

# Förslag till utredning för genomförande av utredningsvillkor i mark- och miljööverdomstolens avgörande i mål M 10715-12

Rapportnr. O-hamn 2013:1

2013-09-13, rev. 2013-10-07



Författad av  
Pär Elander<sup>1</sup>

## Innehåll

---

<sup>1</sup> På uppdrag av ledningsgruppen för projekt Sanering av Oskarshamns hamnbassäng som i sin helhet medverkat i arbetet med att ta fram detta utredningsförslag

<b>1</b>	<b>BAKGRUND .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>HITTILLS GENOMFÖRDA UNDERSÖKNINGAR AV UTLAKNING .....</b>	<b>4</b>
2.1	UNDERSÖKTA SEDIMENTPROVER.....	4
2.2	LAKTESTER MED AVSEENDE PÅ METALLER.....	4
2.3	LAKFÖRSÖK MED AVSEENDE PÅ ORGANISKA FÖRORENINGAR.....	8
2.4	RESULTAT FRÅN PILOTFÖRSÖK I FÄLT.....	10
2.5	SLUTSATSER FRÅN HITTILLS UTFÖRDA FÖRSÖK.....	11
<b>3</b>	<b>KOMPLETTERANDE FÖRSÖK PÅ LAGRADE PROVER.....</b>	<b>13</b>
3.1	KARAKTERISERING AV ORGANISKA ÄMNER I LAKVATTEN.....	13
<b>4</b>	<b>ANVÄNDNING AV ANDRA BINDEMEDEL ELLER ADDITIV VID STABILISERING PÅ NYA INSAMLADE PROVER.....</b>	<b>14</b>
4.1	ALLMÄNT.....	14
4.2	FÖRNYAD PROVTAGNING .....	14
4.3	BASLINJEUNDERSÖKNING - VARIATIONER MELLAN OMRÅDEN .....	15
4.4	EFFEKTER AV TILLSATS AV AKTIVT KOL.....	15
4.5	PROVNING MED MONOFILL SOM BINDEMEDEL .....	16
4.6	TILLSATS AV JÄRNKLORID OCH KALK .....	16
<b>5</b>	<b>MEKANISK/FYSIKALISK STABILISERING .....</b>	<b>16</b>
5.1	UNDERSÖKNINGAR AV FÖRORENINGSTRANSPORT .....	17
5.2	GEOTEKNISKA UNDERSÖKNINGAR.....	17
<b>6</b>	<b>UTREDNING AV FÖRDELNINGEN AV ORGANISKA FÖRORENINGAR TILL DOC OCH STABILISERINGENS BETYDELSE .....</b>	<b>17</b>
<b>7</b>	<b>UTREDNINGSVILLKOR U2 .....</b>	<b>18</b>
<b>8</b>	<b>TIDPLAN .....</b>	<b>18</b>

## Bilagor

Bilaga 1      Försöksschema

| Revideringsmarkering

# 1 Bakgrund

I projektet sanering av Oskarshamns hamnbassäng har omfattande undersökningar genomförts för att klarlägga möjligheterna att stabilisera och nyttiggöra muddermassor för anläggningsändamål i hamnen. Utförda försök har omfattat undersökningar av effekter med användning av bindemedlen cement (C) och granulerad masugnsslagg (M) i varierande proportioner och med varierande tillsatsmängder. De egenskaper som provats omfattar bestämning av skjuvhållfasthet, deformationsegenskaper och utlakning av föroreningar.

Cement och granulerad masugnsslagg är de bindemedel som vanligtvis används för stabilisering av förorenade muddermassor som nyttiggörs vid hamnutbyggnader. De försök som utförts med massorna från Oskarshamns hamnbassäng visar en gynnsam effekt såtillvida att utlakningen av dioxiner och PCB är betydligt mindre från stabiliserade än från ostabiliserade muddermassor. Samtidigt visar massor stabiliserade med dessa bindemedel en ökad utlakning av flera tungmetaller och av DOC (löst organiskt kol).

Resultaten i laborieförsök bekräftas av resultat från provtagning av porvatten i den fyllning och stabilisering som genomförts inom ramen för ett pilotförsök i hamnen. Det senare försöket visar dessutom att halterna av vissa metaller i porvatten initialt kan bli högre än vad som indikerats vid lakförsök i laboratorium.

Med hänsyn till de erhållna resultaten finns ett behov av att ytterligare undersöka olika stabiliseringsmetoders effekter på muddermassornas egenskaper innan ett slutligt beslut fattas om val av metod och bindemedel för stabilisering. Kommunens tillstånd att nyttiggöra muddermassorna har därför förenats med utredningsvillkor från Mark- och miljööverdomstolen i uppskjutna frågor enligt vilka kommunen ska redovisa följande utredningar samt förslag till villkor till Mark- och miljödomstolen i Växjö:

1. Erfarenheter av olika behandlingsmetoder och tillvägagångssätt för att stabilisera de muddermassor som ska nyttiggöras för anläggningsändamål vid Grimskallen. Utredningen ska beskriva olika metoder (kemiska och mekanisk/fysikaliska) utifrån deras förutsättningar att säkerställa en stabil konstruktion och motverka utlakning av föroreningar. Beträffande kemisk stabilisering ska erfarenheter av olika stabiliseringsmedel och inblandningsförhållanden beskrivas. Arbetet ska ske i samråd med tillsynsmyndigheten och Naturvårdsverket.
2. Erfarenheter av materialval, utformning och utförande av tätskikt ovanpå stabiliserade muddermassor vid Grimskallen. Utredningen ska beskriva olika utföranden av tätskikt utifrån deras förutsättningar att säkerställa att skador på tätskiktet inte kan uppkomma till följd av sättningar och att lakvattenbildningen långsiktigt blir mindre än  $5 \text{ l/m}^2$  per år. Arbetet ska ske i samråd med tillsynsmyndigheten och Naturvårdsverket.

Detta förslag till fortsatta undersökningar syftar till:

1. Att komplettera de tidigare genomförda undersökningarna med undersökningar med andra tänkbara bindemedel samt möjligheten att fastlägga föroreningar med hjälp av särskilda additiv (aktivt kol).
2. Att öka kunskapen om vilka organiska föreningar som lakas ut beroende på val av bindemedel och additiv.

3. Att bättre klarlägga utlakningen av kända organiska föroreningar i sedimenten; dioxiner, PCB och tennorganiska föreningar och deras fördelning till eller samverkan med DOC.
4. Att utreda bärighet och framtida sättningar i Grimskallen beroende på val av stabiliseringsmetod.
5. Att utreda konsekvenser av sådana sättningar för tätskiktstrukturen, beroende på vilken typ av tätskikt som väljs.

Med detta underlag ska sedan slutlig metod för stabilisering väljas, liksom lämplig konstruktiv utformning och utförande av tätskiktstrukturen.

## 2 Hittills genomförda undersökningar av utlakning

### 2.1 Undersökta sedimentprover

För undersökningar av sedimenten har samlingsprover tillverkats representerade de fyra delområden i inre hamnbassängen, där större ansamlingar av förorenade sediment förekommer:

- A. Inre hamnen (Badholmen)
- B. Väster ön Rävsmålan
- C. Öster ön Rävsmålan
- D. Månskensviken

Inom varje område togs ett antal sedimentkärnor upp, representerande hela föroreningsdjupet. Kärnorna blandades och homogenerades till samlingsprover representerande de olika områdena.

