

**UNDERLAG TILL TILLSTÅNDSANSÖKAN**

# **STOCKHOLM EXERGI – LÖVSTAVERKET**

**Hamnområdet**

**PM komplettering,  
Muddringsmetoder och skyddsåtgärder**



Figur. Pågående muddring i Åhus hamn med horisontalskopa HPG (miljöskopa). Foto KFS

**Solna 2020 - 10 - 13**

**KFS AnläggningsKonstruktörer AB**

Hans Klingenberg

Martin Eliasson

**Innehållsförteckning**

1. Frågeställning .....	3
2. Hamnområdet .....	3
3. Förutsättningar för val av muddringsteknik och skyddsåtgärder.....	4
4. Saneringsmuddring och teknisk muddring .....	6
5. Utvärdering av muddringstekniker i Lövsta .....	13
6. Skyddsåtgärder .....	14
7. Slutsats:.....	24

## 1. Frågeställning

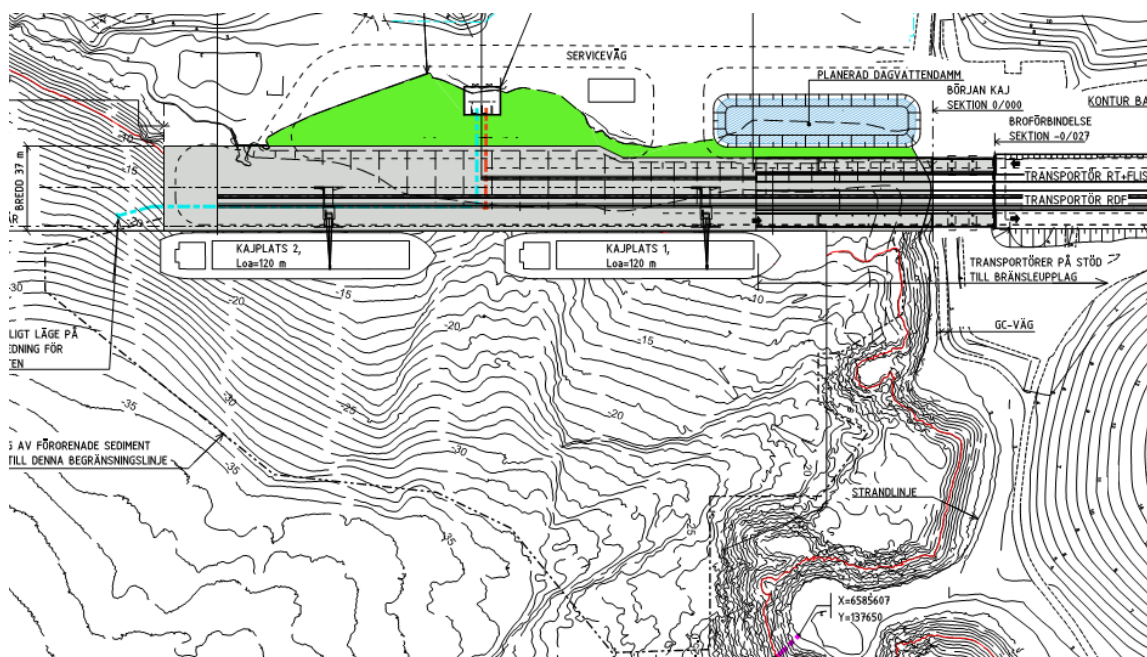
Motivering av vald muddringsmetod och studerade alternativa metoder.

Skyddsåtgärder och studerade skyddsåtgärder som övervägs.

## 2. Hamnområdet



Figur 2.1 Liljevalls illustration av planerat hamnläge med kaj och del av hamnbassäng.



Figur 2.2. Utdrag ur KFS ritning K10.1-1001

### 3. Förutsättningar för val av muddringsteknik och skyddsåtgärder

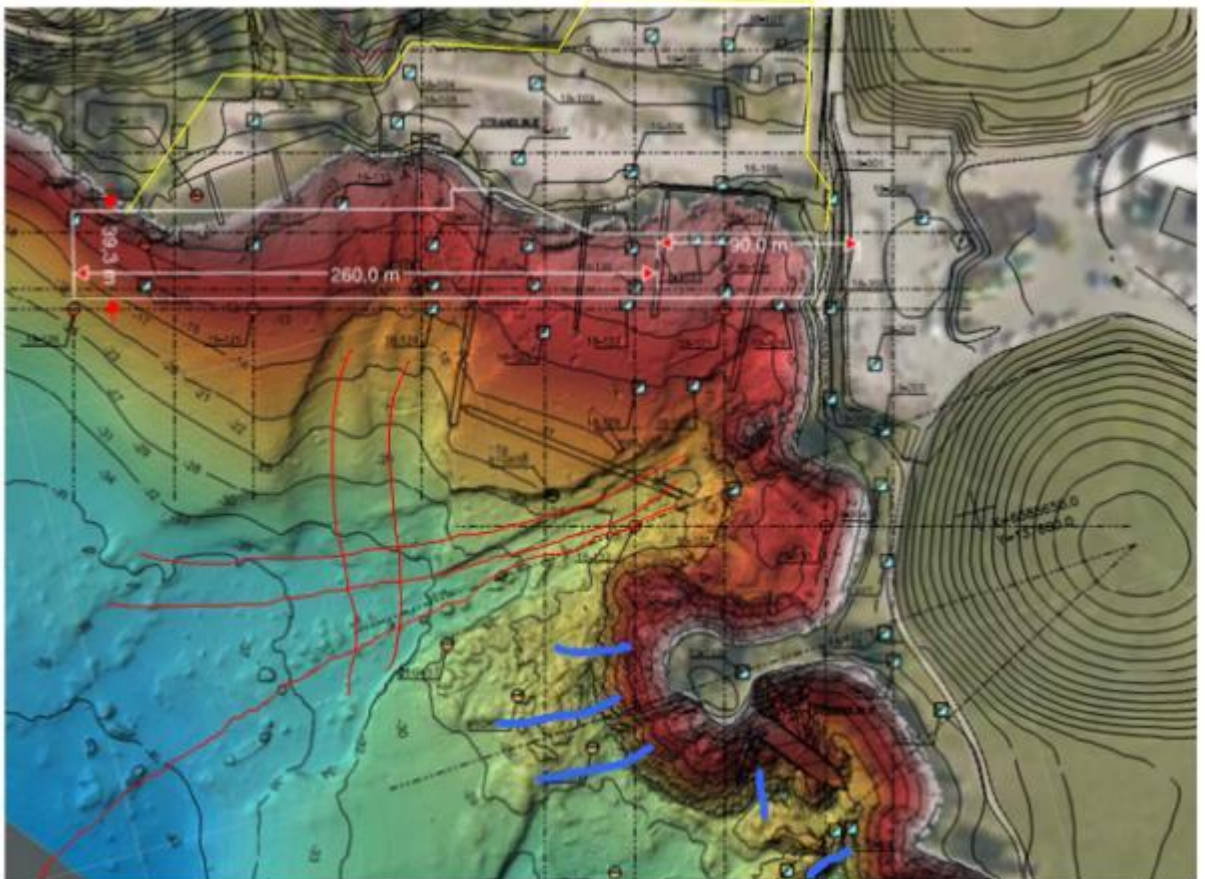
Som komplettering till ansökningshandlingarna Teknisk Beskrivning, MKB och Geotekniskt PM för hamnområdet listas här några primära förutsättningar som har betydelse för val av muddringmetoder och skyddsåtgärder.

1. Batymetrin, vattendjupen

Batymetrin är oregelbunden inom muddringsområdet och botten har en tvärlutning mot söder mestadels på mer än 15%. Ungefär 40% av muddringytan har vattendjup mellan 20 och 33 m.

2. Grundförhållanden, bottensubstrat och hinder för muddring

I stort sett hela det undersökta bottenområdet sydväst om Lövsta gamla deponiområde är påverkat av grunda skred och utglidningar, som sannolikt uppkommit i samband med utfyllnad av sprängstenvallarna runt deponin och de sprängningar som då genomfördes för att få vallarna att sätta sig. Skreden har medfört att aska, slagg, sopor och sjunkna pråmar som fanns inom det yttre tippområdet och strandzonen förts mellan 50 och 250 meter ut från strandlinjen och deponerats över Lövstafjärdens tidigare botten i området.



