

PM

## Omhändertagande av muddermassor

Rappor nr O-hamn 2010:4  
Oskarshamns kommun

**2011-01-13**



**Författad av**

Pär Elander<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Pär Elander (Hifab AB)

## INNEHÅLL

<b>1</b>	<b>INLEDNING.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>MUDDERMASSOR – FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR OMHÄNDERTAGANDE .....</b>	<b>3</b>
2.1	VOLYMER.....	3
2.2	TEKNISKA OCH MILJÖMÄSSIGA EGENSKAPER .....	4
<b>3</b>	<b>ANVÄNDNING AV MUDDERMASSOR SOM FYLLNINGSMATERIAL.....</b>	<b>6</b>
3.1	BEHOV AV FYLLNINGSMASSOR I HAMNEN .....	6
3.2	KONSTRUKTION AV INVALLNINGAR .....	7
3.2.2	<i>Konventionella invallningar</i> .....	7
3.2.3	<i>Invallningar med vertikala väggar</i> .....	8
3.3	FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR FYLLNING I OMRÅDE 2 .....	10
3.4	FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR FYLLNING I OMRÅDE 3 .....	11
3.5	FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR FYLLNING I OMRÅDE 1 .....	12
<b>4</b>	<b>MILJÖKONSEKVENSER VID NYTTIGGÖRANDE AV MUDDERMASSOR I HAMNEN.....</b>	<b>14</b>
4.1	VATTENOMSÄTTNING OCH UTLAKNING AV LÖSTA ÄMNEN .....	14
4.2	PARTIKULÄR TRANSPORT .....	15
4.3	LÅNGSIKTIG BESTÄNDIGHET .....	16
<b>5</b>	<b>ALTERNATIV FÖR OMHÄNDERTAGANDE AV MUDDERMASSOR.....</b>	<b>18</b>
5.1	EXTERN OMHÄNDERTAGANDE.....	18
5.2	DEPONERING I KOMMUNENS REGI .....	19
<b>6</b>	<b>OPTIMERING OCH VAL AV FYLLNINGSSALTERNATIV .....</b>	<b>22</b>

## 1 Inledning

Oskarshamns kommun genomför **Projekt Sanering av Oskarshamns hamnbassäng** med bidragsmedel från Naturvårdsverket via Länsstyrelsen i Kalmar län. Projektet erhåller även finansiering från Saft AB och Oskarshamns kommun. Projektet befinner sig i förberedelse-skedet enligt Naturvårdsverket kvalitetsmanual för efterbehandling av förorenade områden.

Förberedelserna omfattar bland annat framtagande av en ansökan om tillstånd enligt miljöbal-len till genomförande av en sanering, samt projektering av saneringen. Innan ansökan om till-stånd inlämnas till miljödomstolen ska kommunen samråda om innehållet med Naturvårds-verket.

Kommunen har tidigare tagit fram en riskvärdering (Rapport nr O-hamn 2010:1), där olika saneringsalternativ avseende omfattningen av åtgärderna belysts, främst med hänsyn till möj-ligheterna att uppnå övergripande och mätbara åtgärds mål samt kostnaderna för detta. Med utgångspunkt från denna riskvärdering har ett inriktningsbeslut fattats som innebär att sane-ringen ska omfatta hela den inre hamnbassängen, men att en utökning av åtgärderna till att även omfatta även yttre hamnbassängen och då främst de begränsade områden med större mäktigheter av förorenade sediment som återfinns i denna, skall finnas med som en option.

Detta PM omfattar en fördjupning av riskvärderingen avseende omhändertagande av förore-nade muddermassor från saneringen.

## 2 Muddermassor – förutsättningar för omhändertagande

### 2.1 Volymer

I riskvärderingen studerades tre olika saneringsalternativ:

1. Efterbehandling av hela hamnområdet (inre hamnbassängen, yttre hamnbassängen samt småbåtshamnen). Detta alternativ omfattar samtliga förorenade sediment i ham-nen, totalt ca 780 000 m<sup>3</sup>.
2. Efterbehandling av den inre hamnbassängen samt ackumulationsbottnar ("djuphålor") i den yttre hamnbassängen. Detta alternativ omfattar totalt ca 650 000 m<sup>3</sup> förorenade sediment.
3. Efterbehandling av den inre hamnbassängen. Detta alternativ omfattar totalt ca 465 000 m<sup>3</sup> förorenade sediment.

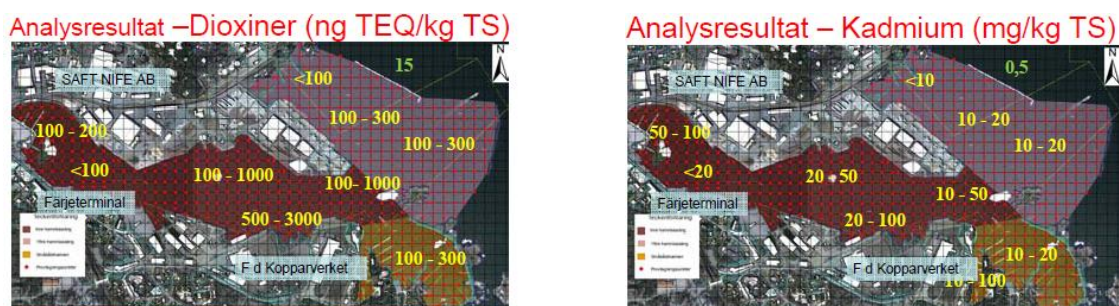
Beroende på vilken metod som används för kartering av förorenade sedimentmäktigheter kan volymsangivelserna skilja sig åt en del. Karteringen av botten (överyta sediment) har utförts med ett ekolod typ multibeam med frekvensen 300 kHz. Karteringen av gränsen till underlag-rande "rena" sediment har skett genom en kalibrering mellan genomförd sedimentkartering (provtagning med och analyser med c/c 50 m) och lagergränser för sediment/jordlagerföljd karterade med ett sedimentekolod av typen SBP (Sub Bottom Profiler) som arbetar med fre-kvenser i intervallet 4-15 kHz.

För det fall även sedimentytans läge skulle bestämmas utifrån resultat från mätningen med SBP skulle de beräknade förorenade sedimentvolymerna minska något. Detta beror på att de olika typerna av ekolod mäter med olika frekvenser för kartering av sedimentytan. Medan multibeamekolodet (som normalt används för detta ändamål) arbetar med multistrålar och frekvensen 300 kHz, arbetar SBP med en singelstråle med frekvensen 100 kHz. Konsekvensen blir att en kartering med SBP tränger ned något djupare i de områden där det finns mycket lösa sediment, innan någon reflex noteras. I dessa områden finns också en risk för viss komprimering vid provtagning. Det bedöms därför som mest korrekt att använda botten karterad med multibeamekolod som referensnivå för sedimentytan.

## 2.2 Tekniska och miljömässiga egenskaper

Sedimentens karaktär varierar inom området. De sediment som har de högsta föroreningshalterna återfinns utanför det f.d. kopparverket som låg söder om hamnbassängen, nära gränsen mellan den inre och yttre hamnbassängen.

Föroreningshalterna avtar generellt från området utanför kopparverket både inåt i hamnen och utåt i den yttre hamnbassängen och i småbåtshamnen. Utsläppen från kopparverket har förutom koppar omfattat en rad andra metaller samt arsenik och dioxin (klorerad rostning förekom). Spridningsbilden illustreras i Figur 1 av mönstret för dioxiner. För kadmium och nickel avviker spridningsbilden något, då utsläpp av dessa metaller även skett från batteritillverkningen vid SAFT längre in i hamnen och de högsta halterna återfinns som en följd av detta både här och utanför kopparverket.



**Figur 1** Spridningen av föroreningar i hamnbassängen följer mestadels det dioxinmönstret – föroreningar som härstammar från kopparverket, medan kadmium och nickel även härrör från SAFT och delvis avviker.

Föroreningshalterna är delvis så höga att sedimenten i de mest förorenade områdena kommer att klassificeras som farligt avfall. Till största del underskrider halterna dock de haltgränser som föreslås av Avfall Sverige (Rapport 2007:1<sup>2</sup>) för farligt avfall. För närvarande genomförs en mer omfattande karakterisering av muddermassorna som bl.a. kommer att klarlägga lämplig klassificering.

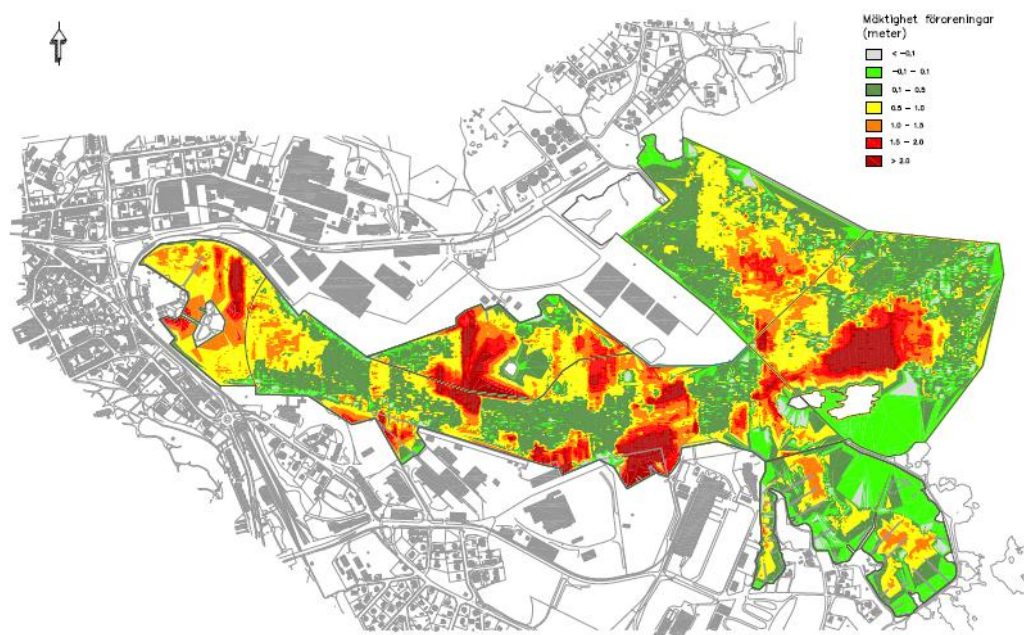
Troligen utgörs en stor del av sedimenten som återfinns utanför kopparverket av fasta restprodukter (kisaska) som uppkommit i samband med rostning av kopparmalm. Inom samma område återfinns även sediment som härstammar från utsläpp från avloppsreningsverket och som

<sup>2</sup> Avfall Sverige, Uppdaterade bedömningsgrunder för förorenade massor.

kan liknas vid avloppsslam. Förekomsten av fasta restprodukter har medfört att det inom detta område varit svårt att med säkerhet avgränsa föroreningarna mot djupet pga. att stopp erhållits vid provtagning innan fullt föroreningsdjup nåtts, samtidigt som gränsen mellan fasta restprodukter och underlagande (friktions)jord inte kunnat karteras med SBP eftersom skillnaden i fysikaliska egenskaper inte varit tillräcklig.

