



UNDERLAG FÖR ÅTGÄRDSUTREDNING

Geoteknik, sedimentets och jordens hållfasthets- och deformationsegenskaper

Rapport nr Oskarshamns hamn 2004:11

Oskarshamns kommun

2004-05-10

Författad av

Ola Lindstrand och Algis Vilkénas, RAMBÖLL SVERIGE AB¹

¹ Teknikstöd Geoteknik och Hydrogeologi

Sammanfattning

Föreliggande utredning har utförts för att lyfta fram de geotekniska egenskaperna för de förorenade sediment som finns inom Oskarshamns inre och yttre hamn. I uppdraget ingår att bedöma hur de geotekniska parametrarna påverkar val av metoder för att åtgärda föroreningarna i bottensedimentet.

Utredningen visar att de förorenade ytlagret av gyttja i utredningen benämnt sediment är extremt lösa och känsliga för omrörning samt att de är relativt begränsade i mäktighet men med en stor variation inom hamnområdet.

Traditionella muddringsmetoder är om inte direkt olämpliga så mindre önskvärda då dessa kommer att medföra betydande olägenheter avseende ytkrav, grumling, utspädning och nivåkontroll. Utredningen pekar på att de förorenade sedimenten kan avvattnas på plats genom täckning. Med täckning ordnas dels en avvattning dels en möjlighet att lokalisera de delar av bottarna som har störst avlagringar av förorenade sediment. Denna lokalisering utförs med upprepade mätningar av botten genom ekolodning. Kompletterande undersökningar utförs inom dessa områden.

Skyddsfillning föreslås i ett inledande skede utföras så att det fungerar som erosionskydd och som en försegling av botten. Vid ett framtida (eller direkt efterföljande) uttag av föroreningarna under detta lager kommer erosionsskyddet att fungera som en skyddande barriär som även ökar exaktheten i uttaget.

Täckningen skall i denna del utformas dels med hänsyn till framtida uttag av förorenat material, dels med hänsyn till erosion orsakad av vattenströmmar. Den slutliga metoden bör enligt vår uppfattning bygga på att de förorenade sedimenten kan tas upp med ett reducerat vatteninnehåll och utan vattentillsatts. Rent vatten, eller jord, skall inte tillsättas processen.

Den metod som i dag finns för detta är så kallad tryckmuddring utan vattentillsats vilket, enligt uppgift, kontrollerat kan utföras under en yta som är täckt med ett skyddande lager. Täckning av botten kombinerad med en långsiktig planering av verksamhetsbehovet, kommer enligt vår uppfattning att leda till optimala lösningar för olika delar av hamnbassängen. Lösningar vilka baseras på ekonomi, resurser och teknik eftersträvas med syfte att uppnå den mest hållbara utvecklingen kombinerat med en kraftigt minskad risk för spridning av föroreningar från hamnområdet.

INNEHÅLL

SAMMANFATTNING	2
1 BAKGRUND.....	4
1.1 ORIENTERING	4
1.1.1 Uppdrag	4
2 FRÅGESTÄLLNING OCH SYFTE	4
3 GEOLOGI.....	4
3.1 GEOTEKNISKA EGENSKAPER.....	6
3.1.1 Sediment	9
3.1.2 Organisk jord	9
3.1.3 Lera	10
3.1.4 Friktionsjord.....	10
4 METODER	10
4.1.1 Traditionella muddringsmetoder.....	10
4.1.2 Moderna muddringsmetoder	10
4.1.3 Transport avvattning och lagring av förorenade muddringsmassor	11
4.1.4 Avvattning av förorenad jord på plats	11
5 KOMPLETTERANDE UNDERSÖKNINGAR OCH UTREDNINGAR.....	11
6 SLUTSATSER.....	12

1 Bakgrund

1.1 Orientering

Oskarshamns kommun har tidigare, inom begreppet Huvudstudie, med statlig delfinansiering låtit utföra ett antal undersökningar av föroreningsituationen i sedimenten inom hamnbassängen i Oskarshamn. Det har visat sig att sedimenten är starkt förorenade av tungmetaller, med största säkerhet främst orsakat av tidigare industriella verksamheter i hamnen och i hamnens närområde. Hamnen misstänks idag vara en betydande källa till de förhöjda tungmetallhalter som uppmätts i Östersjön utanför Oskarshamn.

Inom den tidigare etapp 3 inom Huvudstudien har en fördjupad undersökning utförts av sedimenten i hamnbassängen. Sedimentprover har tagits i totalt 125 punkter fördelade över hamnbassängen. Proverna har undersökts främst med avseende på metallinnehåll och avvattningsegenskaper. En ekolodning inklusive sedimentekolodning har även utförts. Scandiaconsult ansvarade för detta arbete på uppdrag av Oskarshamns kommun och arbetet är redovisat i rapporten *Kartering av förorenade sediment, Undersökningsrapport*, daterad rev. 2000-03-15, respektive *Kartering av förorenade sediment, Utvärderingsrapport*, daterad 2000-03-15.