*Figur 3.1. Ungefärligt inlagd hamnyta på land och kajyta inom gul respektive vit begränsningslinje. Utförda undersökningspunkter finns illustrerade runda och fyrkantiga symboler i bilden. Röda och blå linjer illustrerar ytliga respektive djupa skred i botten. Bottentopografin enligt sjömätning med multibeam (flerstråleekolod) av Clinton i dec 2018.*

Som framgår i avsnitt 4 i Geoteknisk PM finns längs strandzonens slänter sten och block som glidit ut och som måste beaktas vid val av utrustning. En betydande mängd block i skredområdena är tydligt synliga på den akustiska avbildning som erhållits från bottenkanningen med multistrålände ekolod. Erfarenhetsmässigt brukar detta betyda att det finns ett större antal under sedimentytan som inte varit synliga för ekolodet. Inom muddringsområdet utanför släntfot finns hinder med en sjöförlagd intagsledning och flytpontoner med bottenförankringar. Dessa måste avlägsnas vid utbyggnaden av hamnen. Det finns två sjunkna pontoner och ett mindre båtvrak som kommer att bärgas i samband med muddring av botten.

### 3. Muddringsyta, muddringsdjup och muddringsvolym

Föroreningsdjupet där saneringsmuddring ska utföras är som regel mellan 0,1 och 1 m. Muddringytan för saneringsmuddringen är drygt 50 000 m<sup>2</sup> och insitu volymen är ca 35 000 tfm<sup>3</sup> inräknat 20 cm övermuddring.

Den tekniska muddringen i slänter och för att nå fast botten vid släntfot för stabiliserande utfyllnad av bergkrossmaterial uppgår till ca 20 000 tfm<sup>3</sup>. Denna muddringsyta är ca 8 000 m<sup>2</sup> och maximalt vattendjup är ca 12 m och maxdjupet till fast botten är ca 14 m. Den tekniska muddringen måste utföras etappvis med återfyllning med bergkross inom delområdet som grävts ut.

Bergkrossmaterialet kommer att täckas av erosionsskydd av grov sten och block för att förhindra propellererosion. På grund av ställvis stora vattendjup på ca 12 m kommer återfyllning och utläggning av erosionsskyddet att behöva installeras med mudderverk.

### 4. Var ska muddermassorna omhändertas och varför.

De förorenade massorna planeras köras från platsen direkt till godkänd mottagare. Att bygga upp en anläggning för avvattning på platsen med utsläpp av rejektvatten till vattenskyddsområde från denna har inte bedömts vara vare sig tekniskt, ekonomiskt eller miljömässigt lämpligt.

Massorna planeras därför köras bort med pråmar eller fartyg. Vid pråmtransport kan massorna komma att stabiliseras i pråm med bindemedel för att lättare kunna lastas upp i mottagarhamn för landtransport i täta kärl och till behandlingsanläggning. Flera alternativa mottagare utreds.

Rena muddermassor, ca 20 000 m<sup>3</sup>, kan komma att avvattnas lokalt inom invallning ca 600 m norr om hamnen.

### 5. Tillgång till beprövad utrustning för att utföra arbetet

Det måste finnas tillgång till kapacitetsstark beprövad utrustning för att kunna utföra arbetet på aktuell plats med de begränsningar som följer av villkor i dom beträffande arbetstid och miljöpåverkan.

### 6. Risker och arbetsmiljö

Arbetet måste bedrivas med utrustning och på sätt som med hänsyn tagen till rådande förhållanden på platsen eliminerar risker och där det går att upprätthålla en säker arbetsmiljö. Det bör då särskilt uppmärksammas att säkerställa stabilitet i slänter under hela anläggningsfasen och att minska spridningen av föroreningar. Ur arbetsmiljösynpunkt måste beaktas att muddring ska ske i en lös lutande botten med flerstädes stora vattendjup.

7. Tid för muddring

Utrustning bör vara dimensionerad så att grumlande arbeten av betydelse, dvs själva muddringen, kan ske sammanhängande under en säsong.

Övriga arbeten i vatten såsom installation av erosionsskydd, intags- och utloppsledningarna samt pålning bedöms inte ge upphov till grumlande arbeten av betydelse och behöver därför inte utföras i en sammanhängande följd.

8. Minimera miljöpåverkan och vad måste primärt skyddas

Skyddsåtgärder ska vara anpassade till lokala förutsättningar på platsen och till den utrustning och arbetsätt som måste nyttjas för att kunna utföra arbetet på platsen.

Vattenmiljön och råvattenintagen måste kunna skyddas.

Frekventa kontrollmätningar av partikelhalter och turbiditet genomförs på olika avstånd från pågående vattenverksamhet enligt kontrollprogram oavsett vilka övriga skyddsåtgärder som vidtas. Begränsningsvärde enligt tillståndsdokument ska innehållas.

9. Beprövad teknik

Muddring måste utföras med väl beprövad teknik som med marginal kan utföra de svåraste arbetsmomenten på den aktuella platsen. I annat fall riskeras stopp i arbetet i avvaktan på ersättningsutrustning. Att välja oprövad utrustning för aktuella förutsättningar skulle riskera ge upphov till en utdragen miljöpåverkan av vattenmiljön.

## 4. Saneringsmuddring och teknisk muddring

Muddring innebär att massor loss görs från botten och lyfts upp på land, till pråm eller fartyg.

För den tekniska muddringen och utläggning av erosionsskydd krävs mekanisk muddring med bakgrävare eller gripskoveverk. För storskaliga saneringsmuddringar i hamnar nyttjas som regel mekanisk muddring eller sugmuddring.

I det följande kapitel 5 beskrivs endast muddringsmetoder som enligt internationell praxis numera tillämpas för praktiskt bruk.

I genomgången har därför inte frysmuddring medtagits eftersom metoden endast utförts inom några mindre arbeten. Metoden är inte tekniskt och arbetsmiljömässigt lämplig och heller inte kommersiellt tillgänglig i dagsläget, vilket motiveras i utvärderingen i kapitel 5.

## Mekanisk muddring

1. Enskopeverk eller grävmaskin monterad på stödbensponten  
 Utrustas som regel med öppen standardskopa.  
 Med stor skopvolym som fylls i varje arbetscykel kan spillet och partikelspridningen minskas.  
 Vattendjup= 20-25 m.  
 Precision= $\pm 10$  cm vertikalt och horisontellt.  
 Massor= Lösa, fasta, block och hinder.  
 Utläggning erosionsskydd.  
 Partikelspridning= Varierar beroende på lokala förutsättningar men kan begränsas med försiktig muddring.  
 Tillfört vatten=10-20 % utöver insituvolymen.



Bild 4.1. Medelstort enskopeverk. Muddring i Södertälje Sydhamn med liten partikelspridning. Foto. KFS

2. Mindre enskopeverk  
 Grävskopa utrustad med avluftningshål på sidorna och ovasidan samt med lock på skopan som kan stängas, en typ av miljöskopa.  
 Vattendjup= 10-15 m.  
 Precision= $\pm 10$  cm vertikalt och horisontellt.  
 Massor= Lösa, något fasta, och mindre hinder..  
 Partikelspridning= Varierar beroende på lokala förutsättningar men begränsas vid försiktig muddring.



Bild 4.2. Skopa i öppet läge. Foto SSE



Bild 4.3. Skopa i stängt läge. Foto SSE

Tillfört vatten=10-20 %  
 En liknande teknik användes vid muddring i den inre delen av Valdemarsviken. I detta fall kunde inte grumlingsvillkoret innehållas utan siltskärmar fick användas. Sannolikt orsakades grumlingen i detta fall inte av mudderverket i sig utan av propellererosion från de bogserbåtar som användes för transport av upptagna massor i pråmar. Att propellererosionen var omfattande berodde på att vattendjupen i en stor del av muddringsområdet var begränsat (< 4 m) samtidigt som sedimenten var extremt lösa och känsliga för erosion.