Liknande svårigheter föreligger längst in i hamnen, kring Badholmen (se Figur 2) där lösa sediment blandats med silt, sand och grus till följd av att båttrafiken eroderat underlagande friktionsjord och medfört att någon tydlig lagergräns inte kan urskiljas.

I andra områden utgörs de förorenade sedimenten av mycket lösa, finkorniga massor. Dessa återfinns med större mäktigheter främst i området kring Råvenäset (centralt i den inre delen av hamnen, se Figur 2) och på några ackumulationsbottnar (f.d. djuphålur) i den yttre hamnbassängen. Delvis tycks de lösa sedimenten i dessa områden bestå huvudsakligen av järnutfällningar, men även lösa sediment med högre organisk halt förekommer.



**Figur 2** Mäktigheten av förorenade sediment i hamnen

De spridningsprocesser som beskrivs ovan innebär att sedimentkaraktären varierar avsevärt, från lösa sediment som är spridningsbenägna men relativt enkla att avverka kontrollerat exempelvis med sugmuddring med skärnad skruv till relativt fasta sediment som inte är lika spridningsbenägna men som måste avverkas med en annan typ av utrustning. Förmodligen måste man använda grävuddring med sluten skopa av (s.k. miljöskopa) för dessa sediment. Grävuddring innebär en större risk för återkontaminering av muddrade bottnar. Ett visst spill uppkommer alltid, som till största delen sedimenterar nära källan och medför att ett tunt lager förorenade sediment kommer att överlagra muddrad botten. I Oskarshamn kompliceras detta av att fartygstrafik i ej muddrade områden medför grumling och spridning med återkontaminering av muddrade ytor. Det bedöms därför som lämpligt med en avslutande eftermuddring av hela muddringsområdet, med användning av ett sugmudderverk med avskärnad skruv eller motsvarande. Detta kommer, tillsammans med den övermuddring som en entreprenör normalt tillämpar för att säkerställa att muddring sker minst till angivna bottennivåer, att medföra att den muddrade volymen kommer att vara större än den förorenade volymen.

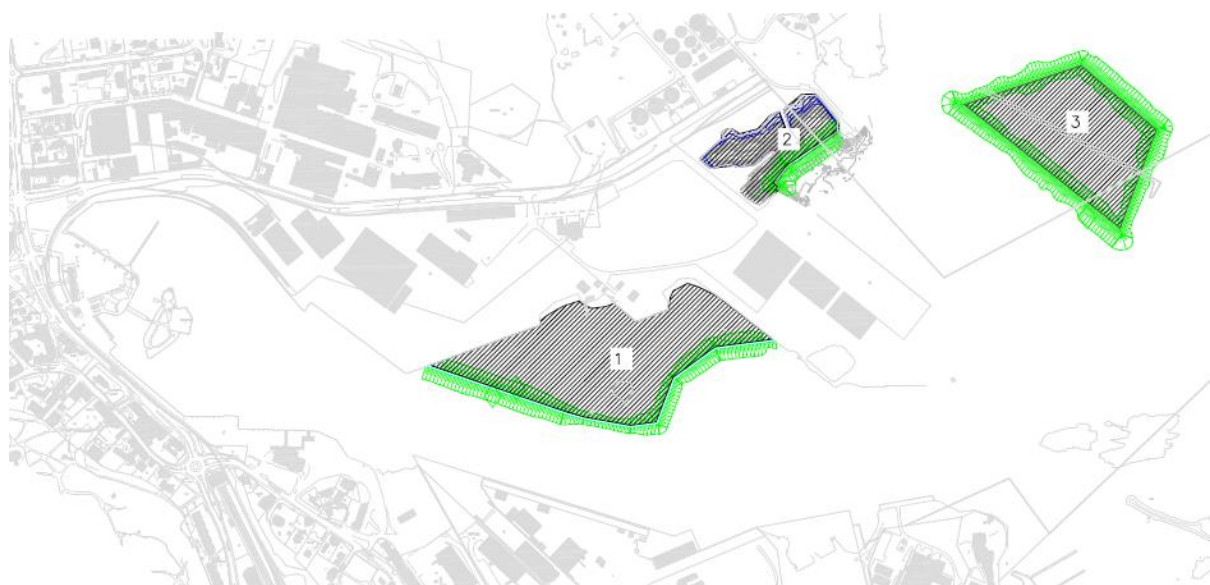
Även om muddermassorna inte enbart utgörs av finkorniga sediment utan även av friktionsjord och fastare restprodukter bedöms muddermassorna generellt vara lösa och ha mycket låg skjuvhållfasthet, vilket försvårar omhändertagandet. Torrsubstanshalten uppmätt i prover från den inre hamnen, där variationen är störst, varierar således inom intervallet 3,3 - 78,2 % (medelvärde 29,0 %), glödförlusten mellan 0,6 - 34,2 % (medelvärde 14,5 %) och halten TOC mellan 1,0 - 13,2 % (medelvärdet 4,8 %). Att värdena för glödförlust och TOC inte är helt konsistenta beror på att glödförlusten har bestämts i på betydligt större antal prover.

Muddring innebär att massorna tillförs vatten, olika mycket beroende på muddringsmetod. Sugmuddrade massor är i behov av långtgående avvattning medan grävuddrade massor sannolikt kan avvattnas på enklare sätt. Erfarenhetsmässigt innebär avvattningen att man oftast återfår ungefär den torrsubstanshalt som sedimenten uppvisar i ostört skick på botten. Det är möjligt, men mycket kostsamt, att driva avvattningen längre. Vid användning av muddermassorna för fyllningsändamål, men även vid deponering, bedöms med hänsyn till den lösa karaktären att stabilisering är nödvändig för att massorna ska kunna komma till användning, respektive deponeras med bibehållen stabilitet i en deponi.

### 3 Användning av muddermassor som fyllningsmaterial

#### 3.1 Behov av fyllningsmassor i hamnen

Sedan tidigare har tre fyllningsområden identifierats där muddermassorna kan komma till användning, se Figur 3.



**Figur 3** Områden i hamnen där muddermassor kan användas som fyllningsmassor.

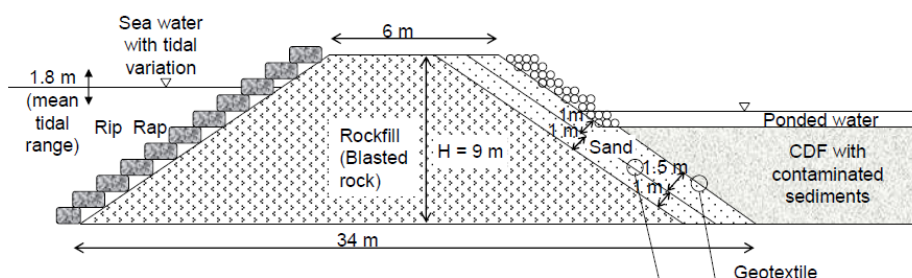
Områdena redovisades i den riskvärdering som tidigare lämnats till NV. Område 2 är en mindre vik i hamnområdet, som förhindrar en rationell användning av omgivande ytor och bör fyllas i första hand. Därefter i prioritetsordningen är område 3. Orsaken till att detta område prioriteras högre än område 1 (som förordades i huvudstudien) är dels att hamnen har behov av område 3, dels att fyllning i detta område innebär ett mer kostnadseffektivt omhändertagande av muddermassorna än fyllning i område 1. Område 3 ingår i hamnens utveckl-

ingsplaner och är detaljplanelagt för hamnändamål. I nuvarande planer ingår att flytta tilläggsplatsen för tankbåtar till detta läge. På längre sikt kommer området även att användas för andra sjötransporter. Utfyllning av hela område 1 kommer att medföra höga kostnader pga. behovet av kvalificerad grundförstärkning. Det är dock möjligt att till lägre kostnad utnyttja de delar av området där grundläggningsförhållanden är lämpliga. Inom dessa delar ryms dock endast en mindre del av muddermassorna. Inom område 1 finns också befintliga kajplatser för hamnens bogserbåtar. Om denna kaj skulle blockeras av en fyllning måste dessa ersättas med en ny kaj med ca 150 m längd, vilken lämpligen integreras i utbyggnaden.

## 3.2 Konstruktion av invallningar

### 3.2.2 Konventionella invallningar

Vanligtvis utförs invallningar för fyllning i vatten som konventionella sprängstensvallar med invändigt filter som ska förhindra transport av partiklar från fyllningen på insidan av vallen till det utanförliggande vattenområdet. En sådan invallning kan t.ex. utformas enligt principerna i Figur 4, med två lager filtermaterial, ett yttre grovfilter och ett inre finfilter. Dessa utförs lämpligen med månggraderat krossmaterial. Finfiltrets kornstorlek väljs så att transport av partiklar från muddermassorna förhindras medan grovfiltret dimensioneras så att finfiltret inte kan spolras ur. Vid behov kan konstruktionen även förses med tätskikt på insidan av vallen. Vattenomsättningen i fyllningen kommer dock att bli mycket liten även utan tätskikt i vallen, varför en sådan konstruktion inte bedöms som nödvändig. Risken för framtida diffusion av föroreningar från fyllningen undersöks i en särskild studie vid Linnéuniversitetet. Beroende på resultaten kan tätskikt eventuellt komma att användas i vallkonstruktionen.