### 2.2 Laktester med avseende på metaller

Inledningsvis genomfördes lakförsök på samlingsproverna utan föregående stabilisering enligt standard EN 12457-2 (enstegs skakförsök vid L/S 10). Analyserna omfattade enbart grundämnesanalys där oorganiska föroreningar i sedimenten (arsenik och metaller) ingått. Därtill genomfördes ett lakförsök på ett samlingsprov från samtliga delområden i inre hamnbassängen med en komplett analys för avstämning gentemot kriterierna för mottagning på deponier. Inga betydande skillnader noterades mellan de olika sedimentförekomsterna, som framgår av **Tabell 1**. I tabellen redovisas som jämförelse även föreslagna lakkriterier vid L/S 10 för när återvinning av avfall enligt Naturvårdsverkets mening kan ske utan anmälan eller tillståndsprovning (MRR), samt kriterier för mottagning av farligt avfall på deponier för icke-farligt avfall. De senare gäller för det fall sedimenten skulle deponeras i stället för att nyttiggöras. Notera att jämförelsen med MRR är något oegentlig eftersom sådan återvinning förutsätter att totalhalterna i materialet är betydligt lägre än i de förorenade sedimenten. Jämförelsen är ändå av intresse eftersom kriterierna för utlakning används för bedömning av risken för påverkan på ytvattenrecipienter, som är den mest betydande risken vid återanvändning av sediment som fyllningsmaterial i Grimskallen.

Av tabellen framgår att utlakningen av arsenik och metaller, särskilt beaktat det höga föroreningsinnehållet, är liten. Endast utlakningen av arsenik, klorid och sulfat överstiger kriterier för användning vad gäller lakning vid L/S 10. Man kan också förmoda att utlakningen av molybden skulle överskrida ett sådant kriterium, även om ett sådant ännu inte tagits fram. Utlakningen av klorid och sulfat är en naturlig följd av att sedimenten avsatts i en hamnbassäng med bräckt vatten och bedöms inte vara av betydelse för användning i samma hamnbassäng.

**Tabell 1 Sammanställning av utlakad mängd (mg/kg TS) i lakförsök (L/S 10) med sediment utan föregående stabilisering.**

Parameter	A Badholmen	B Väster Rävsmålan	C Öster Rävsmålan	D Månskens- viken	ABCD Samlings- prov	MRR <sup>2</sup>	FA på deponi för IFA <sup>3</sup>
pH	7,0	6,8	7,1	7,3	7,7		
Arsenik	0,20	0,20	0,47	0,4	1	0,09	2
Barium	0,48	0,55	0,2	0,64	0,33		100
Kadmium	0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0005	0,02	1
Krom	<0,006	<0,006	0,0062	<0,006	<0,005	1	10
Koppar	0,020	0,032	0,020	<0,02	0,029	0,8	50
Kvicksilver	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0002	0,01	0,2
Molybden	0,13	0,19	0,4	0,51	0,74		10
Nickel	0,068	0,097	0,059	0,058	0,067	0,4	10
Bly	0,011	0,016	0,0098	0,0058	0,022	0,2	10
Antimon	-	-	-	-	0,0037		0,7
Selen	0,0036	0,0050	0,0066	0,024	0,025		0,5
Zink	0,046	0,20	0,11	0,047	0,095	4	4
DOC	-	-	-	-	600		800
Klorid	-	-	-	-	6 920	130	15 000
Fluorid	-	-	-	-	10		150
Sulfat	-	-	-	-	840	200	20 000

Muddrade sediment har mycket låg hållfasthet och mycket låg deformationsmodul. Någon typ av grundförstärkning eller stabilisering är nödvändig för att de tekniska egenskaperna ska vara tillfredställande. Inom ramen för två EU-finansierade projekt, STABCON och SMOCS, har en metod utarbetats som innebär att förorenade muddermassor stabiliseras med användning av cement och finmald granulerad masugnsslagg. Metoden har provats i laboratorieskala och i pilotförsök med sediment från Oskarshamns hamn.

Lakförsök för att undersöka effekten av stabilisering av de förorenade sedimenten och skillnader beroende på val av bindemedelskombination och tillsatsmängd utfördes med stabiliserade sediment från Månskensviken (område D), vilka uppvisar de högsta föroreningshalterna. Analyserna av lakvatten omfattade grundämnesanalys, dvs. oorganiska föroreningar. Därtill genomfördes liksom för de ostabiliserade sedimenten ett lakförsök med fullständig analys för avstämning gentemot mottagningskriterierna på deponier. Detta försök utfördes på ett samlingsprov från samtliga områden och med en bindemedelskombination. Resultaten redovisas i **Tabell 2**. Vid tolkning av resultaten ska observeras att försöken på prover från Månskensviken utfördes efter 35 dygns härdning medan försöken på samlingsprovet utfördes efter 91 dygns härdning.

<sup>2</sup> Nivåer för mindre än ringa risk enligt NV Handbok 2010:1

<sup>3</sup> Kriterier för mottagning av farligt avfall på deponi för icke-farligt avfall enligt NFS 2004:10

Av en jämförelse mellan **Tabell 1** och **Tabell 2** framgår att stabiliseringen inte tycks ha någon entydigt positiv betydelse för utlakningen av de oorganiska föroreningarna i sedimenten. Visserligen minskar utlakningen av arsenik, men i stället ökade utlakningen av nickel och selen betydligt. Även utlakningen av DOC ökade, vilket bedöms ha mindre betydelse för nyttiggörandet men som utgör en svårighet för det fall sedimenten i stället skulle deponeras (pga. den låga hållfastheten och deformationsmodulen behövs stabilisering även vid deponering).

**Tabell 2 Sammanställning av utlakade mängder (mg/kg TS) i lakförsök med stabiliserade sediment från Månskensviken. Som jämförelse redovisas nivåer för mindre än ringar risk och mottagningskriterier för farligt avfall på deponier för icke-farligt avfall.**

Parameter	D2 C/M 70/30 100 kg/m <sup>3</sup>	D3 C/M 30/70 150 kg/m <sup>3</sup>	D4 C/M 70/30 150 kg/m <sup>3</sup>	D7 C/M 70/30 200 kg/m <sup>3</sup>	ABCD C/M 70/30 150 kg/m <sup>3</sup>	MRR	FA på deponi för IFA
pH	11,9	11,8	12,1	12,2	11,7		
Arsenik	0,17	0,15	0,12	0,055	0,051	0,09	2
Barium	0,97	0,60	1,7	2,1	1,2		100
Kadmium	<0,0007	<0,0007	<0,0006	<0,0005	<0,0005	0,02	1
Krom	<0,006	<0,006	<0,006	<0,005	<0,005	1	10
Koppar	<0,02	<0,02	<0,02	<0,01	0,15	0,8	50
Kviksilver	0,0037	0,002	0,0037	0,0043	<0,0002	0,01	0,2
Molybden	2,3	2,4	1,5	1,3	2,1		10
Nickel	1	0,8	1	1,6	4,2	0,4	10
Bly	<0,003	0,0032	<0,003	<0,002	0,011	0,2	10
Antimon	-	-	-	-	0,0088		0,7
Selen	0,22	0,64	0,49	0,59	0,84		0,5
Zink	0,022	0,021	<0,03	0,020	0,038	4	50
DOC	-	-	-	-	1 030*		800
Klorid	-	-	-	-	4270	130	15 000
Fluorid	-	-	-	-	38		150
Sulfat	-	-	-	-	30	200	20 000

\* Överstiger även kriteriet för mottagning på deponi för farligt avfall (1 000 mg/kg TS)

Lakförsöken på stabiliserade sediment utfördes inledningsvis endast på prover från Månskensviken (område D), som uppvisar de högsta föroreningshalterna och lakvatten analyserades endast med avseende på de ingående föroreningarna. Syftet var att studera vilken bindemedelskombination och mängd som skulle vara mest gynnsam. Försöken kompletterades med lakning av ett stabiliserat samlingsprov, med den bindemedelskombination som utvärderats som mest gynnsam och med en utvidgad analys för avstämning gentemot mottagningskriterier på deponier, för det fall deponering skulle bli aktuell.