Bild 4.4. Underhållsmuddring i Södertälje Bränlehamn med liten partikelspridning betydligt under tillåtet begränsningsvärde Foto KFS

3. Gripskopeverk med öppen skopa utan luckor.

Inte optimal för saneringsmuddring.

Vattendjup= ca 35 m.

Precision= $\pm 15$  cm till  $\pm 20$  cm vertikalt och horisontellt.

Massor= Lösa, till något fasta, block och hinder med specialgrip..

Partikelspridning= Varierar beroende på lokala förutsättningar men högre än HPG skopa enligt metod 4 nedan.

Tillfört vatten=10-20 %



Bild 4.5 .Foto från USACE, ERDC/EL TR-08-29

Grävande skopor och gripskopor kan hantera och gräva upp små och även stora hinder i ett muddringsområde.



Bild 4.6.Enskopeverk.  $7,2 \text{ m}^3$  block  
Foto Boskalis

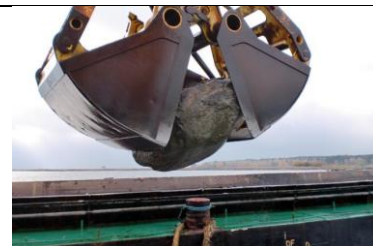


Bild 4.7. Gripskopeverk.  $3,2 \text{ m}^3$  block. Farledsmuddring i Åhus.  
Foto Boskalis

4. Gripskopeverk med horisontalskopa

HPG=Horizontal Profile Grab är en specialbyggd miljöskopa för att kunna muddra tunna lager med god precision.

Nedan visas arbetssekvensen från nedsänkning genom vatten, skopa vid botten från öppet läge till stängning i horisontellt snitt, lyft av fylld skopa.



Bild 4.8. Foto från Boskalis



Instängd luft i en standard skopa frigörs under stängning av skopans luckor just ovanför botten och orsakar störningar i jord-vatten-kolumnen.

För att undvika denna effekt installeras på HPG avluftningsventiler på skopans luckor. Luften evakueras direkt under vattenytan och vattnet evakueras när skopans luckor fylls med sediment och stängs.

Skopans stängning sker aktivt med hydrauliska cylindrar vilket minskar dess sårbarhet för skräp och bråte på botten.

Vattendjup= ca 35 m.

Precision= $\pm 10$  till  $\pm 15$  cm vertikalt och horisontellt.

Massor= Lösa, något fasta, och mindre hinder..

Partikelspridning= normalt mycket låg.

Tillfört vatten=10 %

Ett stort antal projekt har genomförts med gripskoveverk med HPG och avluftningsventiler i Sverige och övriga Norden.

En liknande muddringsteknik med tättslutande miljöskopa användes för avslutande muddring vid sanering av hamnbassängen i Oskarshamns hamn, efter det att två olika sugmuddringsmetoder provats (se nedan). Vissa svårigheter noterades där stora hinder förekom, men tekniken fungerade i huvudsak väl. Grumlingen vid muddring var begränsad och aldrig i närheten av de villkor som gällde vid muddring, trots att vare sig siltskärmar eller luftbubbelridåer användes.

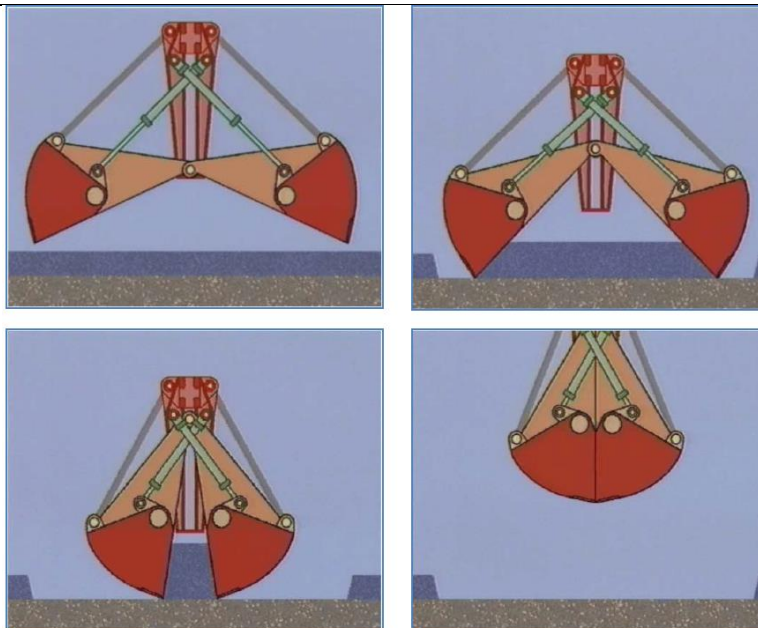


Bild 4.9. Arbetssekvens för HPG skopa. Från Boskalis.



Bild 4.10. Från Boskalis



Bild 4.11. Från Boskalis

### Sugmuddring.

Hydraulisk muddring eller sugmuddring åstadkoms med hjälp av jetpumpar, tryckluftspumpar eller centrifugalpumpar.

#### 5. Trailing hopper suction dredger, THSD

Sugmuddring kan nyttjas i storskaliga tillämpningar för muddring av lösa massor i farleder där man kommer åt med utrustningen. Muddringen sker då som regel med ett fartyg (Trailing hopper suction dredger, THSD), som under långsam framdrift sänker ner ett rör med ett "damsugmunstycke" (draghead) på en eller båda sidor om fartyget. Med hjälp av kraftiga jetpumpar kopplade till röret ovanför sugmunstycket drar jetströmmen in en blandning av fast material och vatten från botten till lastutrymmen ombord på fartyget. Muddringskapaciteten per timme kan under gynnsamma förutsättningar vara mycket hög.

För att kunna fylla fartyget med muddermassor måste det vatten som sugas in tillsammans med muddermassorna kunna släppas ut från fartyget på muddringsplatsen, "overflow". I annat fall kommer fartygets lastutrymme till stor del upptas av vatten, "no overflow".

Det måste finnas en dumpningsplats i vattenområde eller en inne på land där det finns dispens eller tillstånd för att fartyget kan bli kvitt sin last av uppmuddrat vattenblandat material.

THSD kan antingen dumpa massorna via öppningar i skrovbotten eller pumpa massorna i rörledningar i land.

Vattendjup= upptill ca 30 m för mindre trailers.  
Precision=varierar mellan  $\pm 10$  cm upptill  $\pm 50$  cm vertikalt och horisontellt i lösa sediment  
Massor= lösa massor utan hinder.

Partikelspridning= varierar mycket från låg, no overflow, till mycket hög, overflow. Risk finns för spill och att fartygets propellrar ger partikelspridning under muddringens framdrift

Tillfört vatten=varierar mycket beroende på muddringsdjup och hinder, ca 5-20 gånger insitivolymen

En mindre 90 m lång och 18 m bred TSHD som bl.a. nyttjats för del av muddring av förorenad botten i Oskarshamn. Vattendjup ca 11 m. Vid denna muddring användes inte tekniken med "overflow" och heller inte dumpning, utan massorna pumpades från lastutrymmet till en avvattningsanläggning på land när lastutrymmet var fullt. Vattenblandningen var stor. TS-halten i muddermassorna sjönk från ca 30% till ca 7%. Tekniken fungerade inte tillfredsställande, framför allt på grund av sämre precision som bland annat



Bild 4.12. THSD Seaway vid kaj. Projekt Säkrare farleder i Göteborg 2003. Foto KFS.