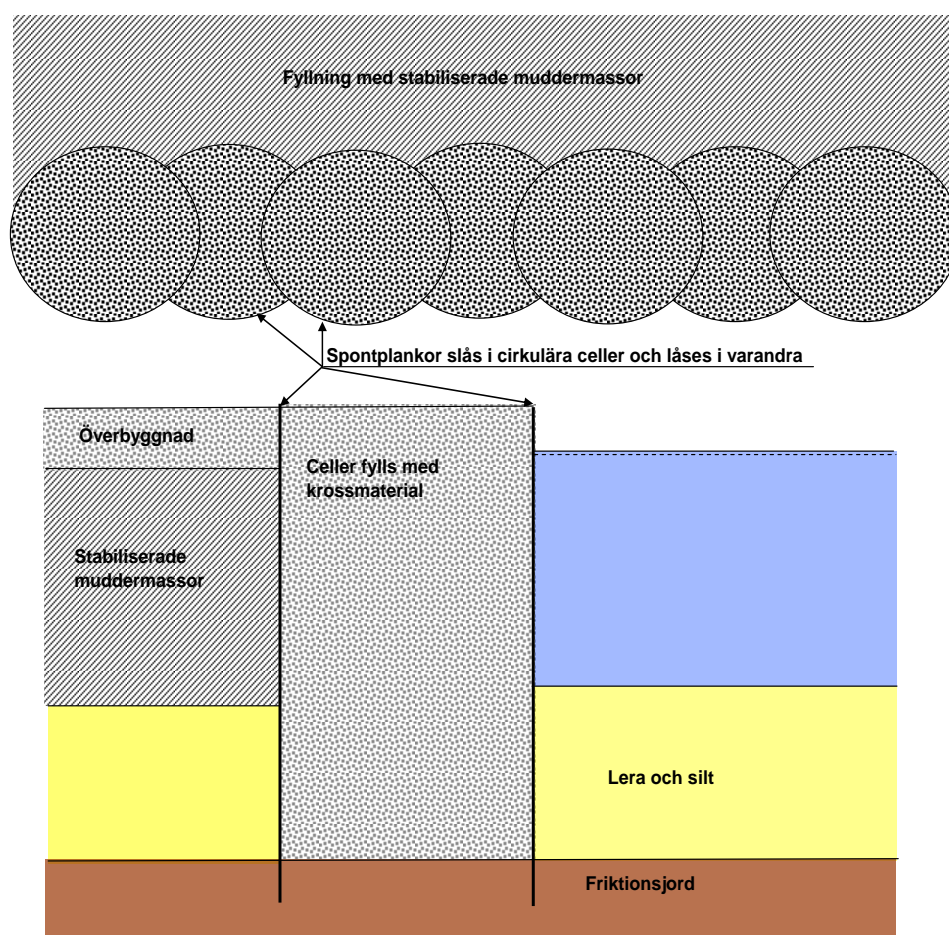
**Figur 4** Exempel på invallning med sprängstensvall och invändigt partikelfilter använd för fyllning med förorenade muddermassor i Trondheims hamn (Laugesen, 2008). Höjdsplan är förställd, normalt måste en släntlutning kring 1:2 användas vid utläggning av sand under vatten.

I Oskarshamns hamn kommer fyllningen med muddermassor att avslutas under vatten och förses med en överbyggnad bestående av krossmaterial eller motsvarande väl dränerande material. Överytan anpassas till släntkrönets nivå (motsvarande omgivande kajnivå) eftersom ytorna ska användas för lagring av inkommande och utgående gods. Täckningen kommer att vara minst 2,0 m mäktig.

### 3.2.3 Invallningar med vertikala väggar

En konventionell invallning kräver stora volymer material, framför allt sprängsten. Förutom att detta tar i anspråk resurser för sprängning och brytning av berg tar sprängstensvallen i anspråk en inte obetydlig andel av fyllningsutrymmet. En sprängstensvall kan, beroende på blockstorlek, också försvåra pålning vid framtida utbyggnader av kajer. Om invallningen dessutom byggs ut i områden med stora mäktigheter av lös jord som innebär att grundläggning måste ske på stenpelare (se nedan avsnitt 3.5) kan en framtida utbyggnad av kajer bli mycket svår att genomföra eftersom såväl spontslagning som pålning riskerar att äventyra grundläggningens integritet.

Sprängstensvallens nackdelar innebär att det både kan vara en fördel ur teknisk synvinkel och kostnadseffektivt att bygga invallningar med delvis vertikala slänter. Ett exempel på en konstruktion som är intressanta att använda och som är anpassad även till grundläggning i områden med mäktiga lager av lös lera och stora vattendjup är cellsponten.



**Figur 5** Konstruktion med cellspont i plan (överst) och sektion.

En cellspont består av spontplankor som slås i en sluten cirkel låsta i varandra (cell) och där efter fylls med krossmaterial som packas. Jordtrycket från den invändiga fyllningen i cellen spänner ut spontplankorna varvid jordtrycket tas upp genom dragning i cirkelbågen. Vid utbyggnad av en hel spontvägg installeras en rad sådana celler som binds samman med mellanliggande celler på sätt som framgår av Figur 5. Efter fyllning fungerar de sammanbundna cellerna med krossmaterial som en kontinuerlig mur. Jämfört med en konventionell bakåtförank-

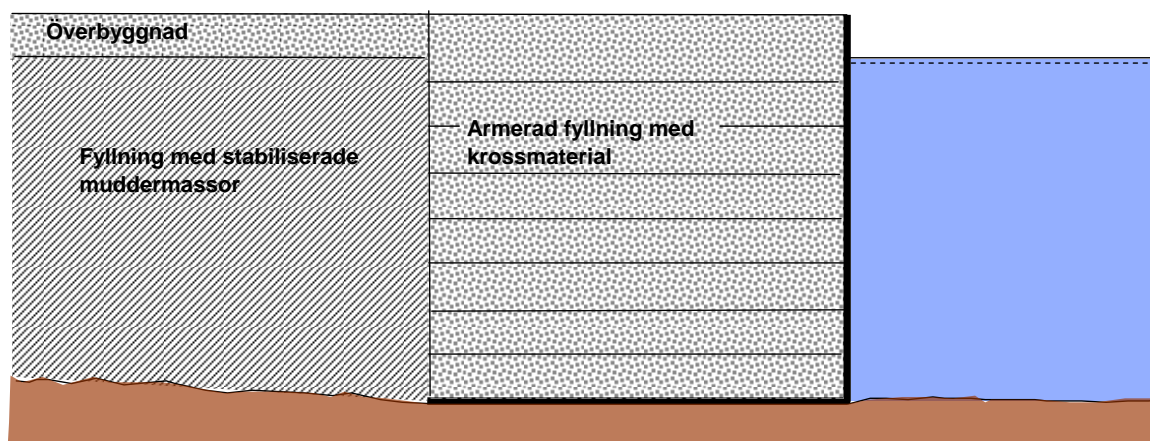
rad spontvägg där jordtrycket tas upp genom utböjning av spontplankorna är cellsponten enklare och mer robust. Det behövs ingen förankring utan cellerna dimensioneras så att enbart tyngden av den fyllda cellen är tillräcklig för att ta upp jordtrycket från bakomliggande massor, inklusive det lasttillskott som erhålls vid belastning av bakomliggande områden.



**Figur 6** Exempel på cellspont under uppbyggnad, med detalj på spontlås.

Cellsponten har en stor teknisk fördel vid utbyggnad av invallning i områden med svåra grundläggningsförhållanden, dvs. där det finns stora mäktigheter av lös lera i den planerade vallinjen. Cellspont kan utan större svårigheter slås ned i underlagrande fast material (friktionsjord) varefter de lösa massorna innanför spontväggarna kan muddras upp och ersättas av fyllning med krossmaterial, jfr sektionen i Figur 5.

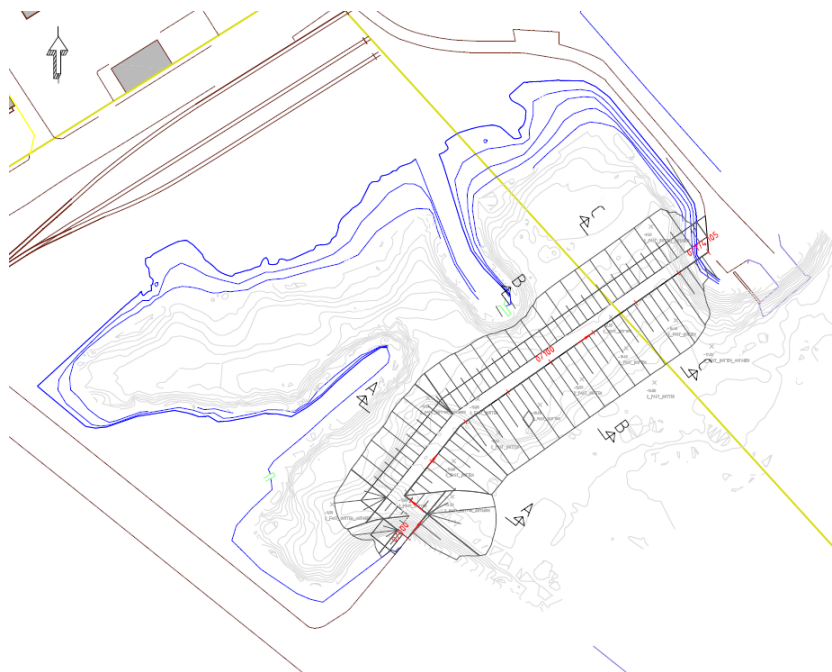
I områden där grundläggning kan ske direkt på fast botten av friktionsjord är det förmodligen mer ändamålsenligt att använda L-stöd, alternativt kassuner, av betong eller liknande konstruktioner för att åstadkomma en invallning med vertikala väggar. En kassun är i princip en låda som placeras på en avjämnad botten och därefter fylls med krossmaterial eller motsvarande medan L-stödet saknar bakomliggande vägg. Kassunen tar upp jordtryck inklusive laster från bakomliggande ytor i princip på samma sätt som en cellspont, genom att den görs tillräckligt bred för att tyngden av kassunen med fyllda massor ska vara stabil och inte kunna välta. Även L-stöd med bakomliggande fyllning av krossmaterial fungerar på detta sätt. Principerna för en sådan konstruktion framgår av Figur 7, där L-stöd och jordarmering används i stället för en hel kassun.