För att klarlägga eventuella skillnader mellan de olika sedimentförekomsterna i hamnbassängen utfördes under våren 2013 kompletterande lakförsök på stabiliserade sediment från övriga delområden (A,B,C). Resultaten redovisas i Tabell 3 tillsammans med resultat från motsvarande lakförsök på sediment från Månskensviken (D). Vid tolkning av resultaten ska observeras att lakförsöken med prov från Månskensviken utfördes efter 35 dygns härdning och från övriga områden efter ca 850 dygns härdning.

**Tabell 3 Resultat från lakförsök på stabiliserade sediment från olika delområden med den bindemedelsblandning som utvärderats som mest gynnsam med hänsyn till teknik och ekonomi, dvs. C/M 70/30 med 100 kg/m<sup>3</sup> samt 150 kg/m<sup>3</sup>. Försök på proverna A-C utfördes efter 850 dygns härdning medan försök på prov D utfördes efter 35 dygns härdning.**

Parameter	A Badholmen	B Väster Rävsmålan	C Öster Rävsmålan	D Månskensviken	MRR <sup>4</sup>	FA på de- poni för IFA <sup>5</sup>
pH	10,1 - 10,7	10,3 - 11,1	10,9 - 11,6	11,9 - 12,1		
Arsenik	0,11 - 0,21	0,17 - 0,25	<0,05	0,12 - 0,17	0,09	2
Barium	1,0-1,2	0,89-1,2	0,61-0,62	0,97-1,7		100
Kadmium	< 0,0006	≤0,0011	<0,0006	<0,0007	0,02	1
Krom	0,010-0,012	0,010-0,020	<0,005-0,010	<0,006	1	10
Koppar	9,1-11,6	31-38	5,6-17,6	<0,02	0,8	50
Kvicksilver	< 0,0003	<0,0003	0,0003	0,0037	0,01	0,2
Molybden	0,8-1,0	<3,3-3,6	0,75-1,0	1,5-2,3		10
Nickel	2,6-4,1	2,9-3,5	3-3,4	1,0	0,4	10
Bly	<0,00	<0,003	0,0024-0,011	<0,003	0,2	10
Antimon	0,0077-0,014	0,0072-0,009	0,0078-0,012	-		0,7
Selen	0,15-0,22	0,4-0,5	0,72-0,9	0,22-0,49		0,5
Zink	≤0,03	<0,03	≤0,03	<0,03	4	4
DOC	1 870 - 2 460	2 380 - 2 120	1 190 - 1 120	-		800
Klorid	4 790 - 5 560	7 030 - 8 350	4 250 - 5 200	-	130	15 000
Fluorid	<20 - 35,1	<20	<10	-		150
Sulfat	5 160 - 9 720	4 100 - 8 660	1 450 - 3 710	-	200	20 000

Den största skillnaden mellan stabiliserade prover från olika områden är att utlakningen av koppar var betydligt större (mer än 100 ggr) från stabiliserade prover från område A-C än från område D. Även utlakningen av nickel var högre från proverna A-C även om skillnaden inte var alls lika stor. Samma tendenser till skillnader vad avser utlakning av koppar och nickel kan skönjas vid en jämförelse mellan de stabiliserade proverna från Månskensviken respektive samlingsprovet i **Tabell 2**. Det finns minst två möjliga förklaringar till de noterade skillnaderna; dels skillnader mellan förekomstformer eller geokemiska förhållanden i Månskensvikens sediment respektive övriga områden, dels kan skillnaderna i härdningstid ha påverkat resultaten.

Vid kompletteringen våren 2013 utfördes även pH-statiska lakförsök på ett samlingsprov från de massor som ska användas för fyllningsändamål i Grimskallen, för att undersöka vilken betydelse eventuella framtida förändringar av pH kan få för utlakningen. Dessa försök genomfördes på samlingsprover tillverkade av individuellt stabiliserade prover från område A-C, vilka härdats ca 850 dygn. Resultaten jämförs i **Tabell 4** med resultat från lakförsök med samlingsprovet från samtliga områden (A-D) med motsvarande bindemedelsblandning och inblandningsmängd men med oregrerat pH och med härdningstiden 91 dygn.

<sup>4</sup> Nivåer för minder än ringa risk enligt NV Handbok 2010:1

<sup>5</sup> Kriterier för mottagning av farligt avfall på deponi för icke-farligt avfall

**Tabell 4 Resultat av pH-statiska lakförsök på stabiliserade sediment från område A-C (samlingsprov). Bindemedel C/M 70/30 med 150 kg/m<sup>3</sup>. Försök utförda på prover efter ca 850 dygns härdning För jämförelse redovisas även resultat från samlingsprovet A-D för vilket försök utfördes efter 91 dygns härdning.**

Parameter	ABC pH 4	ABC pH 6	ABC pH 8	ABC pH 10	ABCD oreglerat	MRR	FA på deponi för IFA
pH	4,0	6,0	8,0	10,0	11,7		
Arsenik	0,028	< 0,03	0,13	0,11	0,051	0,09	2
Barium	10,4	17,2	13,5	3,9	1,2		100
Kadmium	1,9	0,56	0,011	0,0016	<0,0005	0,02	1
Krom	0,17	0,012	0,006	0,0086	<0,005	1	10
Koppar	32,7	13,7	23,0	31,4	0,15	0,8	50
Kvicksilver	0,02	0,11	0,002	<0,0003	<0,0002	0,01	0,2
Molybden	0,0061	0,2	1,9	2	2,1		10
Nickel	9	3,7	1,6	2,8	4,2	0,4	10
Bly	2,6	0,038	0,0022	<0,003	0,011	0,2	10
Antimon	0,12	0,034	0,048	0,013	0,0088		0,7
Selen	0,33	0,51	0,48	0,47	0,84		0,5
Zink	224	17,1	0,17	0,023	0,038	4	50
DOC	2 780	2 910	2 750	2 300	1 030		800
Klorid	5 030	5 389	5 530	5 650	4 270	130	15 000
Fluorid	< 40	< 40	< 20	< 5	38		150
Sulfat	13 500	12 400	15 400	8 060	30	200	20 000

Av de pH-statiska försöken framgår att utlakningen av vissa metaller (främst kadmium och zink) ökar vid lägre pH, men att besvärande höga nivåer (vid en jämförelse med deponeringskriterier som indikator) erhålls först vid pH 4.