Bild 4.12b. Inpumpning av sugmuddrade massor, bild från "Slutrapport- Muddring av farled och hamn i Karlsborg"



Bild 4.13. Mudderverket Pinta från Jan De Nul

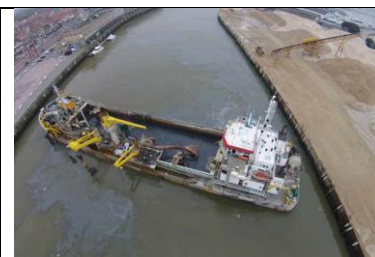
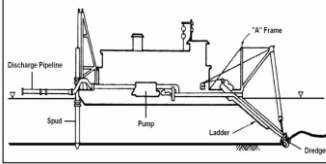
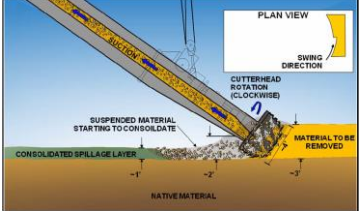




Bild 4.14. Mudderverket Pinta från Jan De Nul

<p>ledde till att ”plogfåror” skapades genom lager av förorenade sediment ner i underlagrande jord. Med denna teknik var det heller inte möjligt att komma åt alla förorenade sediment pga. hinder och manövreringsproblem intill kajer m.m.</p> <p>Hinder och åtkomlighetsproblem. Arbetet slutfördes med gripskopeverk med miljöskopa.</p>		
<p>6. CSD=Cutter Suction Dredgers</p> <p>CSD är ett sugmudderverk som kan skära loss hårdare partier vid muddringsfronten, dock inte sten, block och andra fysiska hinder.</p> <p>Huruvida denna typ av mudderverk är lämplig för muddring av förorenade sediment beror på vilken typ av cutter (skärhuvud) som används och om detta är avskärmat eller inte. En konventionell cutterhead lämnar efter sig en rest av de muddrade sedimenten som inte medbringas i sugmunstycket som framgår av bilden (ERDC/EL TR 08-29). En cutterhead ger stor inblandning av vatten 10-20 gånger insituvolymen.</p>	 <p>Bild 4.15. CSD. Foto från USACE, ERDC/EL TR-08-29</p>	 <p>Bild 4.16. Principen för CSD. Foto från USACE, ERDC/EL TR-08-29</p>
<p>Några av dessa CSD har ersatt skärhuvudet med skivor på roterande trumma eller med en horisontellt liggande skruv som matar in muddermassorna till insugningsröret för att överkomma problemen med kvarlämnad muddringsrest.</p> <p>Med pumpar leds muddermassorna i en slurry i ledning in i land till avvattning och omhändertagande.</p> <p>Ingen av metoderna är lämplig för ojämn botten och områden med sten och hinder.</p> <p>CSD med horisontellt liggande och avskärmat skruv är framtagen särskilt för muddring av förorenade sediment och har nyttjats bl.a. i Järnsjöprojektet 1993-1994, projekt Örserumsviken år 2001-2003 och projekt Svartsjöarna 2006.</p> <p>Vattendjup = upp till ca 15 m</p> <p>Precision = <math>\pm 10</math> cm vertikalt och <math>\pm 15</math> cm horisontellt</p> <p>Kapacitet: 25 - 50 m<sup>3</sup> per timme</p> <p>Tillfört vatten = 3-5 ggr volymen in situ, typiskt vatteninnehåll vid pumpning 70-90 %</p> <p>Kommentar: Sifferuppgifterna kommer från DNV 2008, Ref 5. Erfarenheter från de svenska projekt som refereras till i genomgången är att muddermassorna som bäst har en torrsubstanshalt kring 5 %, dvs till minst 95 % består av vatten.</p> <p>Det ska tilläggas att ett sugmudderverk av denna typ sällan kan användas för muddring av alla förorenade sediment på en plats. Såväl vid saneringarna i Järnsjön som i Örserumsviken utfördes</p>	 <p>Bild 4.17. PIANC report no 100</p>	 <p>Bild 4.18. PIANC report no 100</p>

muddring av strandnära sediment med vass och rotfilt som grävuddring.

Erfarenheterna från dessa projekt visar att tekniken fungerar bra och med minimal grumling i lösa finkorniga sediment (gyttja) utan inslag av friktionsjord eller hinder, men att redan inslag av sand orsakar produktionsstörningar med nedsättning av kapaciteten och avsevärt ökande vatteninblandning vid muddringen. I samtliga dessa fall var släntlutningarna inom muddringsområdena små. Tekniken är inte anpassad för muddring av lutande bottnar, ojämna bottnar och/eller bottnar med betydande inslag av hinder (ERDC/EL TR-08-29, Ref 1).

En liknande teknik provades i Oskarshamns hamn, med ett kortare gallerförsatt inkapslat muddringshuvud utan skruv. Tanken bakom utformningen var att kunna muddra med mindre inblandning av vatten och att hinder skulle kunna fösas bort med muddringsarmen samtidigt som de finkorniga förorenade sedimenten skulle pressas in genom gallret till sugmunstycket. Detta visade sig inte fungera tillfredsställande. Redan mindre förekomster av hinder (sten och block i fraktionen 100 – 300 mm) orsakade nedsättning av produktionskapaciteten som skulle medfört minst en fördubbling av produktionstiden varför metoden byttes ut.

Produktionsstörningar i Örserumsviken ledde till att den först nyttjade sugmuddringsutrustningen fick bytas ut mot en kraftfullare sugmuddringsutrustning med horisontell skruv. Ställvis var det dock svårt att innehålla en TS halt på minst 4%.

(Info från sid 62-66 i Bilaga till Projekt- och erfarenhetsrapport, April 2007).

#### 7. Trycklufts-och centrifugalpumpar

För mindre tillämpningar nyttjas tryckluftspumpar (mammutpumpar) som normalt styrs av dykare eller för något större projekt centrifugalpumpar som kan vara monterade på en fast arm monterad på en grävmaskin.

Vattendjup= 15-20 m för fast arm.

Precision=varierar mellan  $\pm 10$  cm upptill  $\pm 50$  cm vertikalt och horisontellt i lösa sediment

Massor= lösa massor, mycket sårbart för skrot på botten.

Partikelspridning= låg.

Tillfört vatten=10-20 gånger insitivoly men dvs 90-95 % vatten i massorna.

Avvattning erfordras före deponering.



Bild 4.19. Renare mark-Seminarium/workshop om efterbehandling av förorenade sediment 7 februari 2012. Jens Laugesen, DNV

## 5. Utvärdering av muddringstekniker i Lövsta

För att kunna utföra arbetet med de förutsättningar som finns på platsen och i vattenskyddsområdet enligt avsnitt 3 ovan måste arbetet utföras med mekanisk muddring med ett gripskopeverk med HPG skopa, se punkt 4 under avsnitt 4 ovan, eller likvärdig. Erfarenheter av HPG skopa från ett flertal projekt visar på liten inblandning av vatten och spridning av partiklar. HPG skopa har använts i flertalet projekt i Norden som exempelvis Gävle farled och hamn, Åhus farled och hamn, Norviks hamn, flertal muddringar i finska hamnar som Helsingfors, Kotka och Loviisa.

Erfarenheterna av en liknande muddringsmetod med tättslutande miljöskopa i det snarlika objektet Oskarshamns hamnbassäng visade att grumling och spridning av förorenade partiklar under pågående muddring var liten, motsvarade de antaganden om partikelspridning som har gjorts i miljökonsekvensbeskrivningens simuleringar beträffande påverkan på Mälaren och dricksvattenintagen.

För teknisk muddring och för att hantera sten, block, hinder och installation av erosionskydd kommer ett större enskopeverk att behöva nyttjas, se punkt 1 under avsnitt 3 ovan.

Även om sugmuddring med den teknik som användes vid saneringarna av Järnsjön, Örsörumsviken och Svartsjöarna där visats vara väl fungerande med mycket liten grumling och partikelspridning bedöms denna teknik inte vara möjlig att använda vid Lövsta. Skälen är flera:

- Vattendjupen är stora. Den typ av mudderverk som användes i dessa projekt var utrustade med en fast arm som begränsar det möjliga arbetsdjupet till maximalt ca 15 m vilket omöjliggör användning i stora delar av det område som ska muddras.
- Släntlutningarna varierar typisk från 1:5 upp till 1:3 enligt PM Geoteknik. För muddring med en horisontell skruv är detta branta lutningar för vilken tekniken inte är anpassad.
- Inslaget av hinder, framför allt sten och block som glidit ut är stort i muddringsområdet och inte minst i de strandnära områden där en sugmuddring skulle kunna utföras med liggande skruv med hänsyn till vattendjupen. Detta innebär en stor risk för att skruven ofta måste lyftas och rensas vilket i sig är en källa till partikelspridning (DNV, 2008, Ref 1). Hinder innebär dessutom en avsevärd nedsättning av kapaciteten och en stor risk att förorenade sediment kvarlämnas i skydd av hinder som inte kan forceras med skruven, t.ex. bland stor sten och block.
- Stor vatteninblandning i muddermassorna.