**Figur 7** Exempel på konstruktion av vertikalvägg med L-stöd och armerad fyllning.

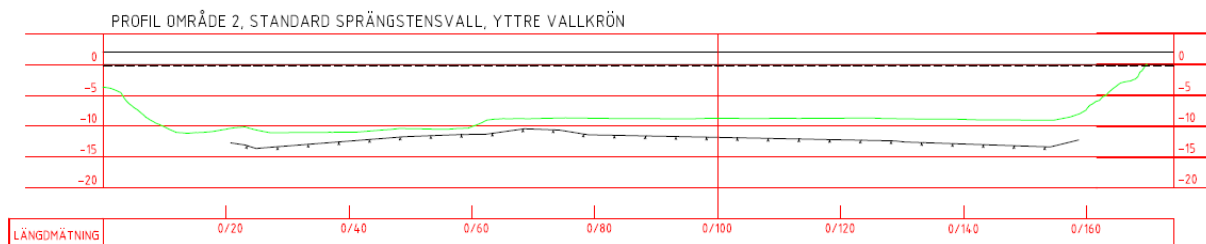
### 3.3 Förutsättningar för fyllning i område 2

Planerat läge för invallning av område 2 framgår av Figur 8.



**Figur 8** *Invallning av område 2 med konventionell sprängstensvall.*

Den volym som inryms i område 2 efter justeringen är beräkningsmässigt ca 70 000 m<sup>3</sup>. Det bedöms som möjligt att i viss utsträckning öka denna volym genom att schakta bort befintliga sprängstensmassor inom området och använda dessa till den nya invallningen. Dock kommer ca 20 000 m<sup>3</sup> av utrymmet att tas i anspråk av urgrävd lös lera. Urgrävning kommer att behövas för grundläggning av invallningen på fast botten inom detta område (se Figur 9). Detta bedöms innebära att det utrymme som kan tillskapas kommer att tas i anspråk av urgrävda massor.



**Figur 9** *Bottennivå (grön linje) och underlagrande gräns mot fast botten i område 2.*

För uppbyggnad av vallen åtgår ca 70 000 m<sup>3</sup>, inklusive massor för grundläggning. Det är möjligt att öka utrymmet för fyllningsmassor genom att i stället anlägga vallen med vertikal slänt med utnyttjande av cellspont. Alternativet kommer att undersökas och kostnadsberäknas

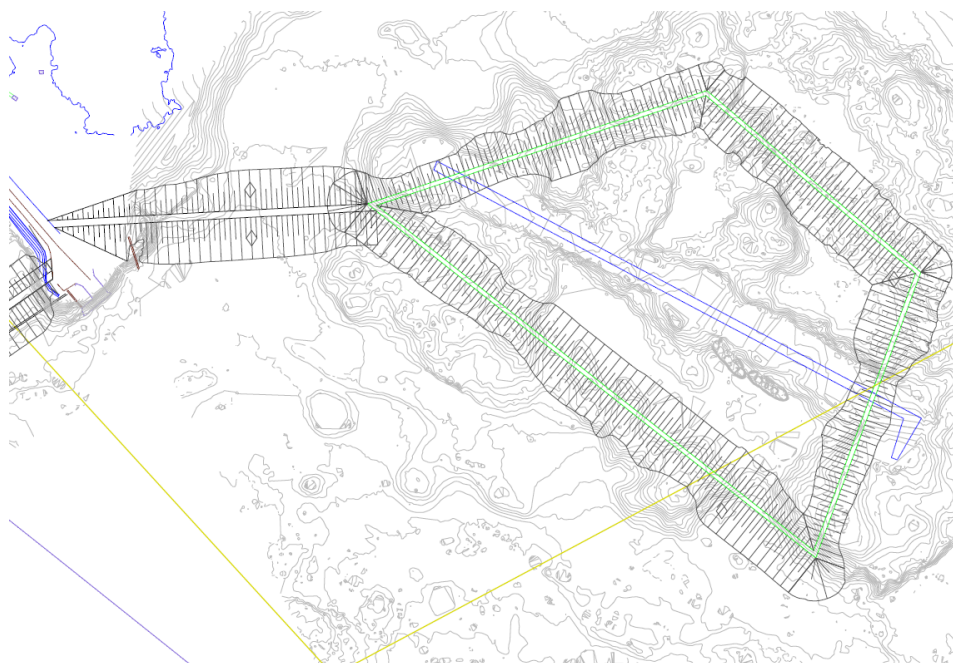
och förordas för det fall det kan visas vara kostnadseffektivt med hänsyn till omhändertagande av muddermassor på annan plats.

### 3.4 Förutsättningar för fyllning i område 3

Inom område 3 inryms ca 310 000 m<sup>3</sup> muddermassor, för det fall hela området utförs med konventionell sprängstensvall. I detta område finns enligt utförda undersökningar inte några grundläggningsproblem, varför något utrymme inte behöver ianspråkta för urgrävda massor. Bedömningen är preliminär och en förtätning av undersökningarna behövs. För utbyggnad av området med en konventionell sprängstensvall åtgår ca 300 000 m<sup>3</sup> sprängsten, inklusive de massor som krävs för tillfartsvägen till området.

Av Figur 10 framgår att avgränsningen av området inte är idealisk med hänsyn till vattendjupen. Den inre begränsningslinjen bör helst flyttas inåt (mot sydväst), så att den sammanfaller med gränsen mot de större vattendjupen i den yttre hamnbassängen. En sådan placering skulle ökar utrymmet för muddermassor och fungerar bättre för hamnen. Vidare kan den inre vallen byggas med vertikal slänt, exempelvis med cellspont eller kassun alternativt L-stöd av armerad betong. En sådan utformning skulle förenkla den efterföljande kajutbyggnaden och medföra ytterligare utrymme för muddermassor. Alternativet kommer att undersökas och förordas om det kan visas vara kostnadseffektivt med hänsyn till alternativkostnaden för omhändertagande av muddermassor på annan plats.

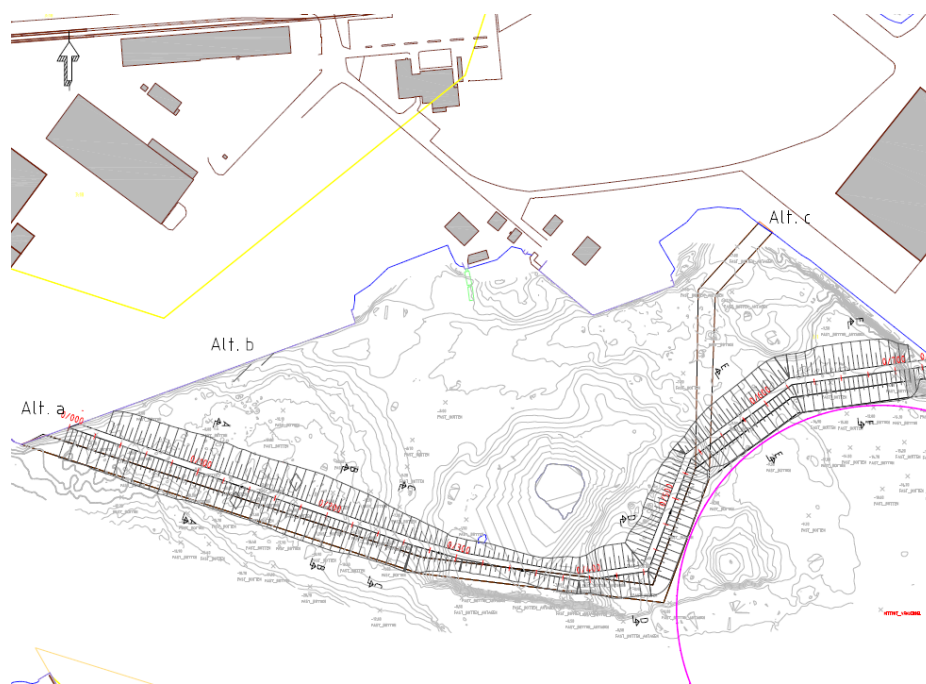
Man kan också överväga att bygga ut övriga vallar med vertikal slänt för att öka utrymmet för muddermassor, om detta skulle vara kostnadseffektivt. Det är dock tveksamt om detta är lämpligt i ett längre tidsperspektiv eftersom de yttre vallarna är utsatta för vågerosion medan den inre vallen ligger skyddad av dessa och övriga vågbrytare i hamnen.



**Figur 10** Ungefärlig avgränsning av område 3.

### 3.5 Förutsättningar för fyllning i område 1

Inom område 1 kan ca 370 000 m<sup>3</sup> fyllningsmassor inrymmas bakom en konventionell invallning. Volymen för fyllning med muddermassor kommer att minska med ca 80 000 m<sup>3</sup> pga. att grundläggning av invallningen (urgrävning och undanträngning av lös lera) medför ett behov av att även omhänderta uppgrävda och undanträngda massor inom invallningen. Det bedöms dock preliminärt som möjligt att återskapa ungefär halva detta utrymme genom bortschaktning Råvenäset med omgivande grund som finns inom området. Detta skulle också generera sprängsten till invallningen. Behovet av sprängsten uppgår vid utbyggnad av hela detta område till ca 230 000 m<sup>3</sup>, inklusive de massor som behövs för grundläggning av invallningen. Med bortsprängning av Råvenäset begränsas behovet av massor från annat håll till ca 190 000 m<sup>3</sup> och utrymmet för fyllning med muddermassor ökar till ca 400 000 m<sup>3</sup>.