### 2.3 Lakförsök med avseende på organiska föroreningar

På samlingsprovet från Månskensviken, där föroreningshalterna är störst, utfördes lakförsök med avseende på de organiska miljögifterna. Det finns inte någon standard för lakförsök med avseende på organiska ämnen, men även dessa försök utfördes som enstegs skakförsök vid L/S 10. Utrustningen anpassades särskilt för att undvika adsorption av organiska ämnen till utrustningsdelar. Lakförsök utfördes dels med ett ostabiliserat prov, dels med två prover stabiliserade med olika bindemedelskombinationer. Analyser av lakvatten utfördes i första hand efter centrifugering för att undvika adsorption till filtermaterial men i ett försök (lakförsöket på ostabiliserade sediment) även efter filtrering för att klarlägga skillnader beroende på behandling av vattenprover. Resultaten redovisas i **Tabell 5**.

Av tabellen framgår att skillnaden mellan centrifugering respektive filtrering för avskiljning av partiklar efter skakförsöket med ostabiliserade sediment är mycket stor vad avser halterna av organiska miljögifter. Det kan noteras att lakvatten efter centrifugering (men inte efter filtrering) var tydligt missfärgade. Resultaten tyder på att de höga halterna av framför allt dioxiner är kopplade till svåravskilda partiklar eller kolloider som inte avskilts i centrifugeringen (4000 g i 2,5 timmar). Det framgår också att stabiliseringen varit mycket effektiv för att binda dessa partiklar. Lakvatten från stabiliserade sediment analyserades inte med avseende på tennorganiska föreningar, men även för dessa var skillnaderna mellan centrifugering och filtrering i försöken med ostabiliserade sediment stor.

2013-09-13, rev 2103-10-07

För tennorganiska föreningar finns ett förslag till nivåer för mindre än ringa risk (Kemakta AR 2012-26) som kan användas för en bedömning av resultaten. För TBT är laktionskriteriet vid L/S 10 0,0007 mg/kg (700 ng/kg TS), en nivå som överskreds med en faktor 4 i det försök där lakvatten centrifugerades.

**Tabell 5 Sammanställning av resultat från lakförsök med avseende på organiska ämnen med ostabiliserade och stabiliserade sediment från Månskensviken.**

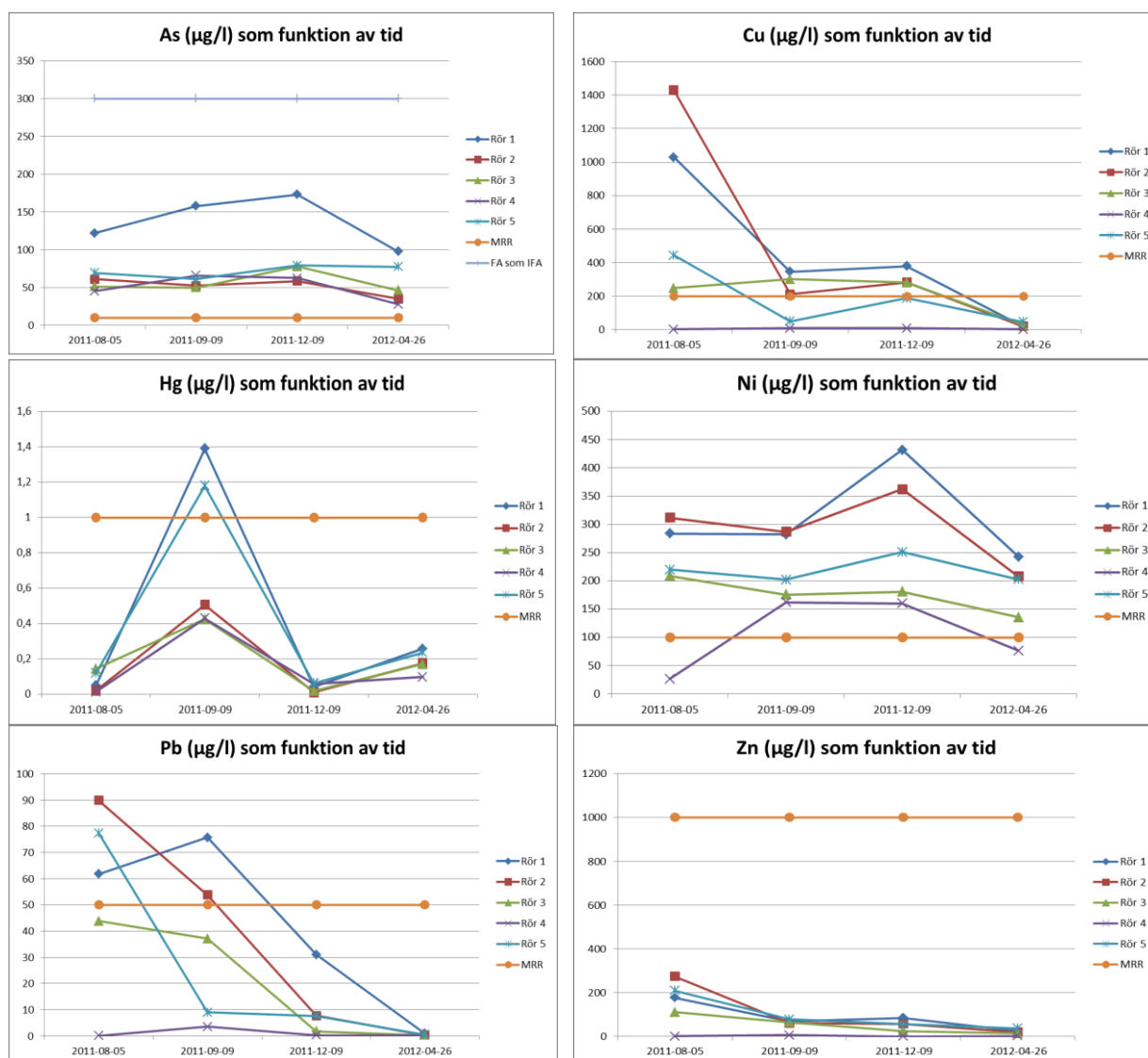
Parameter		D0 Centrifugerat	D0 Filtrerat	D4 C/M 70/30 150 kg/m <sup>3</sup>	D13 C/M/A* 35/35/30 100 kg/m <sup>3</sup>
2,3,7,8-tetraCDD	ng/kg TS	0,2	<0,010	0,000052	0,00017
1,2,3,7,8-pentaCDD	ng/kg TS	0,27	<0,022	0,000068	0,00065
1,2,3,4,7,8-hexaCDD	ng/kg TS	1,50	<0,036	0,00023	0,0087
1,2,3,6,7,8-hexaCDD	ng/kg TS	4,70	<0,036	0,00025	0,00072
1,2,3,7,8,9-hexaCDD	ng/kg TS	0,92	<0,036	0,00019	0,00068
1,2,3,4,6,7,8-heptaCDD	ng/kg TS	19	<0,092	0,0018	0,00097
Oktalordibensodioxin	ng/kg TS	49	0,28	0,0049	0,0033
2,3,7,8-tetraCDF	ng/kg TS	11	0,079	0,0016	0,00072
1,2,3,7,8-pentaCDF	ng/kg TS	13	<0,028	0,0020	0,00097
2,3,4,7,8-pentaCDF	ng/kg TS	8,1	<0,028	0,0010	0,00059
1,2,3,4,7,8-hexaCDF	ng/kg TS	61	0,16	0,0080	0,0040
1,2,3,6,7,8-hexaCDF	ng/kg TS	61	0,13	0,0039	0,0024
1,2,3,7,8,9-hexaCDF	ng/kg TS	2,90	<0,048	0,00038	0,00022
2,3,4,6,7,8-hexaCDF	ng/kg TS	12	<0,048	0,0015	0,00075
1,2,3,4,6,7,8-heptaCDF	ng/kg TS	230	1,00	0,023	0,013
1,2,3,4,7,8,9-heptaCDF	ng/kg TS	34	0,13	0,0037	0,0019
Oktalordibensofuran	ng/kg TS	520	1,90	0,050	0,031
sum WHO-PCDD/F-TEQ lower-bound	ng/kg TS	22	0,050	0,0024	0,0013
<b>sum WHO-PCDD/F-TEQ upper-bound</b>	<b>ng/kg TS</b>	<b>22</b>	<b>0,083</b>	<b>0,0024</b>	<b>0,0013</b>
PCB 28	ng/kg TS	<33	<12	<0,099	<0,011
PCB 52	ng/kg TS	70	<34	<0,099	<0,011
PCB 101	ng/kg TS	220	<59	0,21	0,014
PCB 118	ng/kg TS	75	<31	<0,099	<0,011
PCB 138	ng/kg TS	200	<37	0,31	0,022
PCB 153	ng/kg TS	550	<44	0,39	0,027
PCB 180	ng/kg TS	380	<11	0,19	0,014
PCB7, summa lowerbound	ng/kg TS	1500	0	1,1	0,077
<b>PCB7, summa upperbound</b>	<b>ng/kg TS</b>	<b>1500</b>	<b>230</b>	<b>1,2</b>	<b>0,11</b>
Monobutyltenn	ng/kg TS	14	<10	-	-
Dibutyltenn	ng/kg TS	130	12	-	-
Tributyltenn	ng/kg TS	2800	82	-	-
Tetrabutyltenn	ng/kg TS	<10	<10	-	-
Monooktyltenn	ng/kg TS	<10	<10	-	-
Dioktyltenn	ng/kg TS	25	<10	-	-
Tricyklohexyltenn	ng/kg TS	<10	<10	-	-
Monofenyltenn	ng/kg TS	<10	<10	-	-
Difenyltenn	ng/kg TS	<10	<10	-	-
Trifenyltenn	ng/kg TS	30	<10	-	-
DOC	mg/kg TS	769	726	-	-