Frysmuddring är som tidigare nämnts inte en tekniskt och arbetsmiljömässigt lämplig metod och i dagsläget ej heller inte kommersiellt tillgänglig. Skälen för att frysmuddring inte slagit igenom är flera:

- Utläggning av frysplattor måste ske med dykare. Detta medför höga kostnader, men är också förknippat med arbetsmiljörisker till följd av att skred kan uppkomma när tunga frysplattor läggs på lösa sediment, särskilt om dessa ligger i lite brantare lutningar som fallet är vid Lövsta.

- Kapaciteten är låg. Exempelvis tog det 30 dygn att muddra 3 000 m<sup>2</sup> motsvarande 300 m<sup>3</sup> vid muddring av kvicksilverförorenade sediment i Sundsvallsbukten (Åström, Recycling).
- Sten och block på botten medför att utlagda plattor inte överallt kommer i direktkontakt med de förorenade sedimenten. Detta innebär att en stor volym vatten behöver frysas för att få med sig sedimenten vilket nedsätter kapaciteten och fördyrar muddringen ytterligare.

Även om det skulle vara möjligt att återetablera muddringstekniken bedöms det inte som genomförbart att använda metoden vid Lövsta. Lutningarna är branta vilket bedöms medföra stora arbetsmiljörisker för dykare som ska styra utläggningen av plattor. Kapaciteten är låg och antas samma kapacitet som vid muddringen av Sundsvallsbukten skulle den teoretiska muddringstiden uppgå till i storleksordningen 10 år. Därtill kommer svårigheterna med en ojämn botten med uppstickande sten och block.

Frysmuddringen under 2013 fick avbrytas i ett hamnprojekt i Stockholm i samråd med Länsstyrelsen på grund av bristande tekniska förutsättningar för bottenförhållanden och sediment. Att nyttja frysmuddring på lutande botten och där det finns hinder i form av sten fungerar uppenbarligen inte.

## 6. Skyddsåtgärder

### Skyddsåtgärder anpassas till lokala förhållanden.

Skyddsåtgärder måste planeras utifrån lokala förutsättningar. Det finns inga skyddsåtgärder som fungerar för alla tillämpningar. Skyddsåtgärder måste anpassas så att påverkan på omgivningen kan accepteras.

Det som primärt måste skyddas i aktuellt projekt är

- Vattenmiljön och råvattenintagen vid Görveln och Lovön

Typ av påverkan som måste begränsas är

- Spridning av partiklar med föroreningar

Påverkan måste kunna mätas och begränsas

- Partikelhalter undersöks med laboratorieprovning och turbiditet mäts optiskt i fält enligt kontrollprogram. Partikelhalterna måste hållas inom begränsningsvärde enligt dom.

Värden från turbiditetsmätningen kommer att räknas om till partikelhalter med hjälp av en framräknad kaliberingskurva. Denna kurva bestäms av vattenprover med tillförda sediment i olika halter från platsen där muddringen ska utföras.

### Primära skyddsåtgärder.

Skyddsåtgärder som visat sig fungera i praktiken är följande:

- I utredningsskedet genomföra noggranna undersökningar avseende muddermassornas egenskaper och föroreningsinnehåll. Baserat på undersökningen upprättas en muddringplan där muddringsområdet uppdelas i delområde med föreskrivna måldjup. Föreslå planen som villkor i tillståndet.

- Upphandla rätt muddringsutrustning som med marginal kan klara de svåraste arbetsmomenten under en sammanhängande muddringssäsong.
- Upphandla dokumenterat erfaren personal. Platschefens och maskinisternas skicklighet och erfarenhet på mudderverket har en nyckelroll.
- Miljöhänsyn påtalas vid genomgång med involverad personal vid byggstart.
- Kontroll enligt kontrollprogram. Fortlöpande avstämning till beställare, entreprenör och tillsynsmyndighet.

### Sekundära skyddsåtgärder

Sekundära skyddsåtgärder som kan fungera om de fysiska förutsättningarna finns på aktuell plats är siltskärmar, bubbelridåer och stålspont. Där så är möjligt bör sådana åtgärder skydda exempelvis ett vattenintag eller ett känsligt strandområde nära där muddring sker.

Det kan vara kontraproduktivt att göra en avskärmning av själva muddringsområdet om detta är beläget i ett hamnområde eller i en farled där fartygstrafik finns eller kommer att finnas.

Då kommer sedimenterade lösa partiklar innanför avskärningen att spridas okontrollerat efter att avskärmningen tagits bort och vid en tidpunkt på året då partikelspridningen kan göra större skada.

### Siltskärmar.

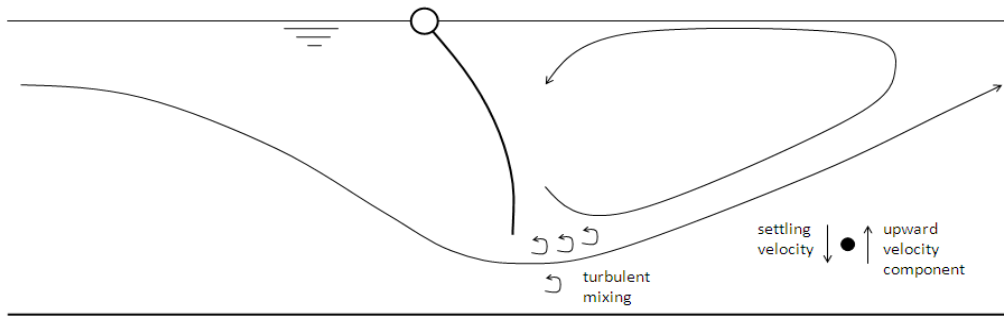
Det finns drygt 40-årig internationell erfarenhet av geotextilskärmar, där man visar exempel på där geotextilskärmar gör nytta och där de är olämpliga att använda. Där det förekommer båttrafik, strömmande vatten med hastigheter större än 1-1,5 knop, vågor, is och där vattendjupet är större än ca 7 m, är det inte tillrådligt att nyttja skärmar. Detta gäller givetvis även för båttrafik och propellerrörelser under muddringsskedet.

USACE (US Army Corps of Engineers) anger i flera dokument att det är felaktigt att generellt betrakta geotextilskärmar som bästa lösningen att begränsa grumling, Referens 1, avsnitt 8.1.3.

"Silt curtains are highly specialized, temporary-use device that should only after careful evaluation of the intended function and designed based on detailed knowledge of the site where they will be used. They should not be considered the "one solution fits all" type of best management practice for control of resuspension at dredging projects".

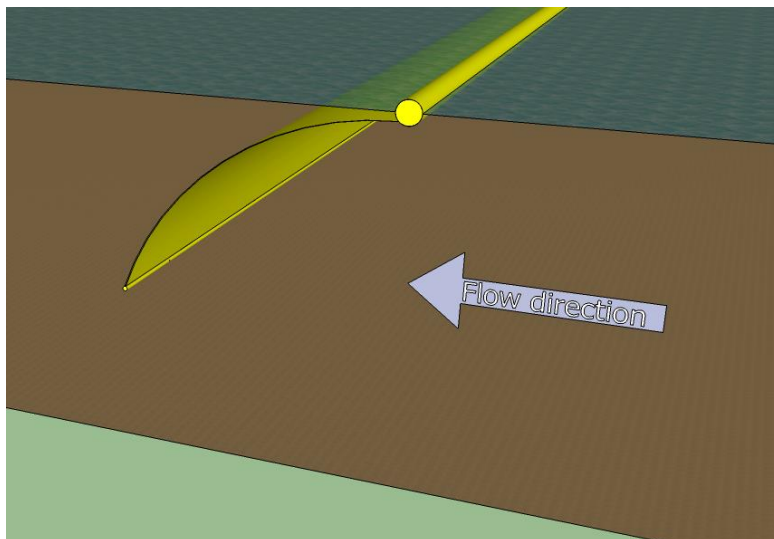
På universitetet i Delft i Nederländerna har studerats geotextilskärmars effektivitet i strömmande vatten.