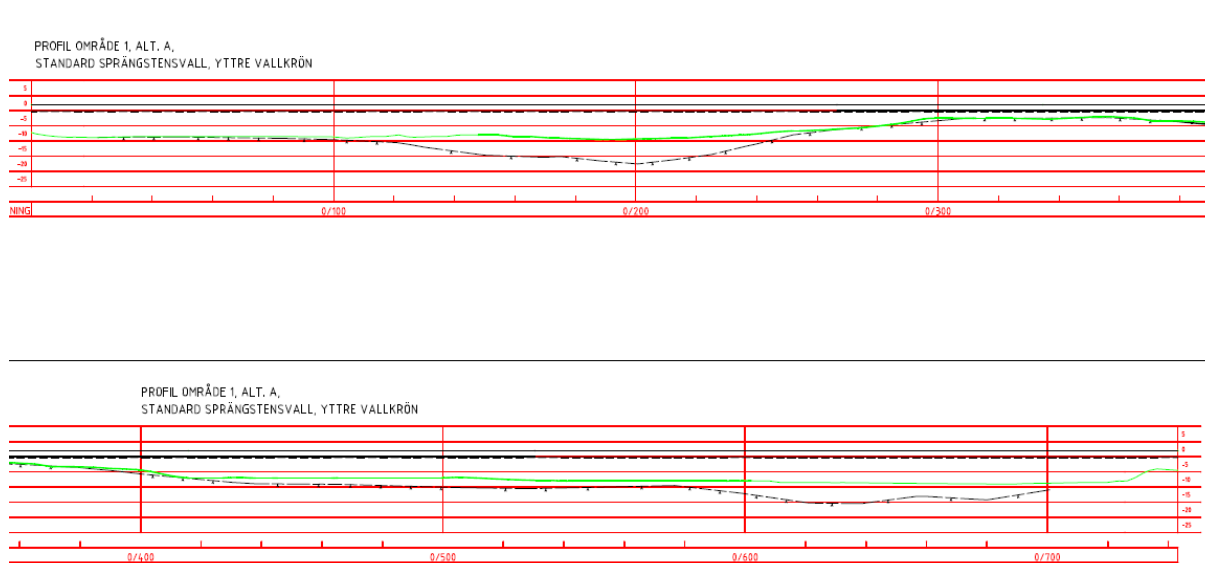


**Figur 11** Maximalt möjlig fyllningsyta inom område med utbredning av vall vid konventionell invallning. Vallbredd vid invallning med cellspont eller motsvarande vertikala konstruktion illustreras av alternativ c i figuren.

Grundläggningsförhållandena är besvärliga inom område 1. Under delar av den tänkta invallningen återfinns lös lera med extremt låg skjuvhållfasthet och mäktighet upp till närmare 10 m. Det totala djupet från vattenytan till fast botten på vilken en invallning kan grundläggas med tillfredsställande stabilitetsförhållanden uppgår därmed till närmare 20 m. En profil i valkens linje redovisas Figur 12.

Grundläggning av en konventionell invallning bedöms till största delen kunna ske genom urgrävning och nedpressning av vallen till fast botten. Detta kommer att generera ett överskott av massor på ca 80 000 m<sup>3</sup> vid utbyggnad av hela området. Där totaldjupen är som störst är

det troligt att konventionell urgrävning/nedpressning inte fungerar tillfredsställande utan grundläggning måste ske på s.k. stempelare. Denna teknik innebär att ett rör med relativt stor diameter pressas ned genom lös jord till fast botten, varvid den lösa jorden undanträngs. I röret sänks en strumpa ned, bestående av en kraftig, armerande geotextil. Strumpan fylls sedan med krossmaterial och röret dras upp med samtidig vibrering av fyllningen, som på detta sätt packas till en stabil stempelare. Den kraftiga strumpa av geotextil som omger stempelaren håller samman fyllningen och innebär att pelaren i praktiken är fristående även utan sidostöd. Stempelare kommer sannolikt att behöva sättas med korta c/c- avstånd, vilket innebär att i princip hela massan med lös jord under vallen förträngs och ersätts med stempelare. Stabilitetsmässigt kommer en invallning med stempelare därmed att fungera i princip på samma sätt som en sprängstensfyllning efter urgrävning. Dock behöver man vanligtvis installera stempelare i ett område även utanför vallen, vilket medför stora svårigheter för framtida utbyggnad av kajer. Tekniken medger installation till stora djup, men är kostsam. Precis som vid urgrävning måste undanträngda massor, som i detta fall kommer att tryckas upp vid sidan av invallningen, schaktas bort och läggas inom invallningen.

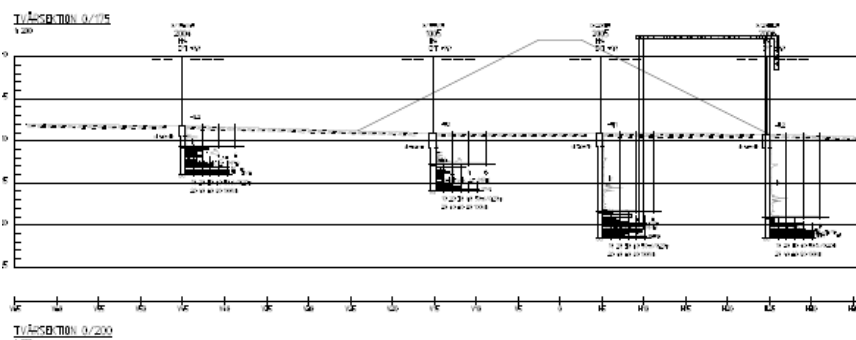


**Figur 12** Profil i invallningens linje. Grön linje representerar bottennivån medan underliggande linje med hakar representerar tolkad gräns mot fast botten. Profilen avser förhållandena under vallens krön. Eftersom den fasta botten lutar ut från området ökar lermäktigheten ut mot invallningens släntfot.

Ur ekonomisk synvinkel blir det sannolikt mer kostnadseffektivt att ändra invallningens dragning på ett sådant sätt att områden med stora mäktigheter med lös lera undviks, även om detta innebär att den tillgängliga volymen för fyllning med muddermassor minskar. Detta måste avgöras med hänsyn till alternativkostnaden för omhändertagande av muddermassor på annan plats. En ytterligare faktor som måste tas med i beräkningen vid en sådan kostnadsoptimering är att den del av området som inte utnyttjas för fyllning i stället måste muddras med avseende på förorenade massor. Totalt beräknas att ca 100 000 m<sup>3</sup> förorenade sediment finns inom fyllningsområde 1.

Ett alternativ är utbyggnad av invallningen som en cellspont som beskrivs i avsnitt 3.2. Metoden ger en säker grundläggning och en invallning som upptar minimalt utrymme och medger att större volymer fyllningsmassor kan omhändertaras. Med utformning av invallningen som en cellspont kan netto ca 460 000 m<sup>3</sup> muddermassor inrymmas inom fyllningsområdet. Den ef-

fektiva fyllningsvolymen i området ökar med 60% om denna konstruktion används. Detta beror på att en konventionell invallning upptar en stor volym i området samtidigt som en konstruktion med vertikal vägg kan placeras i samma linje som invallningens släntfot (se jämförelsen i Figur 13). Preliminära kostnadsberäkningar tyder dock på att detta inte är kostnadseffektivt, om man jämför med kostnaderna för att i stället använda muddermassor i område 3 och begränsa utbyggnaden i område 1.



**Figur 13 Skillnader mellan konventionell invallning och invallning med användning av cellspont. Exempel från område 1.**

Inom område 1 finns idag ca 360 m kaj. Delar av dessa kajer har idag ett relativt litet utnyttjande. Vid en utbyggnad av detta område måste dock minst 150 m av de befintliga kajerna ersättas (alternativt undantas från utbyggnad), då dessa används som hamnplats för hamnens bogserbåtar och arbetsbåtar. Andra utrymmen i hamnen som kan utnyttjas för dessa finns inte idag. En utbyggnad med cellspont innebär större möjligheter att anpassa utfyllningen till dessa behov, t.ex. med utformning enligt alternativ c i Figur 11.

## 4 Miljökonsekvenser vid nyttiggörande av muddermassor i hamnen

### 4.1 Vattenomsättning och utlakning av lösta ämnen

En utgångspunkt vid beräkningar av tillgänglig volym för fyllning har varit att fyllning med stabiliserade muddermassor kan ske upp till nivån för normalvattenståndet (nivå ca  $\pm 0$  i höjdsystem RH 70). Genom de sättningar som uppkommer i de stabiliserade massorna beräknas massorna i framtiden även komma att ligga under det normala lågvattenståndet.

Massornas placering innebär att infiltration av nederbörd i massorna undviks och att vattenströmningen genom fyllningen kommer att styras av de hydrauliska gradienter som uppkommer kring fyllningen och den hydrauliska konduktivitet som de stabiliserade muddermassorna kommer att uppvisa. Den senare undersöks för närvarande i de avvattnings- och stabiliseringsförsök som pågår och kan förväntas vara låg, sannolikt mellan  $1 \cdot 10^{-9}$  m/s och  $1 \cdot 10^{-8}$  m/s. Fyllningen med muddermassor i område 1 och 2 kommer troligen att innebära en viss upp-dämning av grundvatten som strömmar ut till hamnen och en viss vattenståndsskillnad kan förväntas mellan fyllningens uppströmssida och nerströmssida. Denna vattenståndsskillnad

kommer att driva grundvatten genom fyllningen. De hydrauliska gradienterna kommer dock att vara låga eftersom den hydrauliska konduktiviteten är hög i de tidigare utförda fyllningar som omger de båda fyllningsområdena 1 och 2, vilket innebär att grundvatten kan strömma runt de båda fyllningarna. Det sammantagna resultatet av en relativt låg hydraulisk konduktivitet och låga gradienter innebär att strömningen genom massorna förväntas bli mycket liten, betydligt lägre än om massorna skulle placeras i en konventionell deponi på land.

Vid användning av muddermassor i område 3 förväntas vattenomsättningen bli ännu mindre och kan i princip helt försummas. Detta beror på att fyllningen här kommer att omges av fritt vatten på alla sidor vilket innebär att vattenståndet kring fyllningen utjämnas mer eller mindre momentant. En viss vattenståndsskillnad uppkommer naturligtvis pga. vattenytans snedställning under vindstress, men över de korta avstånd det är fråga om här kan betydelsen av denna vattenståndsskillnad försummas.