\* A anger att även biobränsleaska använts för stabilisering

2013-09-13, rev 2103-10-07

## 2.4 Resultat från pilotförsök i fält

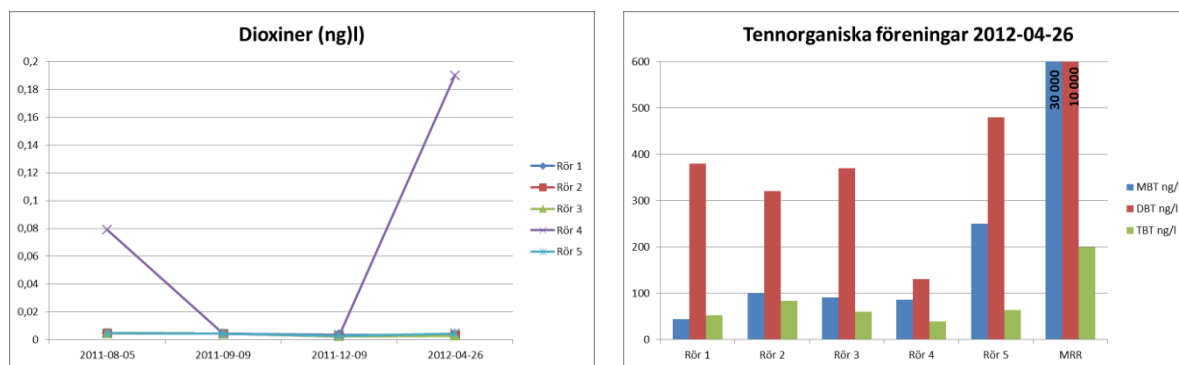
Pilotförsöket i fält utfördes med den bindemedelskombination som utvärderats som mest gynnsam vid en sammanvägd teknisk-ekonomisk-miljömässig bedömning, dvs. bindemedel bestående av 70 % cement och 30 % masugnsslagg och med två tillsatsmängder (100 kg/m<sup>3</sup> respektive 150 kg/m<sup>3</sup>) beroende på dimensionerande belastningar. De sediment som användes i pilotförsöket togs från ett område där sedimenten kan betraktas som influerade av både område C och område D. Totalt fem grundvattenrör installerades i de stabiliserade fyllningarna, i vilka porvatten provtogs vid flera tillfällen. Resultat för de från föroreningssynvinkel mest intressanta metallerna redovisas i Figur 1.



**Figur 1** Uppmätta halter i grundvatten (porvatten) i pilotförsökets deltagare som funktion av tid. Stabiseringsen utfördes i början av juni 2011. Som jämförelse redovisas nivåer för mindre än ringa risk (MRR) vid lakförsök vid L/S 0,1, och för arsenik även motsvarande kriterium för mottagning som farligt avfall på en deponi för icke-farligt avfall.

I figuren jämförs uppmätta halter med nivåer för mindre än ringa risk i lakförsök utförda som perkolationstest vid L/S 0,1, vilka anses avspegla initialhalter i ett lakvatten. Resultaten uppvisar likheter med resultat från skaktester utförda i laboratorium såtillvida att halterna av arsenik och nickel överskrider nivåerna för mindre än ringa risk. Därutöver framgår att även halterna av koppar och bly under den första tiden efter inblandning av bindemedel överstigit nivåerna för mindre än ringa risk, men efter ett halvår till ett år avtagit och underskrider respektive nivå för mindre än ringa risk. För koppar avviker resultaten från skaktester i laboratoriet såtillvida att utlakningen av koppar från stabiliserade långtidslagrade (mer än två år) prover var högre än från korttidslagrade (35 dygn) prover. Det ska dock observeras att proverna inte är helt jämförbara eftersom de långtidslagrade proverna i laboratorium med högre utlakning härstammar från område A-C medan de korttidslagrade proverna kom från område D och sedimenten i pilotförsöken kan anses utgöra en blandning av område C och D.

Av de organiska föreningarna har dioxiner analyserats regelbundet på samma sätt som metallerna medan tennorganiska föreningar analyserats i samtliga rör men endast vid ett tillfälle. Resultaten redovisas i Figur 2.



**Figur 2 Uppmätta halter av dioxiner vid olika provtagningstillfällen samt uppmätta halter av tennorganiska föreningar vid ett provtagningstillfälle. För tennorganiska föreningar redovisas som jämförelsevärden även nivåer för mindre än ringa risk vid L/S 0,1<sup>6</sup>.**

Det framgår att dioxiner uppmätts vid två tillfällen i ett av grundvattenrören, representerande delyta 4. Den högsta uppmätta halten är knappt 0,2 ng/l vilket är högt i förhållande till den uppmätta utlakningen från stabiliserade prover i laboratorium. I övriga delytor har halterna av dioxiner varit lägre än rapporteringsgränsen vid samtliga provtagningstillfällen. Uppmätta halter av tennorganiska föreningar har varit lägre än föreslagna nivåer för mindre än ringa risk uppmätta vid lakförsök vid L/S 0,1 (initialhalter i perkolationstest).