Av figur 6.1 visas vilka vattenrörelser som uppstår intill en nedhängande geotextilskärm då strömmande vatten passerar mellan skärmens nedre kant och botten. Suspenderat sediment pressas då mot botten när det transporteras av den koncentrerade vattenströmmen under skärmen. Detta leder till kortare sedimenteringstid, men turbulens och återcirkulation nedströms skärmen motverkar denna process. I den koncentrerade strömmen under skärmen kommer vattenhastigheten närmast botten istället att öka. Om botten då består av ett eroderbart material kommer den högre vattenhastigheten leda till ökad erosion och därtill följande spridning av löst liggande sediment intill skärmen.



Figur 6.1. Vattenrörelser som uppstår på grund av strömmar under en geotextilskärm. (Referens 2, sid 11).

En geotextilskärm, som påverkas av strömmar, kommer således inte att hindra suspenderad sediment från att sprida sig fritt. Tvärt om, kan en skärm resultera i erosion av bottensediment kring skärmens bottendel och på så sätt skapa ökade volymer sedimentrikt vatten. Att använda geotextilskärmar kring hela muddringsområdet vid Lövsta bedöms mot denna bakgrund som olämpligt.



Figur 6.2. Schematisk redovisning hur en geotextilskärm deformerar och påverkas av en vattenström. (Referens 2, sid 12)





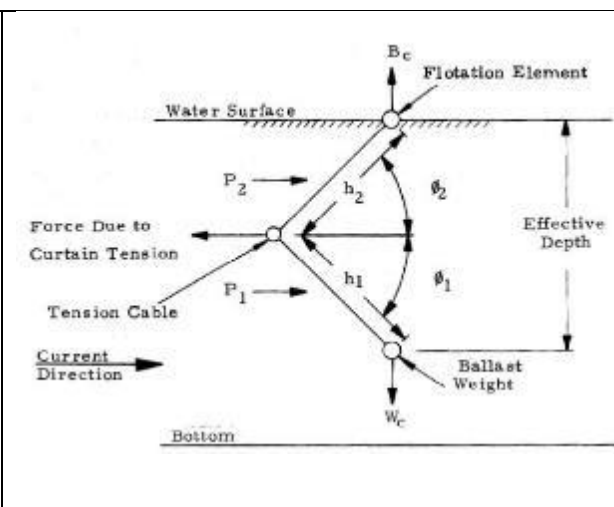
Figur 6.3. Siltskärm påverkad av ström. Örserumsprojektet i Sverige. Referens 5.

I en rapport från JBF Scientific Corporation redovisas att en geotextilskärm blir utsatt för betydande förankringskrafter i strömmande vatten. I teorin är en skärm genomsläpplig, men med tiden blir den mer och mer igensatt av sediment och till slut så tät att vattnet strömmar vid sidan av eller under skärmen.

Beräkningar i JBF Scientific Corporation, Technical Report framgår det att en skärms effektiva djup minskar med ca 60-70% vid en strömhastighet på 1 m/s (ca 2 knop).

För att minska deformationen av skärmen kan den nedre delen av skärmen förankras, vilket dock medför att skärmen kommer att utsättas för mycket stora krafter som kan slita sönder skärmen.

Referens 3 sid 53-68



Figur 6.4. Geotextilskärm påverkad av strömmar. (Referens 3 sid 57)

Geotextilskärmarnas användning sammanfattas i avsnitt 4.9.1 i PIANC Report no 100-2009, "Dredging Management Practice for the Environment", Referens 4.

"Dredging Management Practice for the Environment" "Silt screens are difficult to handle and cannot be used under marine conditions with significant currents or waves. ...silt screens can be effective, but their application is limited to special cases."

#### Erfarenheter av siltskärmar från några svenska sedimentsaneringar

Vid saneringen av Järnsjön i Emån som utfördes 1993 - 1994 användes en siltskärm vid muddring av den östra halvan av sjön, där föroreningshalterna var höga. Skärmen placerades parallellt med Emåns strömfåra på så sätt att strömning direkt mot skärmen skulle undvikas och där vattendjupen var begränsade. Denna siltskärm utfördes heltäckande, dvs. förankrades i botten med en kätting, detta för att undvika underströmning med risk för ökad bottenerosion som illustreras i Figur 6.1. Vidare förankrades skärmen till pålar med c/c 25 m, vilket minskades till c/c 10 m där de högsta påkänningarna av vattenströmning kunde förväntas, nära Emåns inlopp i sjön. Trots denna förstärkning kollapsade skärmen under den period när (normal)hög vattenföring inträffade. Under övriga perioder fungerade skärmen bra. Vid utvärderingen av projektet konstaterades att någon siltskärm aldrig hade behövt installeras givet den mycket begränsade grumling som muddringen gav upphov till.

Vid saneringen av Örserumsviken 2003 - 2004 användes en skärm med liknande konstruktion som vid saneringen av Järnsjön. Förankringen utgjordes i detta fall av kraftiga bojstenar utlagda på ömse sidor om skärmen, till vilka flytkropparna fixerades med stålvaror. Skärmen placerades tvärs över vikens mynning i syfte att begränsa partikeltransport ut från viken under pågående muddring. Vattendjupen var upp till ca 5 m. I detta fall fungerade skärmen aldrig tillfredsställande. Påkänningarna av vindinducerade seicher (stående vågor) blev för stora och skärmen kollapsade vid upprepade tillfällen. Liksom vid saneringen av Järnsjön konstaterades att grumlingen vid muddring var mycket liten och att någon skärm aldrig hade behövt installeras.

Vid saneringen av Valdemarsviken (grävuddring med skopa typ HPG) användes i stället två separata skärmar som placerades omlott med varandra med en mellanliggande öppning som passage av båttrafik, se bilden nedan. Förankringen av dessa var snarlik konstruktionen i Örserumsviken. Vattendjupen där muddring utfördes var upp till drygt 12 m. Denna konstruktion fungerade nöjaktigt, förmodligen pga. att öppningen som var avsedd att möjliggöra passage för båttrafik även medgav ögonblicklig utjämning av vattennivåerna på ömse sidor av skärmarna vilket medförde att dessa aldrig påverkades av vindstuvning eller seicher som fallet var i Örserumsviken. I detta fall behövdes skärmarna för att klara den tillåtna grumlingsökningen som var ovanligt lågt satt beroende på den extrema föroreningssituationen. Som framgått av redogörelserna för muddringsmetoder i kapitel 3 orsakades grumlingen inte i första hand av muddringen utan av propellererosion från bogserbåtar i de grunda delarna av muddringsområdet.