Förutom omsättningen av vatten kommer porvattenhalterna i fyllningen att bestämma utlakningen av lösta ämnen till omgivande vattenmassa. Masstransporten med konvektion ges av genomströmningens storlek multiplicerad med halten av respektive ämne i porvattnet. Till detta kommer diffusionen av ämnen till följd av koncentrationsgradienterna.

Utlakningen av lösta ämnen från fyllningen förväntas bli låg, främst som en följd av den låga vattenomsättning som kan förväntas, men även pga. att genomförda undersökningar visar att den spridning som sker idag till helt övervägande del är partikelbunden.

Undersökningar genomförs under 2011 för att ge underlag för en kvantifiering av dessa förhållanden, såväl via konvention som via diffusion.

## 4.2 Partikulär transport

Spridningen av föroreningar från hamnbassängen domineras av partikelbunden spridning. Invallningens främsta funktion kommer därför att vara att kvarhålla även det mest finkorniga materialet innanför invallningen och undvika partikulär uttransport. Höga krav ställs därför på dimensioneringen av partikelfilter.

Stabiliseringen av muddermassorna kommer att fungera som ett första internt filter. De hållfasthetskrav som ställs är relativt höga och bedöms medföra en effektiv inbindning även av finkornigt och organiskt material i matrisen.

Vid utförande av invallningar som konventionella sprängstenvallar tillkommer det partikelfilter som anläggs på insidan av vallen, se Figur 4. Vid utbyggnad av vallar med vertikal vägg kommer detta att ersättas med väggar av cellspont eller betongkassuner/L-stöd med fyllning av krossmaterial i lämpliga fraktioner.

Dimensionering, utformning och utförande av filter i denna typ av konstruktioner liknar motsvarande filterinstallationer i vattenkraftsdammar, där filter skall skydda mot urspolning av tätkärnor. För dessa ändamål har särskilda filterregler tagits fram vilka kan användas för bestämning av lämpliga kornstorlekar i finfilter och grovfilter. Det ska dock understrykas att de filterregler som används för denna typ av konstruktioner är avsedda att förhindra partikeltransport från en tätkärna över vilken de hydrauliska gradienterna ofta är mycket höga. De låga gradienter som kommer att utbildas över fyllningarna i Oskarshamns hamn medför att belastningarna och riskerna för partikeltransport och urspolning är betydligt mindre än i konventionella dammbyggnader.

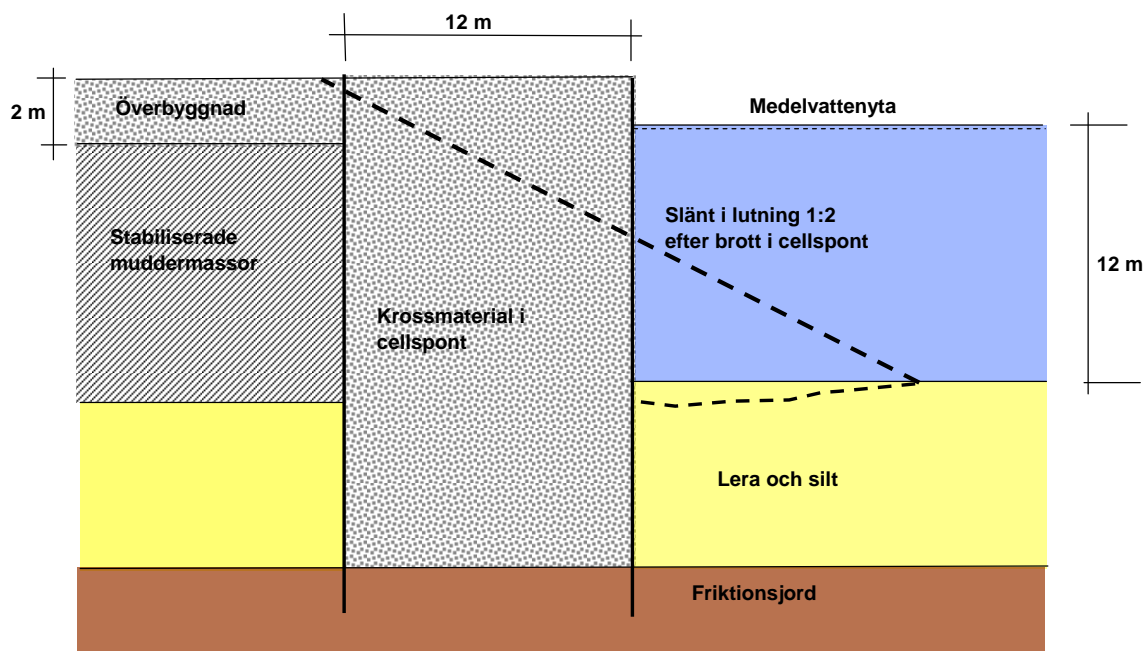
### 4.3 Långsiktig beständighet

Den långsiktiga beständigheten hos en konventionell invallning som är grundlagd på fast botten och korrekt dimensionerad bedöms som god. De krafter som under normala förhållanden kan verka nedbrytande är främst erosion av vågor, strömmar och is. Erfarenhetsunderlaget för att dimensionera erosionskydd för dessa krafter är stort. Påfrestningarna på fyllningarna inne i hamnbassängen (område 1 och område 2) kommer att vara förhållandevis små eftersom de ligger skyddade bakom hamnens vågbrytare, medan påkänningarna framför allt av vågerosion kan bli stora på utsidan av område 3. Påkänningarna motsvarar de som idag verkar på hamnens vågbrytare. Genom att förse de yttre invallningarna av område 3 med erosionskydd bestående av stora block bedöms att beständigheten mot erosion kan garanteras även vid extrema väderlekssituationer. För att den långsiktiga beständigheten hos konventionella invallningar ska äventyras måste andra typer av belastningar uppkomma, såsom seismisk aktivitet. Seismisk aktiviteten förkommer visserligen i Sverige men är mycket begränsad till sin storlek och sannolikheten för att beständigheten skulle äventyras av seismiska laster bedöms som mycket liten.

Användningen i ett område med pågående verksamhet medför också en risk för oavsiktliga ingrepp som kan medföra en viss spridning av förorenade muddermassor, exempelvis vid schaktarbeten för grundläggning, ledningsdragningar eller liknande. Överbyggnadsmäktigheten blir relativt stor, minst 2 m, men för schakter till frostfri nivå kan större schaktdjup bli aktuella. Integriteten mot sådana ingrepp behöver säkerställas genom att kunskapen om fyllningen och dess innehåll vidmakthålls. För detta behövs någon form av administrativa åtgärder. Oskarshamns kommun undersöker vilka möjligheter som finns att föreskriva restriktioner i den framtida markanvändningen. För konstruktioner med cellspont, betongkassuner eller liknande tillkommer behovet av underhåll för att säkerställa konstbyggnadens framtida beständighet. Spontkonstruktioner dimensioneras normalt för en livslängd på 100 år, med hänsyn till risken för avrostning. Detta innebär att reparationer eller förstärkningar kommer att behöva utföras inom detta tidsperspektiv. Så länge som hamnverksamhet pågår på samma sätt som idag torde detta vara säkerställt genom hamnens löpande tillsyn och underhåll av kajläggningar m.m. eftersom en sådan konstbyggnad kommer att utgöra en del av dessa kajläggningar. Svårigheter kan på sikt uppkomma för det fall hamnens verksamhet, inklusive tillsyn och underhåll av konstruktioner i hamnen upphör.

För det fall tillsyn och underhåll skulle upphöra kan man på sikt förvänta sig att ett brott uppkommer i en konstruktion med cellspont och att det krossmaterial som utgör fyllning i cellsponten kommer att rasa ut. Troligen sker ett sådant brott ungefär i vattenytans nivå, eftersom den del av sponten som växelvis utsätts för vatten och luftsyre är mest utsatt för rostangrepp. En konstruktion med cellspont innebär att fyllningen närmast vattenområdet består av krossmaterial. Ett brott i spontväggen bedöms därför inte medföra någon ökad risk för spridning av förorenat material eftersom endast en liten del av detta krossmaterial kommer att rasa ut innan en stabil slänt utbildas.

På mycket lång sikt kan möjligen även de nedre delarna av cellsponten rosta av och större volymer av fyllningsmaterialet rasa ut. En sådan process bör innebära att krossmaterialet bakom sponten rasar ut och bildar en slänt i den för materialet naturliga rasvinkeln, i princip på det sätt som illustreras i Figur 14.



**Figur 14** Effekter av ett eventuellt framtida brott i en konstruktion med cellspont. Krossmaterial inne i cellsponten som ligger "över" materialets naturliga rasvinkel rasar ut vid ett brott och utgör stödfyllning för kvarvarande massor.

Skjuvhållfastheten hos ett friktionsmaterial som bergkross beskrivs som en funktion av materialets inre friktionsvinkel ( $\sigma'$ ) och effektivspänningen ( $\phi'$ ) med ekvationen  $\tau = \sigma' \tan \phi'$ . Friktionsvinkeln kan för krossmaterial normalt antas till ca 42°. Tillämpas en säkerhetsfaktor om  $F=1,5$  på skjuvhållfastheten reduceras alltså friktionsvinkeln till 31°, vilket motsvarar en släntlutning på 1:1,7. Rasvinkeln hos det krossmaterial som rasar ut efter det att sponten förlorat sin funktion bör alltså bli mindre än 1:2. Konsekvenserna av ett sådant ras redovisas i Figur 14 för ett fall där vattendjupet är 12 m och cellspontens diameter 12 m. Det framgår att det ras som utbildas inte berör fyllningen med muddermassor utan endast fyllningen inne i cellsponten och en marginell del av täckningen. En ytterligare buffertzona mot fyllningen med muddermassor kan vid behov skapas genom att täckningsmaktigheten ökas närmast cellsponten. Behovet av en utökad skyddszon kommer att styras av valet av fyllningsmassor i cellsponten, vars kornstorleksfördelning bestämmer erosionskänsligheten.

Där vattendjupen är större behöver cellspontens diameter ökas och där vattendjupen är mindre kan diametern minskas. Vattendjupen i hamnen är begränsade till som mest ca 14 m medan djupet i de lägen konstruktionen kan bli aktuell är begränsade till som mest 10-12 m. Fartyg med större djupgående kan inte trafikera hamnen eftersom även djupen i farleden utanför denna är begränsade.