## 2.5 Slutsatser från hittills utförda försök

Effekten av stabilisering med avseende på utlakningen av dioxiner och PCB är tydlig i de utförda försöken; halterna av dioxiner i centrifugerade lakvatten från stabiliserade prover var ca 10 000 ggr lägre och halterna av PCB var ca 150 ggr lägre än i det centrifugerade lakvattnet från ostabiliserat sediment, dvs. också lägre än i filtrerat lakvatten från ostabiliserat sediment. Detta kan tolkas som en effekt av att svåravskilda partiklar och kolloider som är bärare av

<sup>6</sup> Kriterier för tributyltenn, Irgarol och diuron i muddermassor som omhändertas på land. Kemakta AR 2012-26.

dessa föroreningar binds fast i den stabiliserade matrisen. Resultaten bekräftas i huvudsak av resultaten från pilotförsöket där halterna av dioxiner i 90 % av provtagningarna underskred analysens rapporteringsgräns för samtliga kongener (PCB analyserades inte men kan antas uppträda på samma sätt som dioxiner). I en av de fem delytorna noterades dock avvikande resultat. En trolig förklaring är att inblandningen av bindemedel inte varit tillräckligt homogen, vilket framgår av varierande resultat i hållfasthetstesterna (ej redovisade i denna rapport). En viktig slutsats från försöket är att inblandningstekniken behöver förbättras och en litteraturstudie för att klarlägga ”state of the art” i detta avseende pågår sedan en tid tillbaka.

Några laboratorieförsök vad avser utlakningen av tennorganiska föreningar från stabiliserade prover genomfördes inte. De halter av TBT som uppmättes i porvatten från stabiliserade massor i fält var lägre än de som uppmättes i lakförsök på ostabiliserade massor i laboratorium (centrifugerade vatten). Detta kan tolkas som en effekt av stabiliseringen, även om lakförsöket utförts med ett annat förhållande mellan mängden lakvätska och sediment vilket också medför en utspädningseffekt. I sammanhanget bör man notera att utlakningen i skakförsök med centrifugering översteg föreslagen nivå för mindre än ringa risk med en faktor 4 medan uppmätta halter i pilotförsöket i fält underskred föreslagen nivå för mindre än ringa risk med en faktor 2-4. Halterna av DBT och MBT var i stället högre i fält än i laboratoriet, vilket är en naturlig följd av olika L/S-förhållanden och kan tolkas som att stabiliseringen med cement och masugnsslagg inte haft någon väsentlig effekt på utlakningen av DBT och MBT. Det förtjänar dock att påpekas att halterna i porvattnet av samtliga tennorganiska föreningar var betydligt lägre än de nivåer som anges för mindre än ringa risk vid L/S 0,1. Det bör i sammanhanget noteras att inte heller totalhalterna av DBT och MBT i samlingsproverna överskred motsvarande nivåer för mindre än ringa risk, till skillnad mot totalhalterna av TBT som överskred denna nivå med ca 10 ggr.

En annan observation från lakförsöken med stabiliserade prover är att framför allt PCB men i viss mån även dioxiner kvarhölls bättre i det av lakförsöken som utfördes med bindemedel med inblandning av biobränsleaska än i det lakförsök som utfördes med bindemedel enbart av cement och masugnsslagg, se **Tabell 5**. Aska används ibland som komponent i bindemedelsblandningar och har ingått även i undersökningarna för Oskarshamn, men några lakförsök har i övrigt inte utförts eftersom inblandning av aska inte uppvisade någon effekt vad avser hållfasthetsutvecklingen. Det är dock sedan tidigare känt att sådan aska kan vara gynnsam för fastläggning av organiska ämnen, på samma sätt som aktivt kol kan fastlägga organiska föreningar.

Lakförsöken med avseende på metaller i laboratorium visade att utlakningen av bly, arsenik och i viss mån zink minskade efter stabilisering. Betydelsen av detta kan ifrågasättas eftersom utlakningen även utan stabilisering var liten, åtminstone av bly och zink. Samtidigt ökade utlakningen av molybden, nickel och selen. Även utlakningen av koppar ökade i prover som lagrats under längre tid, vilket kan beror antingen på att proverna härstammade från delvis olika områden eller på den längre lagringstiden, alternativt en kombination av dessa faktorer.

Liknande effekter noterades även i pilotförsöken med den skillnaden att initialt höga halter uppmättes även av koppar, bly och zink. Halterna av dessa avtog dock inom ett år från stabiliseringstillfället i samtliga fem grundvattenrör. Sammantaget visar resultaten alltså övervägande negativa effekter (ökad utlakning) av metaller, men inte i en besvärande omfattning. Exempelvis överskreds inte kriterier för mottagning på deponier av någon av metallerna och

den beräknade framtida utlakningen från en fyllning i Grimskallen blir liten i förhållande till andra källor, även med antagandet att de högsta uppmätta metallhalterna är representativa i ett långtidsperspektiv.

Sammanfattningsvis visar framkomna resultat att stabilisering med cement och merit är en godtagbar metod vid nyttiggörande av sediment i Grimskallen. Dataunderlaget vad avser utlakning av organiska föroreningar är dock litet och behöver förbättras. Vidare tyder resultaten på att man med val av andra bindemedel som är särskilt anpassade för avfall med högt föroreningsinnehåll (monofill) eller med tillsats av additiv typ aktivt kol kan förbättra de miljömässiga egenskaperna. Resultaten visar också att transporten av de organiska miljögifterna från fyllningen till omgivande vattenmassa sannolikt kommer att vara högre om sedimenten inte stabiliseras än om de stabiliseras/solidifieras om inte den underlagrande moränen fungerar som ett effektivt partikelfilter, eller ett sådan anläggs.

### **3 Kompletterande försök på lagrade prover**

#### **3.1 Karakterisering av organiska ämnen i lakvatten**

Som framgått ovan har lakförsök för undersökning av utlakningen av organiska föroreningar i sedimenten (dioxiner, PCB och tennorganiska föroreningar) utförts i begränsad utsträckning och endast med sediment från Månskensviken (D). För nyttiggörande i Grimskallen kommer i stället sediment från område A-C att användas och lakförsök med avseende på utlakningen av organiska föroreningar behöver genomföras även med sediment från dessa områden.

Stabiliserade och lagrade prover kan användas för denna karakterisering av organiska ämnen i lakvatten. Eftersom tidigare undersökningar förbrukat flertalet av de prover som är av intresse måste försöken begränsas till samlingsprover av sediment som stabiliserats med bindemedelsmängderna 100 kg/m<sup>3</sup> och 200 kg/m<sup>3</sup> och med bindemedelsblandningen C/M 70/30<sup>7</sup>, vilken i tidigare försök identifierats som optimal. Lakvatten från försöken centrifugeras på samma sätt som tidigare använts för kvantifiering av utlakning av organiska miljögifter.