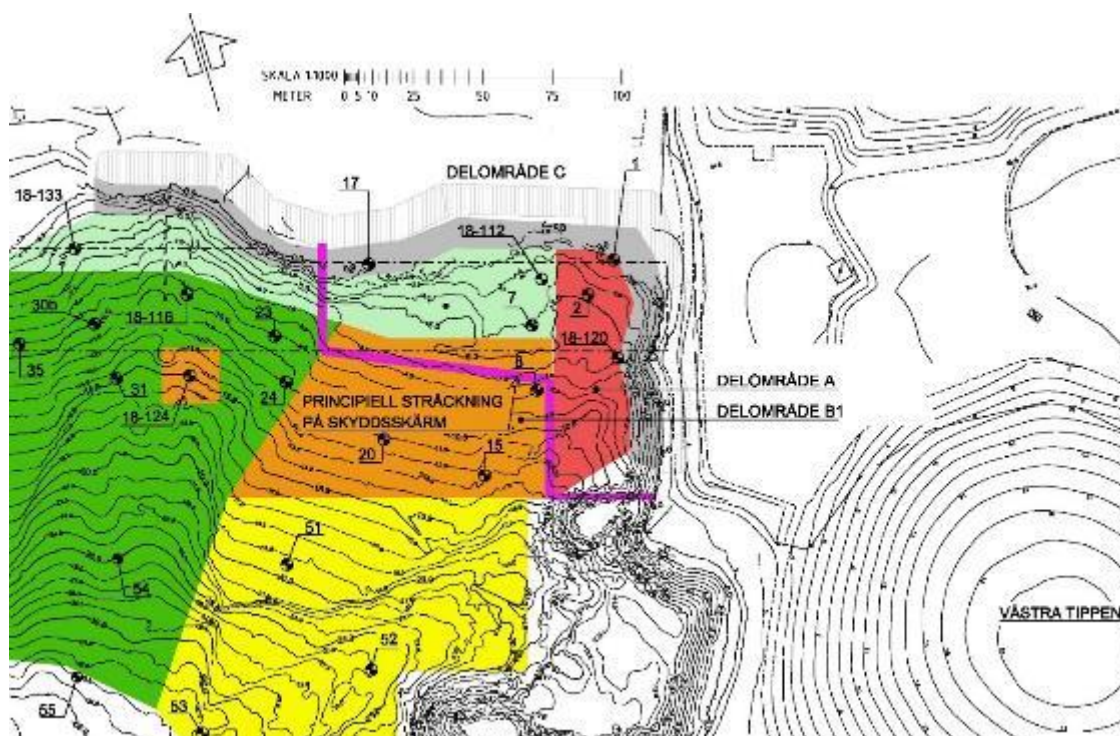


*Bild på en av skärmarna i Valdemsarviken*

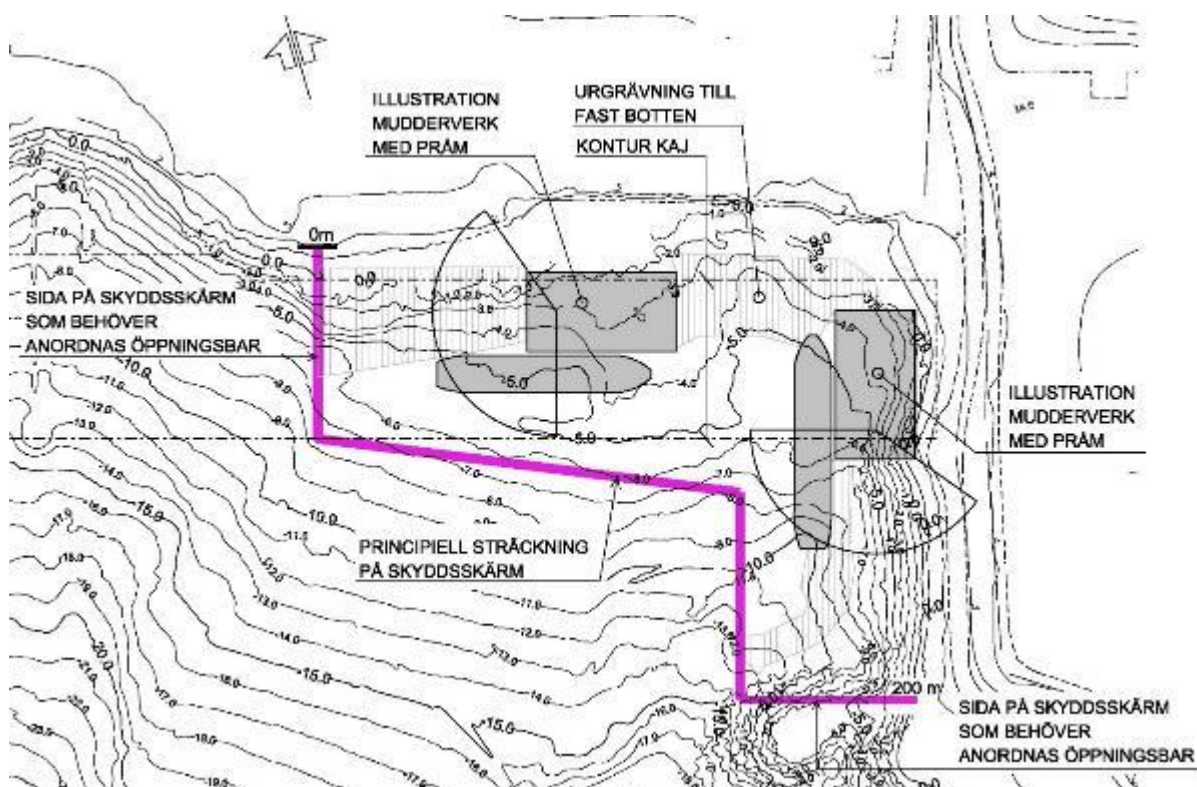
Slutligen ska nämnas att saneringsmuddringen i Oskarshamns hamn (både sugmuddring och grävuddring med skopa typ HPG) utfördes helt utan siltskärmar. Liksom i Valdemsarviken var grumlingsvillkoret utformat som maximalt tillåten grumling på ett visst avstånd från mudderverket, men här även kompletterat med maximalt tillåten grumling i hamninloppet. Ett strängare grumlingsvillkor sattes för en vik i hamnen nära hamninloppet där föroreningshalterna var som högst. Trots det höga kravet på grumlingsbegränsning i denna vik kunde sedimenten här muddras med skopa typ HPG utan siltskärmar med betryggande marginal till grumlingsvillkoret. Skillnaden mot muddringen av Valdemsarviken var sannolikt bogserbåtarna aldrig opererade lika strandnära och att vattendjupen där dessa kunde orsaka propellererosion därmed var betydligt större än i Valdemsarvikens trängre inre del.

#### Kan siltskärm användas vid Lövsta?

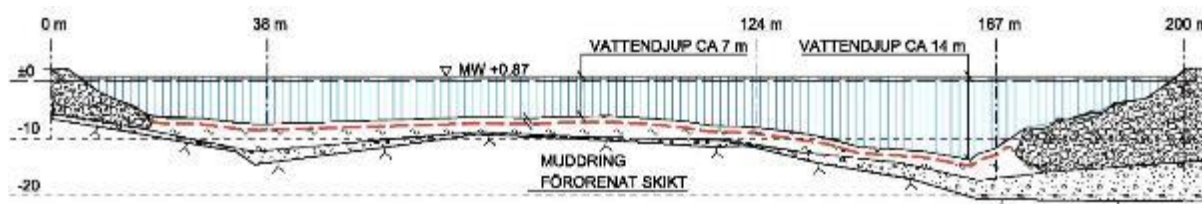
På grund av siltskärmars konstaterade begränsningar att göra miljönytta enligt ovan finns ett kraftigt förorenat område vid inre delen av hamnområdet mot tippområdet som har studerats. Här är vattendjupen mestadels mindre än 7 m, men lokalt 7-14 m



Figur 6.5. Studerat principiellt läge för eventuell siltskärm, lila linje i figur, för avskärmning av primärt delområde A



Figur 6.6. Delplan med principiell sträckning på siltskärm



Figur 6.7. Profil i siltskärmens sträckning

Om siltskärm är en lämplig skyddsåtgärd som kan nyttjas i Lövsta (dvs. vilka åtgärder som finns för att få skärmen att fungera på djup mellan 7 och 14 m) är en fråga som måste detaljstuderas tillsammans med blivande entreprenör. Hänsyn måste då tas till produktionsutrustningens utrymmesbehov och tillgänglighet för att kunna komma åt att utföra muddringen, transportera bort muddermassorna samt fortlöpande lägga ut bergfyllning på fiberduk.

Fördelen med visad placering enligt figur 6.5 vore att kunna rama in den primära föroreningskällan inom delområde A där schakt kommer att utföras i slänter med slaggrus och aska och utanför släntfot i förorenade finkorniga sediment.