Även andra konstruktioner där fyllningen i en buffertzona närmast bakom en vertikal vägg utgörs av krossmaterial kommer att fungera på detta sätt vid eventuella framtida brott i den vertikala väggen. Exempel på sådana konstruktioner är betongkassuner eller L-stöd förankrade med fyllning av krossmaterial

De lägen där denna typ av konstruktioner med vertikal vägg kan bli aktuella är område 1, den inre sidan av fyllningsområde 3, eventuellt även område 2. Samtliga dessa områden ligger skyddade bakom vågbrytare och påverkan av vågerosion på en framtida slänt blir liten.

Framtida prognoser om vattenståndsförändringar tyder enligt SMHI på att man på lång sikt kan förvänta sig ökande vattenstånd. Detta är snarare till fördel än till nackdel för användningen av muddermassor som fyllningsmaterial, eftersom funktionen ur ett miljöperspektiv bygger på att massorna fortvarigt kommer att ligga under vatten.

## **5 Alternativ för omhändertagande av muddermassor**

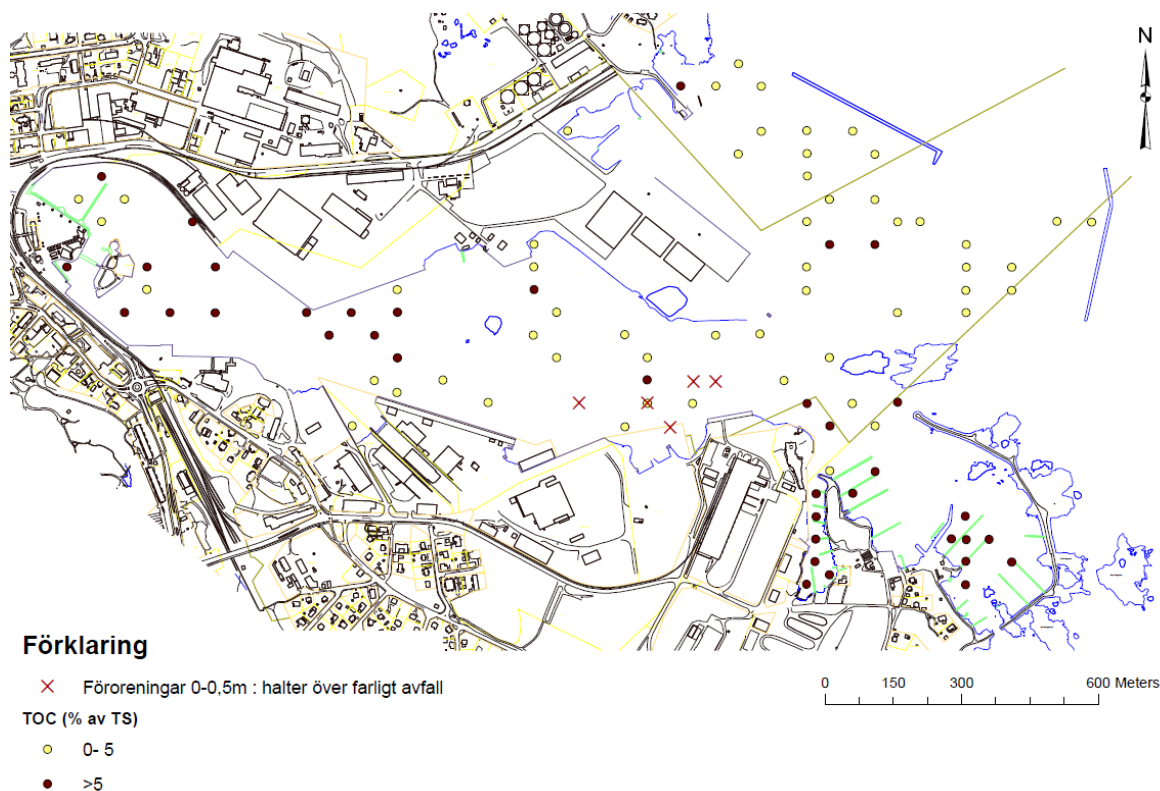
### **5.1 Externt omhändertagande**

Det bedöms som svårt att få avsättning för hela volymen muddermassor hos befintliga avfallsanläggningar. En del av massorna kommer att klassificeras som farligt avfall vilket begränsar antalet mottagningsanläggningar. Delvis är det organiska innehållet för högt för att massorna ska kunna tas emot och deponeras utan dispens från förbudet att deponera farligt avfall och dispens från gränsvärdet för TOC i farligt avfall. Därtill kommer att massorna mestadels kommer att ha låg torrsustanshalt och låg skjuvhållfasthet. Massorna kommer därför att behöva stabiliseras för att få tillräcklig hållfasthet och tillräcklig deformationsmodul för att kunna deponeras, även om tillsatsen av bindemedel förmodligen kan vara något lägre än vid användning som fyllningsmaterial.

Den anläggning som sannolikt kommer att vara mest intressant vid ett eventuellt externt omhändertagande är Langøya i Oslofjorden. Möjligheterna att lasta muddermassor direkt i en båt för transport dit innebär en stor logistisk fördel, samtidigt som mottagningskostnaderna enligt ett förhandsbesked kommer att vara låga. För att kunna tas emot på Langøya måste massorna i praktiken kunna klassificeras som icke-farligt avfall enligt de gränsvärden för totalhalt som gäller för mottagning på anläggningen, samtidigt som halten organiskt kol (TOC) inte får överskrida 5 %. En översikt över förekomsten av sådana massor i hamnbassängen redovisas i Figur 15. Som framgår av figuren finns en delmängd av muddermassorna som kan tas emot vid Langøya. Med hänsyn till att det i första hand är den inre hamnbassängen som ska muddras och att en relativt stor del av massorna i denna har antingen för hög föroreningshalt eller för hög organisk halt bedöms att den volym som kan tas emot är relativt begränsad.

Homogena massor vilka klassas som icke-farligt avfall och med halt TOC som underskrider 10 % kan tas emot för deponering i Sverige utan särskilda dispenser. En stor del av massorna även i den inre hamnbassängen bedöms uppfylla dessa krav. Dispens kan erhållas från förbudet, för icke-farligt avfall utan någon formell övre gräns för dispensmöjligheten. För massor som utgör farligt avfall behövs dispens om halten TOC överskrider 6 %, och dispens kan erhållas upp till en halt TOC om 18 %. Någon slutlig avfallsklassificering har inte genomförts, men deponering bedöms som möjlig med hänsyn till regelverket även om dispens från förbudet att deponera organiskt avfall och mottagningskriteriet för TOC i farligt avfall kan behövas för en del av massorna. Däremot bedöms det som troligt att kostnaderna för transport och mottagning på en extern anläggning i Sverige skulle bli höga eftersom mottagningskapacitet för denna typ av massor är begränsad i dagsläget. För det fall betydande del av muddermassorna skulle behöva deponeras och dessa inte kan tas emot vid Langøya bedöms att det sanno-

likt skulle vara kostnadseffektivt att anlägga en särskild deponi samordnad med Storskogens avfallsanläggning i Oskarshamn.



**Figur 15** Muddermassor som kan tas emot på Langöya (provtagningspunkter representerade av gul ring utan kryss).

Vid externt omhändertagande överläts det framtida ansvaret för de förorenade massorna till annan verksamhetsutövare. Även osäkerheter kring deponeringslösningens långsiktiga beständighet, behov av tillsyn, underhåll och reparationer överläts därmed till denne verksamhetsutövare, liksom frågan om hur kunskapen om massorna skall säkras och oavsiktliga ingrepp som kan skada barriärkonstruktionerna undvikas i framtiden.

## 5.2 Deponering i kommunens regi

Transportavståndet till kommunens avfallsanläggning Storskogen är relativt kort (< 10 km). Preliminärt bedöms att det är möjligt att anlägga en separat cell för muddermassorna i anslutning till Storskogen. Bedömningen grundas enbart på kartstudier och någon närmare undersökning av förutsättningarna har inte genomförts. Tillstånd för deponering av muddermassorna finns inte i dagsläget, men bedöms vara möjligt att erhålla.

Preliminärt bedöms att en separat cell för deponering av muddermassor bör utformas som en deponi för farligt avfall. Marginalkostnaden för att uppgradera en deponi för icke-farligt avfall till en deponi för farligt avfall är relativt liten och logistiken blir enklare om man inte behöver särskilt hålla de delvolymerna som utgör farligt avfall.

Den bottenkonstruktion som behövs för en sådan deponi omfattar en konstgjord geologisk barriär (i området finns inte förutsättningar att påträffa en naturlig geologisk barriär), botten-tätning och bottendränering med uppsamling av lakvatten. Möjligen kommer också en separat anläggning för rening av lakvatten att behövas, alternativt samordnas behandlingen med hanteringen av lakvatten från den befintliga deponin. Under uppbyggnadstiden kommer dock volymerna lakvatten från deponin med muddermassor att vara stor

För att muddermassorna ska kunna läggas upp i deponin med tillfredsställande stabilitetsförhållanden krävs stabilisering. Utan stabilisering kommer muddermassorna att vara mycket svårhanterliga och i framtiden sättningsbenägna. Dessutom måste den möjliga deponeringshöjden kraftigt begränsas vilket ökar behovet av ytor. Kostnaderna för stabilisering kommer troligen att uppvägas av minskade kostnader för bottenkonstruktionen.

Efter uppläggning ska de deponerade muddermassorna sluttäckas. I sluttäckningen ingår tätskikt, dräneringsskikt och skyddstäckning som primära funktionella skikt, vid behov även kompletterande skikt såsom materialskiljande lager och växtetableringsskikt.

En lämplig tätskiktsskonstruktion med hänsyn till muddermassornas karaktär är en s.k. komposittätning som består av en bentonitmatta kompletterad med ett syntetiskt tätskikt. För övriga lager kan krossmaterial och/eller naturgrus i lämpliga fraktioner användas. Beroende på tillgången på andra typer av massor (exempelvis överblivna schaktmassor) kan sådana användas i skyddstäckningen.