Försöken genererar tre lakvattnen vilka som tidigare analyseras med avseende på dioxiner (WHO-TEQ), PCB 7, organiska tennföreningar och DOC. Därutöver föreslås att analyserna även omfattar en särskild karakterisering av DOC genom GC-MS-screening av semivolatila organiska ämnen samt TIC (tentatively identified compounds, d v s en screening av identifierade organiska ämnen) på ett specialistlaboratorium i England.

---

<sup>7</sup> C/M 70/30 anger att bindemedlet består av 70 % cement och 30 % masugnsslagg.

## **4 Användning av andra bindemedel eller additiv vid stabilisering på nya insamlade prover**

### **4.1 Allmänt**

Stabilisering med blandningar av cement och masugnsslagg bedöms utgående från de genomförda undersökningarna som gynnsam för att fastlägga dioxiner, PCB och vissa metaller, men tycks samtidigt öka utlakningen av flera andra metaller och av DOC. Det är möjligt att utlakningen från stabiliserade massor kan begränsas även för dessa ämnen genom modifieringar av det använda bindemedlet eller genom tillsats av additiv med förmåga att fastlägga föroreningar. Följande alternativ föreslås prövas:

- Tillsats av aktivt kol till bindemedel av cement och masugnsslagg.
- Användning av monofill som bindemedel som ersättning för cement och masugnsslagg.
- Användning av flocknings- och fällningskemikalier (järnklorid och kalk) i stället för inblandning av hydrauliska bindemedel.

Lakförsök på prover behandlade på detta sätt utförs huvudsakligen som enstegs skaktester vid L/S 10 enligt EN 12457-2. Valet av test beror dels på att skaktester är relativt enkla och snabba att genomföra. Perkolationstester enligt CEN/TS 14405 som är ett försök som bättre efterliknar den verkliga situationen är betydligt mer tidsödande. Förslagsvis utförs ändå några perkolationstester. För att medge uttag av lakvatten vid L/S 0,1 och samtidigt representera det verkliga fallet på bästa sätt föreslås att provets eget vatteninnehåll bortses från vid beräkning av L/S eftersom detta vatten kan betraktas som bundet. Perkolationstester bedöms inte som möjliga att genomföra på ostabiliserade massor eftersom dessa är finkorniga och täta. Stabiliserade massor kan sannolikt provas genom att den härdade matrisen krossas till ett sandigt/grusigt material.

### **4.2 Förnyad provtagning**

Nya samlingsprover tillverkas representerande de tre delområden i inre hamnbassängen, där större ansamlingar av förorenade sediment förekommer och som ska användas i Grimskallen:

- A. Inre hamnen (Badholmen)
- B. Väster ön Rävsmålan
- C. Öster ön Rävsmålan

Inom varje delområde uttas 20 st sedimentproppar vilka blandas till samlingsprover representerande vardera delområdet. De enskilda sedimentpropparna tas ut spritt inom området. Tillverkade samlingsprover homogeniseras och lagras i kylrum i tätt förslutna hinkar.

Provtagning utfördes under vecka 31. Proverna förvaras i kylrum hos SGI.

### 4.3 Baslinjeundersökning - variationer mellan områden

Vid genomförande av nya inblandningsförsök föreslås också en förnyad baslinjeundersökning med fullständig analys för att klarlägga skillnader i utlakning som kan hänföras till sedimentens ursprung (förekomstområden). För en sådan undersökning utförs lakförsök enligt EN 12457-2 med prover från de tre delområdena. Lakförsöken utförs som dubbelprover. Totalt utförs därmed 6 lakförsök.

Innan lakförsöken utförs utsätts proverna för samma behandling som prover vilka stabiliseras före lakning, d.v.s. de delprover som tas ut till lakförsöken rörs om i blandningsutrustningen på samma sätt och under lika lång tid som vid inblandning av bindemedel. Avsikten med detta förfarande är att så långt som möjligt eliminera skillnader som kan uppkomma pga. skillnader i provbehandling.

Analyser av lakvatten bör omfatta minst de parametrar för vilka det finns kriterier för mottagning på deponier enligt NFS 2004:10, samt andra element som kan ha betydelse för tolkning av resultaten. En lämplig analysomfattning är analyspaketet LV3a hos ALS.

Lakförsök utförs även för kvantifiering av utlakningen av organiska ämnen, med analys av dioxiner, PCB, tennorganiska föreningar och DOC. Analyser utförs dels på lakvatten som centrifugerats, dels på lakvatten som filtrerats före analys.

Baslinjeundersökningen ger information om förväntad utlakning från massor som inte stabiliseras på kemisk väg utan i stället en mekanisk/fysisk stabiliseringsmetod tillämpas. Sådana metoder som kan komma ifråga är vertikaldränering i kombination med förbelastning, alternativt dränering genom etablering av wellpointssystem.

### 4.4 Effekter av tillsats av aktivt kol

För att undersöka möjligheterna att begränsa utlakningen genom tillsats av additiv eller genom val av andra bindemedelsblandningar föreslås att inblandningar utförs med användning av bindemedel C/M 70/30 (med bindemedelsmängd 100 och 150 kg/m<sup>3</sup> och därutöver 3 % aktivt kol).

Lakförsök utförs efter en och samma lagringstid (preliminärt 28 dygn<sup>8</sup>) medan tryckhållfastheten provas efter 7, 28, 56 och 91 dygn.

Försöken utförs med sediment från samtliga tre områden. Totalt innebär detta 24 tester av tryckhållfasthet och 6 lakförsök. Analyser av lakvatten enligt paket LV3a. Förslagsvis kompletteras skakförsöken med tre perkolationstester (tre sedimentprover, en tillsatsmängd) för att få en uppfattning om korrelationen mellan skakförsök och perkolationstester.

Även lakförsök med avseende på organiska ämnen (dioxiner, PCB, tennorganiska föreningar och DOC) utförs, preliminärt med sediment från alla områden men endast med en bindemedelsmängd.

---

<sup>8</sup> Tid efter vilken lakförsök utförs kan komma att ändras beroende på resultat från hållfasthetsprovingen.

#### 4.5 Proving med monofill som bindemedel

Monofill är ett bindemedel som framtagits särskilt för stabilisering av avfall där det finns behov av att fastlägga föroreningar. Även Monofill består av en blandning av cement och masugnsslagg, men med en större andel masugnsslagg och med en annan malningsgrad. Följden blir bl.a. att pH-ökningen inte blir lika stor som med konventionella blandningar av cement och masugnsslagg. Nackdelen är en långsammare hållfasthetstillväxt.

Det föreslås att detta bindemedel provas med tre olika bindemedelsmängder, preliminärt 100, 150 och 200 kg/m<sup>3</sup> med sediment från samtliga tre områden. Tryckhållfasthetstester och lakförsök utförs enligt samma schema som för provningen av aktivt kol, vilket innebär 36 provningar av tryckhållfasthet och 9 lakförsök. På samma sätt kompletteras skakförsöken med tre perkolationstester (tre sedimentprover, en tillsatsmängd) och tre lakförsök med avseende på organiska ämnen.