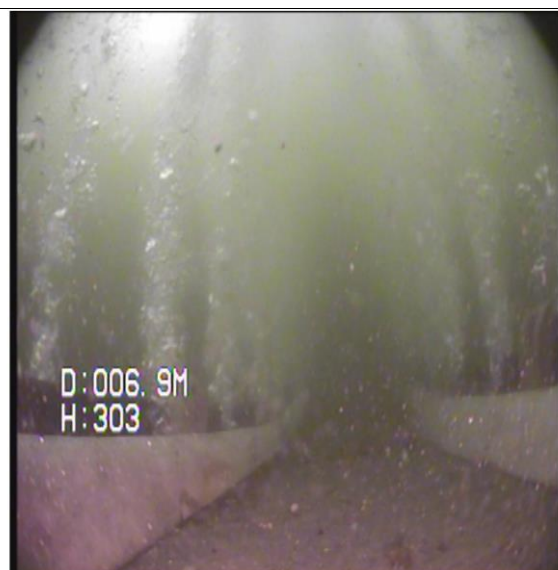
Efter avslutad saneringsmuddring och teknisk muddring till fast botten i detta område kommer utfyllnad att ske med krossmaterial på fiberduk och erosionsskydd läggas på de nya slänterna och längs släntfoten. På detta sätt förhindras framtida spridning från partikelburna föroreningar som finns i utfyllnadsmassor under erosionsskyddet även efter att siltskärmen tagits bort.

### Bubbelridå

En bubbelridå är ingen fysik barriär jämförbar med en fungerande siltskärm. Den nyttjas ibland i öppningar mellan siltskärmar för att underlätta för pråmtransport eller i trånga hamnbassänger för att inte hindra passage av fartyg.

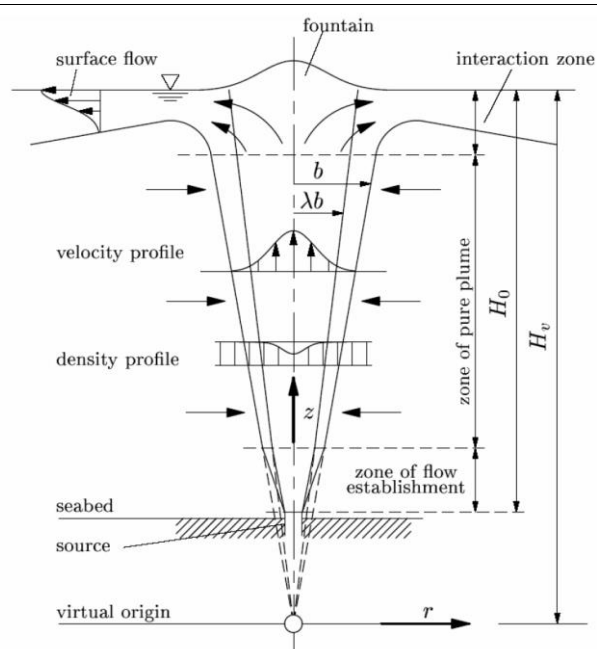
Principen för en bubbelridå redovisas enligt nedan

- Bubbelridån genereras genom att tryckluft pressas genom ett perforerat rör som placerats på botten.
- Från röret flödar en ständig ström av bubblor upp till ytan
- På bilden syns dubbla bubbelridåer



Figur 6.8. Ref 6..

- I luftströmmens centrum är hastigheten högst och densiteten lägst. När luftbubblorna närmar sig vattenytan sprids de horisontellt och bildar en ytström.
- När partiklar närmar sig ridån kommer de tyngre sjunka och de mindre lyftas och spridas till båda sidor. Hälften av partiklarna passerar bubbelridån och hälften transporteras tillbaka innanför bubbelridån.
- Med två parallella rör kan en lugn zon mellan de två luftströmmarna bildas, där partiklarna kan sjunka till botten.
- Svag effekt närmast ovanför röret.
- Svårt att få röret tätt mot ojämna botten.



Figur 6.9. Ref 6.

Bedömning av bubbelridåer är att de:

- Fungerar i speciella tillämpningar (PIANC Report 100)
- Fungerar i skyddade områden utan strömmar och vågor
- Hindrar inte fartygstrafik och kan hanteras relativt enkelt
- Hög bränsleförbrukning om kompressorer måste drivas med diesel. Ca 500 liter/dygn för 100 m bubbelridå i Sundsvall.
- Eldrivna kompressorer ger mindre utsläpp till luft men kräver 125 Ampere. Ca 85 kWh/timme för 150 m bubbelridå på 3-4 m djup i Göteborg. Kompressor 27 m<sup>3</sup> /min vid 4 bars tryck. Kostnad för installation inkl material var där ca 80 000 kr för 150 m, men exklusive kostnader för kompressor och drift.

Mot bakgrund av ovan beskrivna erfarenheter av bubbelridåer bedömer vi att metoden inte skulle vara effektiv i Lövsta.

### Stålspont

Att utföra muddring i skydd av en stålspont är i princip den mest robusta och effektivaste metoden att begränsa spridning av föroreningar. För att en spont ska kunna nyttjas måste sponten kunna installeras och förankras dels i sjöbotten dels över vattenytan på ett säkert sätt.

I Lövsta är vattendjupet på sina ställen stort och det finns hinder av block speciellt nära stränderna. Mäktigheten av stabiliserande jord på berget för en spont är i visad sträckning enligt figur 6.6 och 6.7 litet för att en spont ska kunna stå som en konsolspont, dvs utan stöd ovan vatten. Avståndet till land är stort för att kunna stötta sponten ovan vattenytan.

Det är olämplig att driva en spont hårt nära släntfot mot tippområdet utfyllda områden med bergbankar och slaggrus då detta på grund av vibrationer kan utlösa markförskjutningar i slänterna.

Att borra en spont i vattenområdet kommer att ge upphov till viss omrörning i botten och spridning av förorenade partiklar.

Med hänsyn till ovanstående bedöms stålspont inte vara en realistisk skyddsåtgärd vid Lövsta.

#### Referenser:

Ref 1. Technical Guidelines for Environmental Dredging of Contaminated Sediments, USACE ERDC/EL TR-08-29, 2008

Ref 2. Effectiveness of Silt Screens, Delft University of Technology, MSc-thesis 1304178, 2013

Ref 3. An analysis of the functional capabilities and performance of silt curtains, JBF Scientific Corporation, Technical Report D-78-39, 1978

Ref 4. PIANC Report no 100-2009.

Ref 5. Renare mark-Seminarium/workshop om efterbehandling av förorenade sediment 7 februari 2012. Jens Laugesen, DNV.

Redovisningen vid Seminarium/workshop är ett utdrag av DNV, 2008: Muddringsmetoder for forurenset sjøbunn. Det Norske Veritas, rapport 2008-0476 Revisjon 01. Upprättad på uppdrag av Statens forurensningstilsyn (Norge)

Ref 6. Pilotprosjektet i Trondheim havn, Boblegardin mot spredning av muddermasser, Rapport nr.: 2006-025.

Referenserna bifogas ej.

## 7. Slutsats:

För att kunna utföra arbetet med de förutsättningar som finns på platsen och i vattenskyddsområdet enligt avsnitt 3 ovan måste arbetet utföras med mekanisk muddring med ett gripskopeverk med HPG skopa eller likvärdig samt med ett större enskopeverk för teknisk muddring och för att hantera sten, block, hinder och installation av erosionskydd.

Ingen av de kommersiellt redovisade hydrauliska muddermetoderna lämpar sig på den aktuella platsen med dess oregelbundna bottenpografi, lutande botten ner till stora djup. Dessutom saknas på platsen möjlighet att avvattna den stora muddringsmängden, ca 10-20 gånger insituvolymen, som vattenblandningen vid sugmuddring oftast ge upphov till.

Det har i praktiken visat sig svårt att inom rimlig tid kunna utföra saneringsmuddringar med sugmuddring. I flera fall har hinder och driftstopp lett till att mekanisk muddring måste tillgripas.

Primära skyddsåtgärder är att välja kapacitetsstark mekanisk muddringsutrustning enligt ovan och utföra arbetet enligt upprättad muddringsplan. Vid upphandlingen av entreprenaden måste säkerställas att blivande entreprenör kan garantera att erfaren muddringspersonal blir verksam på platsen under hela muddringstiden. Arbetet kommer att kontrolleras med fortlöpande information till beställare, entreprenör och tillsynsmyndighet.

Sekundär skyddsåtgärd att installera en siltskärm vid inre delen av hamnområdet mot tippområdet kommer att detaljstuderas om så är möjligt i samråd med blivande entreprenör. Här är vattendjupen mestadels mindre än 7 m, men lokalt 7 - 14 m där speciella åtgärder krävs.