pilotförsöket

Inblandningsmängd	100 kg/m <sup>3</sup> kPa	150 kg/m <sup>3</sup> kPa
Laborium	20	78
Pilotförsök	14 (70 %)	24 (31 %)
Pilotförsök överlast	85 (425 %)	57 (73 %)

## 3.4 Miljötekniska egenskaper

### 3.4.1 Vattenanalyser på porvatten

Ett grundvattenrör har placerats ut i varje provyta. Vattenprover har tagits ut vid två tillfällen (efter 2 respektive 3 månader) efter avslutad stabilisering och analyserats avseende innehåll av metaller och dioxiner. Analysresultaten har jämförts med utlakade mängder från ostabiliserat sediment och stabiliserat sediment, se bilaga 5. Halterna har även jämförts med existerande svenska och internationella riktvärden.

Vid jämförelse mellan provytorna kan konstateras att utlakade halter av flertalet metaller är betydligt mycket lägre för provyta 4 än för övriga. Orsaken till detta är oklar. Det är svårt att se någon tydlig trend huruvida utlakade halter minskar med tiden. För vissa metaller och provytor minskar halterna medan för andra har halterna ökat. Provtagning i grundvattenrören planeras efter 6 månader och eventuellt även efter 1 år varefter en bättre jämförelse över tiden sannolikt kan göras.

Avseende dioxiner kan konstateras att utlakade halter från provytorna generellt är låga och i många fall under detektionsgränsen, se bilaga 5. Skillnaden mellan provytorna är små.

### ***Sediment för pilotförsök***

Sedimenten som s/s behandlats har muddrats upp från området som i projektet benämns Månskensviken. Sedimentet från Månskensviken är det mest förorenade i hela hamnbassängen. Prover har tagits för kemiska analyser från bassäng 1 och 2 inom pilotförsöket och dessa har jämförts med medelvärde av tidigare analyser, se bilaga 4. Av resultaten framgår att sedimenten som använts för pilotförsöket kan anses representativa för Månskensviken avseende föroreningsinnehåll. För några ämnen är halterna lägre medan andra är högre. Som högst är halterna en faktor 1,4 högre och som lägst 0,8 i muddermassorna för pilotförsöket jämfört med resultat från tidigare sedimentundersökningar. Sedimenten klassificeras som farligt avfall<sup>1</sup> med hänsyn till innehållet av zink (Zn).

### ***Jämförelse med utlakning från s/s behandlade sediment i laboratorium***

Lakningsförsök med skaktest vid förhållandet mellan lakvätska och fast fas, L/S=10, har utförts i laboratorium på stabiliserat/solidifierat (s/s) sediment och på obehandlat sediment. I bilaga 5 redovisas resultat från lakning av stabiliserade sediment efter 35 respektive 91 dygns härdning för två olika bindemedelsrecept 100 kg/m<sup>3</sup> respektive 150 kg/m<sup>3</sup> (C/M 70/30<sup>2</sup>). För receptet med 100 kg/m<sup>3</sup> har lakningsförsök enbart genomförts efter 35 dygn. För bindemedelsreceptet med 150 kg/m<sup>3</sup> redovisas resultat för s/s behandling av två olika sediment, ett samlingsprov från hela hamnbassängen och från Månskensviken. Lakvattnet från stabiliserat för Månskensviken har analyserats avseende dioxiner och stabiliserat för samlingsprovet avseende metaller. Som framgår av bilaga 5 har stabiliseringen reducerat utlakade mängder jämfört med ett obehandlat sediment, framförallt för bly (Pb) men även för arsenik (As) och viss mån zink (Zn). För ämnena molybden (Mo), nickel (Ni) och selen (Se) har utlakningen ökat. Detta gäller både efter 35 och 91 dygn.

Vid jämförelse mellan utlakade halter vid lakförsök i laboratorium och halterna i grundvattenrören i pilotförsöket kan konstateras att halterna i grundvattenrören för metallerna As, Cu, Pb och Zn är betydligt högre än från de laboratorietillverkade stabiliserade provkropparna. Halterna för Cu, Pb och Zn är även högre än utlakade halter från obehandlat sediment<sup>3</sup>. Utlakade halter As från pilotytan ligger i nivå med utlakade halter från obehandlat sediment (samlingsprov). Halterna av Mo och Ni ligger i samma storleksordning som för laboratorietillverkade prover men betydligt högre än utlakning från obehandlat sediment.

Avseende dioxiner kan konstateras att utlakade halter från provytorna generellt är betydligt mycket lägre än utlakning från ett ostabiliserat sediment, se bilaga 5. Denna slutsats verifieras då resultat från laboratorieförsök med stabiliserat sediment jämförs med obehandlat sediment. Efter 35 dygns härdning i laboratorium är halten en faktor 600 ggr lägre än för det obehandlade sedimentet. Efter 91 dygns härdning har halten sjunkit ytterligare en faktor 10. Slutsatsen är att genom stabiliseringen sker det en bra fastläggning av dioxiner.