#### 4.6 Tillsats av järnklorid och kalk

Utförda avvattningsförsök indikerar att avvattning genom tryckfiltrering med tillsats av järnklorid (FeCl<sub>3</sub>) och släckt kalk (CaOH<sub>2</sub>) ger god avvattningseffekt. Även vid fyllning i Grimskallen är det tänkbart att utnyttja detta genom inblandning av dessa kemikalier, följt av konsolidering. Baserat på de tidigare resultaten föreslås att följande tillsatsmängder provas:

- Järnklorid 13 g/kg TS, kalk 50 g/kg TS.
- Järnklorid 25 g/kg TS, kalk 100 g/kg TS
- Järnklorid 75 g/kg TS, kalk 300 g/kg TS

På avvattnade filterkakor utförs först enaxliga tryckförsök efter inpackning enligt samma standard som vid stabiliseringsförsök samt lakförsök enligt EN 12457-2 med analys av lakvattnen enligt paket LV3a.

Försök utförs med prover från samtliga tre områden dvs. totalt 9 avvattningsförsök, 9 lakförsök och 9 tester av tryckhållfasthet.

Lakförsök med avseende på organiska ämnen (dioxiner, PCB och tennorganiska föreningar) utförs på ett avvattnat prov med kemikalietillsats från vardera området, dvs totalt tre prover.

### 5 Mekanisk/fysikalisk stabilisering

Med mekanisk/fysikalisk stabilisering avses grundförstärkningsmetoder som inte utnyttjar bindemedel som innebär kemisk stabilisering/solidifiering av muddermassorna. Sådan grundförstärkning kan t.ex. åstadkommas genom förbelastning med eller utan vertikaldränering, som är konventionella metoder i väg- och anläggningsbyggnation. Det är även tänkbart att åstadkomma konsolidering till högre spänningsnivåer genom att etablera undertryck i porvatten med wellpointteknik.

## 5.1 Undersökningar av föroreningstransport

Vid mekanisk/fysikalisk stabilisering får man inte den kemiska inbindning av partiklar som visats ge goda effekter för att minska utlakningen av de organiska miljögifterna dioxiner, PCB och TBT. Genomförda och planerade lakförsök på ostabiliserade sediment kan ge en uppfattning om hur stor en sådan transport kan komma att bli, genom användning av data från centrifugerade lakvatten. Det är dock tveksamt om centrifugering ger en korrekt uppfattning om hur stor transporten av dessa partikelbundna föroreningar kan bli genom den underlagrande moränformationen eller genom partikelfilter som kan etableras som materialskiljande lager mellan muddermassorna och moränen.

Det finns inga standardiserade metoder för att undersöka möjlig partikelavskiljning och resulterande halter i ett lakvatten som passerat sådana filter. En utredning av lämpliga försöksupställningar pågår och detta förslag till program kommer senare att kompletteras med sådana.

## 5.2 Geotekniska undersökningar

För bedömning av mekanisk/fysikalisk stabilisering behövs förutom lakningsegenskaperna även underlag för beräkningar av geoteknisk stabilitet, bärighet och deformation. Undersökningar av deformationsegenskaperna har tidigare genomförts både som stegvisa ödometerförsök och som CRS-försök och någon komplettering av dessa bedöms inte som aktuell. Däremot behöver skjuvhållfastheten efter konsolidering bestämmas som funktion av överlagringstryck. För detta föreslås att direkta skjuvförsök utförs efter konsolidering till tre olika effektivspänningsnivåer, både som odränerade och som dränerade försök och med sediment från de tre berörda delområdena. Totalt utförs på detta sätt 18 direkta skjuvförsök.

Det kan även bli aktuellt med kompletterande undersökningar av skjuvhållfasthet och deformationsegenskaper (inklusive permeabilitet) hos stabiliserade prover. Detta för att bättre indata ska erhållas för beräkningar av deformationer och stabilitetsförhållanden för den eller de stabiliseringsmetoder som kan bli aktuella att använda.

## 6 Utredning av fördelningen av organiska föroreningar till DOC och stabiliseringens betydelse

Eftersom den provade stabiliseringen givit upphov till en ökad utlakning av DOC är det av intresse att utreda om detta även kan påverka utlakningen av föroreningar. Ett flertal lakförsök enligt EN 12457-2 har genomförts och ytterligare ett antal kommer att genomföras. Hur utlakningen av metaller påverkas av stabiliseringen är relativt väl klarlagt. Däremot är underlaget sämre för bedömning om eventuella samband mellan utlakningen av DOC och utlakningen av organiska miljögifter.

För en undersökning av detta kan sannolikt lagrade, stabiliserade prover användas, alternativt nya prover tillverkas, på vilka lakförsök utförs för karakterisering av DOC samt undersökning av fördelningen av dioxiner PCB och tennorganiska föreningar till DOC. I tillägg behöver motsvarande lakningar utföras även på sediment som inte stabiliserats.

*En förfrågan har ställts till Umeå universitet om genomförande av en utredning med syfte att bestämma fördelningskonstanter för kvantifiering av utlakningen.*

## 7 Utredningsvillkor U2

Förutsättningarna för materialval, utformning och utförande av tätskikt på muddermassorna i Grimskallen kommer att variera beroende på vilken stabiliseringsmetod som slutligen väljs. Utredningsvillkoret avser särskilt risken för skador på tätskiktet till följd av framtida sättningar. Inledningsvis genomförs denna utredning som en litteraturstudie kompletterad med beräkningar av lakvattenbildningen som genomförs för ett antal modellfall där kombinationseffekter av materialval, sättningar, skador m.m. studeras. Avsikten är att klarlägga:

- Hur stor blir lakvattenbildningen beroende på val av tätskikt eller kombinationer av tätskikt under ”ostörda” förhållanden?
- Hur stora deformationer kan olika typer av tätskikt klara innan skador uppkommer och läckaget ökar?
- Kan tillräcklig täthet erhållas utan att särskilda dräneringslager anläggs över tätskiktet?
- Hur stort blir läckaget om lokala svackor med stående vatten över tätskiktet uppkommer?

Studien kompletteras med beräkningar av den framtida sättningsutvecklingen i Grimskallen, beroende på stabiliseringsmetod, utgående från de bestämmelser av deformationsegenskaper som genomförts och som planeras inom ramen för utredningsvillkor 1 (se avsnitt 4.5). Med detta underlag kan sedan lämplig stabiliseringsmetod, lämplig konstruktiv utformning samt lämpligt utförande av tätningen bestämmas.

## 8 Tidplan

De planerade undersökningarna kan genomföras med start vid månadsskiftet september/oktober. Flertalet provningar kan då vara slutförda under november månad och en preliminär rapport lämnas före årsskiftet. Vissa tryckhållfasthetstester kommer att behöva genomföras senare, eftersom effekterna av längre härdningstid behöver provas. Det finns också en risk för att vissa lakförsök kommer att behöva utföras efter längre tids lagring beroende på hållfasthetsutvecklingen.

Resultaten kommer att sammanställas i en preliminär rapport avseende U1 som bedöms vara klar till årsskiftet, även om vissa undersökningsresultat tillförs senare. Baserat på resultaten kommer ett förslag till fördjupad utredning avseende U2 att upprättas. Resultaten kan även ge anledning till några ytterligare underökningar inom ramen för U1. Under våren 2014 kan sedan utredningarna slutföras och avrapporteras, samt slutliga beslut kring val av stabiliseringsmetod och täckningskonstruktion fattas.