Kommunen kommer att behöva ta ansvar för den framtida beständigheten för en deponi, på samma sätt som vid användning av muddermassor som fyllning i hamnen. I princip uppkommer samma behov av att säkerställa kunskap om deponin i framtiden och upprättande av administrativa åtgärder som i görligaste mån förhindrar oavsiktliga intrång. En skillnad är dock att deponin samordnas med en redan existerande deponi för vilken detta behov redan finns.

Även för en deponin kan man förutse ett behov av framtida tillsyn, underhåll och reparationer av barriärkonstruktioner, på liknande sätt som vid fyllning bakom stödskonstruktioner av stål eller betong. I deponifallet föreskriver förordning 2001:512 om deponering av avfall att verksamhetsutövaren ska vidta de åtgärder för underhåll, övervakning, och kontroll som behövs under en efterbehandlingsfas som ska omfatta ”minst 30 år eller den längre tid som tillsynsmyndigheten bestämmer”.

I det långsiktiga perspektivet ska sluttäckningen säkerställa att lakvattenbildningen i deponin blir tillräckligt liten för att spridningen av föroreningar inte ska bli större än vad som kan tålas i omgivningen utan risk för människors hälsa eller miljön. Flera faktorer kan påverka den långsiktiga funktionen hos sluttäckningen. Funktionen är främst beroende av att tätskikten bibehåller tillräcklig täthet, men även av att dräneringen fungerar tillräckligt bra.

En ofta diskuterad svaghet med den aktuella typen av konstruktioner är risken för att åldringseffekter nedsätter funktionen hos syntetiska membran. De processer som verkar nedbrytande är främst UV-ljus och oxidation. Överlagrande täckning utgör ett effektivt skydd mot påverkan av UV-strålning. Däremot är membranet inte fullständigt skyddat från kontakt med oxidanter. Luftsyre kan tillföras genom diffusion, en process som underlättas av att dräneringen innebär att skyddstäckningen sällan är vattenmättad (diffusionen sker ungefär 10 000 ggr snabbare i luftfyllda porer än i vattenmättade porer). Syre kan också tillföras löst i infiltrerande vatten. Det är möjligt att från accelererade tester undersöka livslängden hos polymera material. Detta görs med provning vid högre temperatur eftersom temperaturen ökar reaktionshastigheterna avsevärt. Från sådana försök kan livslängden under verkliga förhållanden

predikteras med hjälp av Arrhenius lag. Försök har främst utförts för membran av HDPE (High Density Poly Ethylene) som är den mest använda typen. Litteraturuppgifter från sådana undersökningar indikerar att livslängden hos polymeren vid de aktuella förhållandena kan uppgå till flera hundra år (se t.ex. Rowe et al 2009). Andra författare (bl.a. Lee 1997) påpekar att denna typ av försök inte kan tolkas som att det syntetiska membranet som helhet har motsvarande livslängd eftersom membranet i den verkliga situationen utsätts för en kombinerad påverkan av oxidation, dragspänning och punkttryck, eventuellt också kemikaliepåverkan.

Tätheten hos bentonitmattan är kopplad till ett skikt av svällande bentonitlera mellan två geotextiler. Livslängden hos geotextiler anses normalt vara mindre än hundra år. Under förutsättning att bentonitmattan omges av andra material med lämplig kornstorleksfördelning ur filter-synpunkt kan funktionen troligen upprätthållas långsiktigt, oberoende av geotextilernas livslängd. Bentonitskiktet är mycket tunt (< 1 cm) men har mycket låg permeabilitet när den får kontakt med vatten, under förutsättning att fri svällning förhindras. Den långsiktiga permeabiliteten beror på överlagringstrycket och kan i en normal deponitäckning (mäktighet 1,5-2 m) förväntas bli ca  $1 \cdot 10^{-10}$  m/s.

Processer som kan påverka tätningens funktion är tjälning och nedträngning av rötter. För det fall rötter penetrerar tätskikten kan kanaler som leder vatten uppkomma. Det bedöms dock inte som sannolikt att rötter kan penetrera ett intakt syntetiskt geomembran. Däremot kommer det att finnas hål genom vilka rottrådar kan söka sig. Uppföljningar av utförda arbeten visar att det i praktiken alltid uppkommer sådana skador (Giroud et al 1994). Bentonitleran kan även påverkas av frysning (som torkar ut leran) och uttorkning genom avdunstning, varvid permeabiliteten förloras, men sväller och återtar sin täthet när vatten infiltrerar. Bentonitens svällningsförmåga kan dock påverkas av kemikalier, liksom vissa syntetiska geomembran.

Tjälning som når ned till och under tätskiktet kan ge upphov till ojämna deformationer (jfr. tjälskott). Den största risken för långsiktig påverkan på tätskiktets integritet är sannolikt uppkomst av ojämna sättningar. Eftersom bentonitskiktet är mycket tunt kan inte rörelserna bli särskilt stora innan sprickor i skiktet uppkommer. Syntetiska geomembran av typen HDPE klarar inte heller särskilt stora sättningsskillnader innan materialet förlorar sin integritet. En sättningsskillnad på 5-10 % (5-10 cm över ett avstånd på 1 m) är tillräcklig för att en komposittätning av HDPE och en bentonitmatta skall skadas. Bättre motståndskraft mot sådana ojämna sättningar erhålls om man använder membraner som kan ta större deformationer utan att förlora sin integritet, t.ex. LLDPE (Linear Low Density PolyEthylene), FPP (Flexible PolyPropene) eller EPDM (ett syntetiskt gummi). Åldringsbeständigheten hos dessa polymerer är dock inte undersökta.

Eftersom tätskikten är tunna har dräneringslagret en viktig funktion att fylla. Om avrinningen inte fungerar effektivt utan vatten magasineras över tätningen blir gradienterna snabbt mycket höga. Igensättning av dräneringen kan orsakas av materialvandring från skyddstäckningen om material med olämplig kornstorleksfördelning används. Detta kan förebyggas med omsorgsfull dimensionering och utförandekontroll. Svårare att förebygga är nedträngning av rötter som kan nedsätta dräneringskapaciteten.

Framtida spontan invandring av högre vegetation kan på sikt medföra att högre träd utvecklas och att rotvältor uppkommer vid stormar. Rotvältor kan lokalt minska täckningsmäktigheten och medföra att de processer som påverkar tätskiktets integritet får större betydelse.

Sammantaget finns flera osäkerheter kring den långsiktiga beständigheten hos deponins barriärkonstruktioner, vilka bedöms innebära att behovet av tillsyn och underhåll kommer att kvarstå under mycket lång tid.

## 6 Optimering och val av fyllningsalternativ

En optimering för slutligt val av utnyttjande av muddermassorna som fyllningsmaterial i hamnen kommer att genomföras. För optimeringsprocessen kommer enhetskostnaden (kr/m<sup>3</sup>) för fyllning i olika områden och med olika utförande av invallningar att beräknas. Efter värdering av kostnader för olika alternativ samt de övriga faktorer som redovisats ovan kommer ett slutligt förstahandsalternativ att förordas och redovisas i tillståndsansökan. Preliminära kostnadsberäkningar visar att det bör vara mest kostnadseffektivt att utnyttja hela områdena 2 och 3 samt vid behov en begränsad del av område 1.

Preliminärt bedöms att det kan vara kostnadseffektivt att till en mindre del utföra invallningar med vertikala väggar av typen cellspont och/eller L-stöd alternativt kassun i armerad betong, för att skapa möjligheter för en större volym fyllning. Kostnaden för sådana konstruktioner är högre än för traditionella invallningar men kan kompenseras av att det tillgängliga utrymmet för fyllning ökar och att komplicerade grundförstärkningar kan uteslutas. Det behov av tillsyn och underhåll som sådana konstruktioner medför bedöms inte utgöra någon avgörande skillnad jämfört med motsvarande behov för en landbaserad deponi. Vidare visar analysen av möjliga konsekvenser av ett bristande underhåll att de risker som är förknippade med kollaps av vertikala konstruktioner med enkla medel kan förebyggas, se avsnitt 4.3.

I värderingsprocessen kommer de beräknade kostnaderna för användning av muddermassorna som fyllning i hamnen också att jämföras med alternativkostnader för omhändertagande på en extern respektive egen deponi. Utgående från preliminära kostnadsuppgifter från Langøya bedöms kostnaden för mottagning där till ca 400 kr/ton, inklusive transport. Med densiteten 1,3 ton/m<sup>3</sup> kan kostnaden för externt omhändertagande beräknas till ca 520 kr/m<sup>3</sup>. Vid deponering i kommunens regi kommer kostnaderna att omfatta iordningställande av en deponiyta med konstgjord geologisk barriär, tätskikt och dräneringsskikt, stabilisering av muddermassorna för att deponins stabilitet ska bli tillfredsställande och muddermassorna hanterbara vid utläggning och packning, transport och utläggning, omhändertagande av lakvatten samt sluttäckning. Kostnaderna blir bl.a. beroende på hur mycket massor som ska deponeras; oftast sjunker enhetskostnaden per deponerad kubikmeter med ökande mängd. Detta beror på att yteffektiviteten ökar med volymen vilket har betydelse för de delar av kostnaderna som är direkt proportionella mot ianspråktagen yta. Utan att en närmare analys genomförts utgående från de lokala förutsättningarna vid Storskogen, kan alternativkostnaden för deponering i egen regi bedömas till ca 550 kr/m<sup>3</sup>, utgående från generella erfarenhetskalkyler.

Ett alternativ som innebär deponering i en konventionell deponi vid Storskogen bedöms som sämre ur miljösynpunkt än användning i fyllningar under vatten och förordas därför inte. Under vatten säkras en stabil geokemisk miljö under överskådlig tid, medan denna kan förändras på lång sikt vid deponering över grundvattenytan pga. tillträde för syre. Även vattenomsättningen bedöms på längre sikt bli större i en deponi än i fyllningar under vatten, trots de kvalificerade tätskikt som förutsätts anläggas. Detta beror på att gradienterna för perkolation av infiltrerande nederbörd blir stora, liksom den för nederbörd exponerade ytan.