Vid jämförelse av utlakning av dioxiner från stabiliserade prover i laboratorium och vattenprover från grundvattenrör är halterna generellt lägre från pilotytan. Avseende ackumulerade utlakade mängder dioxiner (summa WHO-PCDD/F-TEQ upper-bound) är halterna i lakvattnet från pilotytan

<sup>1</sup> Avfall Sverige, rapport 2007:01, Uppdaterade bedömningsgrunder för förorenade massor.

<sup>2</sup> C=Cement, M=Merit 5000.

<sup>3</sup> Vid jämförelsen har både sediment Månskensviken och samlingsprovet beaktats

en faktor 5 lägre än utlakade halter efter 91 dygns härdning i laboratorium. Inga detekterbara halter har kunnat mätas för summa WHO-PCDD/F-TEQ lower-bound utom för provyta 4 där halterna dock är låga.

### ***Jämförelse med rikt- och gränsvärden och erfarenheter från andra projekt***

Naturvårdsverket har tagit fram förslag till gränsvärden för särskilt förorenade ämnen (ref 1). Föreslagna gränsvärden för krom (Cr) är 3 µg/l, zink (Zn) 8 µg/l och koppar (Cu) 4 µg/l. Vid jämförelse med dessa gränsvärden ligger halterna för krom i grundvattenrören under gränsvärdet medan zink och koppar ligger betydligt över gränsvärdet (faktor 50-100) utom för provyta 4. Lakvattnet behöver spädas från en faktor 60 upp till 200 för att komma ner under gränsvärdena (exkluderat provyta 4). Vid jämförelse med kvalitetskrav för ytvatten som anges i dotterdirektivet (2008/105/EG) till ramdirektivet för vatten ligger halterna i grundvattenrören under eller i nivå med kvalitetskravet för kadmium (Cd) utom för provyta 4 där halten är en faktor 2 högre. Halterna av nickel (Ni), bly (Pb) och kvicksilver (Hg) överskrider kvalitetskravet med en faktor 5-15 utom för provyta 4 där halterna är lägre eller i nivå med kvalitetskraven.

I pilotförsök som genomfördes i Oxelösund (Stegeludden) togs prov på porvatten med sk BAT-provtagare. Bindemedelsreceptet för stabilisering/solidifiering av de förorenade sedimenten var 150 kg/m<sup>3</sup> C/M 50/50. Prover på porvatten tog under några tillfällen mellan 63-454 dygn. Resultaten visar på en tydlig trend att halterna av metallerna As, Cd, Cr, Hg och Pd minskade och avklingade med tiden medan Ni låg på en relativt konstant nivå. Utgående från dessa erfarenheter är det som tidigare nämnts av intresse att se hur utlakade halter förändras över tiden.

Några svenska riktvärden för dioxiner i grund- eller ytvatten finns inte. Som jämförelse har därför holländska riktvärden<sup>4</sup> använts. Uppmätta halter i lakvattnet från pilotytorna är en faktor 2-3 högre än det holländska riktvärdet. Vid jämförelse med Livsmedelsverkets riktvärden för dricksvatten<sup>5</sup> ligger summa WHO-PCDD/F-TEQ upper-bound en faktor 2 över detta riktvärde för alla provytorna.

### **3.4.2 Hydrauliska tester**

Resultaten från genomförda beräkningar av den hydrauliska konduktiviteten redovisas i diagram i bilaga 3. I diagrammen framgår plottade datapunkter samt anpassade linjer och typkurvor med beräkningsresultat. I tabell 11 visas en sammanställning av resultaten.

<sup>4</sup> VROM 2009, Halter högre än riktvärdet är indikativt för allvarlig grundvattenförorening

<sup>5</sup> Tolerabelt dagligt intag

**tabell 11 Beräknad hydraulisk konduktivitet för provyta 1-5**

Provyta 1	Provyta 2	Provyta 3	Provyta 4	Provyta 5
Med överlast	Med överlast	Utan överlast	Utan överlast	Med överlast
$1,44 \cdot 10^{-8}$ (m/s)	$1,73 \cdot 10^{-8}$ (m/s)	$6,01 \cdot 10^{-8}$ (m/s)	$11,1 \cdot 10^{-8}$ (m/s)	$1,48 \cdot 10^{-8}$ (m/s)

Vid jämförelse av resultaten för de olika provytorna kan konstateras att permeabiliteten är lägre för provytorna med överlast. Permeabiliteten är en faktor 4-8 lägre med överlast.

Resultaten av de hydrauliska testerna bedöms ge en rimlig bild av den hydrauliska konduktiviteten vid filtret i grundvattenrören.

Rören har monterats utan filtersand kring filtterröret. Eventuellt leder det till en underskattning av den hydrauliska konduktiviteten eftersom de stabiliserade muddermassorna då ligger an direkt mot filtrets utsida. Det kan då uppstå inaktiva zoner mellan varje slits på filtterröret så att den aktiva delen av filtterröret blir kortare än 1 meter som antagits i beräkningarna.

#### ***Jämförelse med laborieförsök***

I tabell 12 redovisas en jämförelse mellan beräknad hydraulisk konduktivitet/permeabilitet för de olika provytorna i pilotförsöket och uppmätt permeabilitet för stabiliserade sedimentprover i laboratorium.

**tabell 12 Jämförelse av permeabilitet (hydraulisk konduktivitet) mellan pilotförsök och laboratorium**

			PERMEABILITET			
Bindemedelsmängd (C/M 70/30)	Härddningstid (dygn)	Överlast	150	100	150	100
<b>Pilotförsök</b>						
Provyta 1	Ca 90	1,0 m <sup>1)</sup>	1,44*10 <sup>-8</sup>			
Provyta 2	Ca 90	1,0 m <sup>1)</sup>		1,73*10 <sup>-8</sup>		
Provyta 3	Ca 90	Nej			6,01*10 <sup>-8</sup>	
Provyta 4	Ca 90	Nej				11,1*10 <sup>-8</sup>
Provyta 5	Ca 90	1,0 m	1,48*10 <sup>-8</sup>			
<b>Laboratorieförsök</b>						
BL 4 <sup>2)</sup>	42	18 kPa	1,8*10 <sup>-9</sup>			
BL 4 <sup>2)</sup>	92	18 kPa	8,3*10 <sup>-9</sup>			
<i>Sediment Månskensviken</i>			<i>3*10<sup>-9</sup> (OBS – ostabiliserat)</i>			
<i>Sediment Öster om Rävsmålan</i>			<i>5*10<sup>-9</sup> (OBS – ostabiliserat)</i>			

1) 1,0 m överlast motsvarar ca 18 kPa

2) Sediment från Månskensviken (prov 39)

Som framgår av jämförelsen ligger permeabiliteten för bindemedelsreceptet 150 kg/m<sup>3</sup> C/M 70/30 en faktor 2-10 högre i pilotförsöket jämfört med motsvarande blandning från laboratorieförsök. Permeabiliteten som erhållits i fält bedöms vara bra trots att de stabiliserade massorna uppvisar inhomogenitet avseende hållfastheten. Som jämförelse kan nämnas att en tät lera har en permeabilitet på ca 1\*10<sup>-9</sup> m/s.

## 4 Slutsatser och rekommendationer

Nedan sammanfattas slutsatser avseende utförande och geotekniska egenskaper samt miljötekniska egenskaper.

*Utförande och geotekniska egenskaper:*

- Hållfastheten varierar kraftigt på djupet och i plan.
- Masstabilisering är en fungerande metod om än med stor spridning i hållfastheter.
- Vatteninblandning i ett tidigt skede ger kraftigt försämrade egenskaper både på kort och lång sikt.
- Kopplingen mellan laboratorieförsök och in situ värden avseende hållfasthet finns (förutom för delyta 2) och är användbar.
- Arbetsmetodiken vid inblandning bör förbättras för att erhålla en bättre homogenitet.

*Miljötekniska egenskaper:*

- Uppmätta dioxinhalter i porvatten från pilotytan är mycket låga och en bra fastläggning av dioxiner sker i samband med stabilisering/solidifiering av sedimentet
- Uppmätta halter av metaller från pilotytan avseende As, Cu, Pb och Zn är betydligt högre än från de laboratorietillverkade stabiliserade provkropparna. Halterna för Cu, Pb och Zn är även högre än utlakade halter från obehandlat sediment.
- Utlakade halter As från pilotytan ligger i nivå med utlakade halter från obehandlat sediment (samlingsprov). Halterna av Mo och Ni ligger i samma storleksordning som för laboratorietillverkade prover men betydligt högre än utlakning från obehandlat sediment.
- Vid jämförelse av resultaten för beräkning av permeabiliteten för de olika provytorna kan konstateras att den är en faktor 4-8 lägre för provytorna med överlast.
- Beräknad permeabilitet/hydraulisk konduktivitet från pilotytan är en faktor 2-10 högre än erhållna värden från laboratorieförsök.

### 4.1 Rekommendationer

- Fortsatt provtagning och uppföljning kommer att ske efter 6 månader och eventuellt 1 år varefter kompletterande utvärdering kommer att ske.
- Borra ut provkroppar från provytorna för kontroll av bindemedelmängd på olika nivåer samt hållfasthet och permeabilitet.
- Undersöka betydelsen av konsolideringen, dvs överlastens betydelse för utlakningen och utpressning av porvatten över tiden

## 5 Referenser

1. Förslag till gränsvärden för särskilda förorenade ämnen, rapport 5799, Naturvårdsverket, 2008.
2. Fetter, C.W., 1994. Applied Hydrogeology, Third Edition, Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, New Jersey, 691 p.



