1.1.1 Uppdrag

I denna uppdragsdel ingår att utifrån de tidigare ovan angivna undersökningarna belysa sedimentens och jordens hållfasthets- och deformationsegenskaper, med andra ord deras geotekniska egenskaper. Tidigare har undersökningarna främst utförts med syfte att beskriva föroreningsinnehåll, mindre med syfte att belysa de entreprenadmässiga förutsättningarna för en efterbehandling. Underlag till nu föreliggande rapporten skall därmed hämtas från ovan angivna undersökningar och i utredningen beaktas hur de geotekniska egenskaperna påverkar 0-alternativet, bortskaffning och alternativa nyttiggöranden.

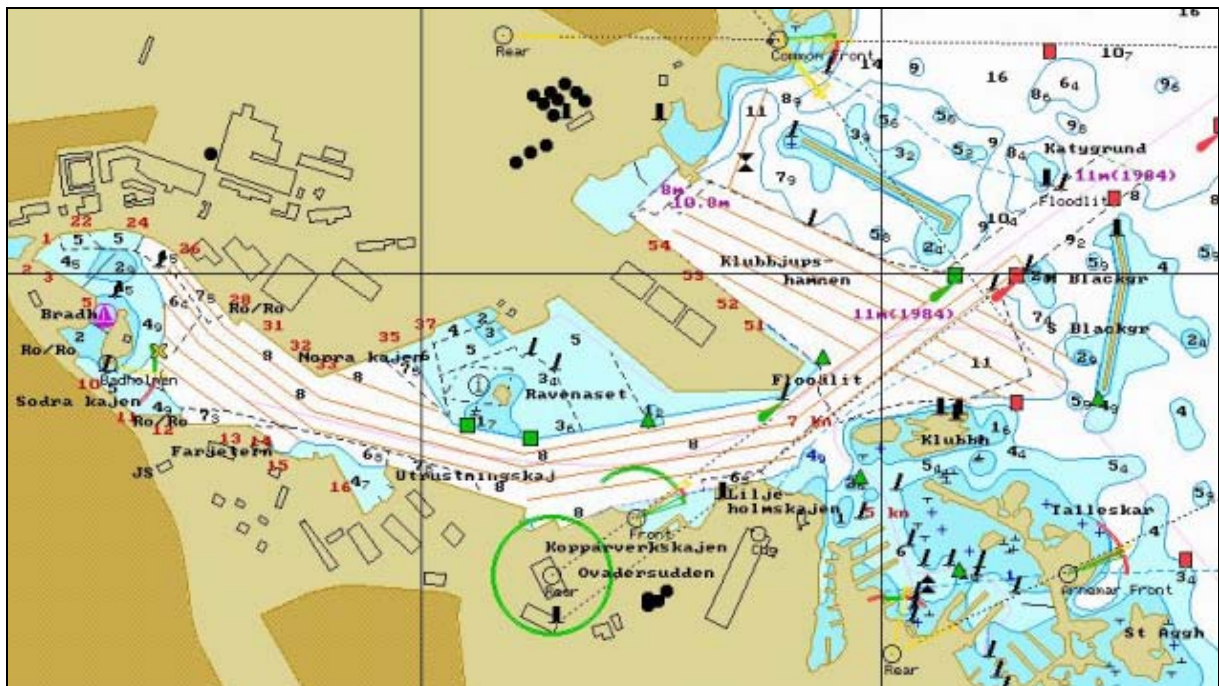
Utredningsdelen i denna fas avslutas med förslag till kompletterande undersökningar.

2 Frågeställning och syfte

I uppdraget ingår att i första hand belysa förutsättningarna för upptagning, täckning och avvattning av förorenade sediment med avseende på geotekniska parametrar och geologiska förutsättningar.

3 Geologi

Oskarshamns yttre och inre hamnbassäng är från början en djup havsvik med ett tillopp från omkringliggande vattendrag. Vattendjupet varierar från 4 m i den inre delen, 8 m i inloppet till inre hamnen och omkring 15 m i den yttre hamnen.



Figur 1. Bilden visar den inre och yttre hamnen och farlederna

Den ursprungliga lagerföljden består överst av organiska avsättningar av gyttja och dy som på många platser ligger på ett tunt lager av sand och grus som avlagrats på den underliggande lösa leran. Under leran finns friktionsjord. Den ursprungliga bottenpografien är inte i detalj känd men utförda sonderingar visar att friktionsjordens yta är kraftigt kuperad.

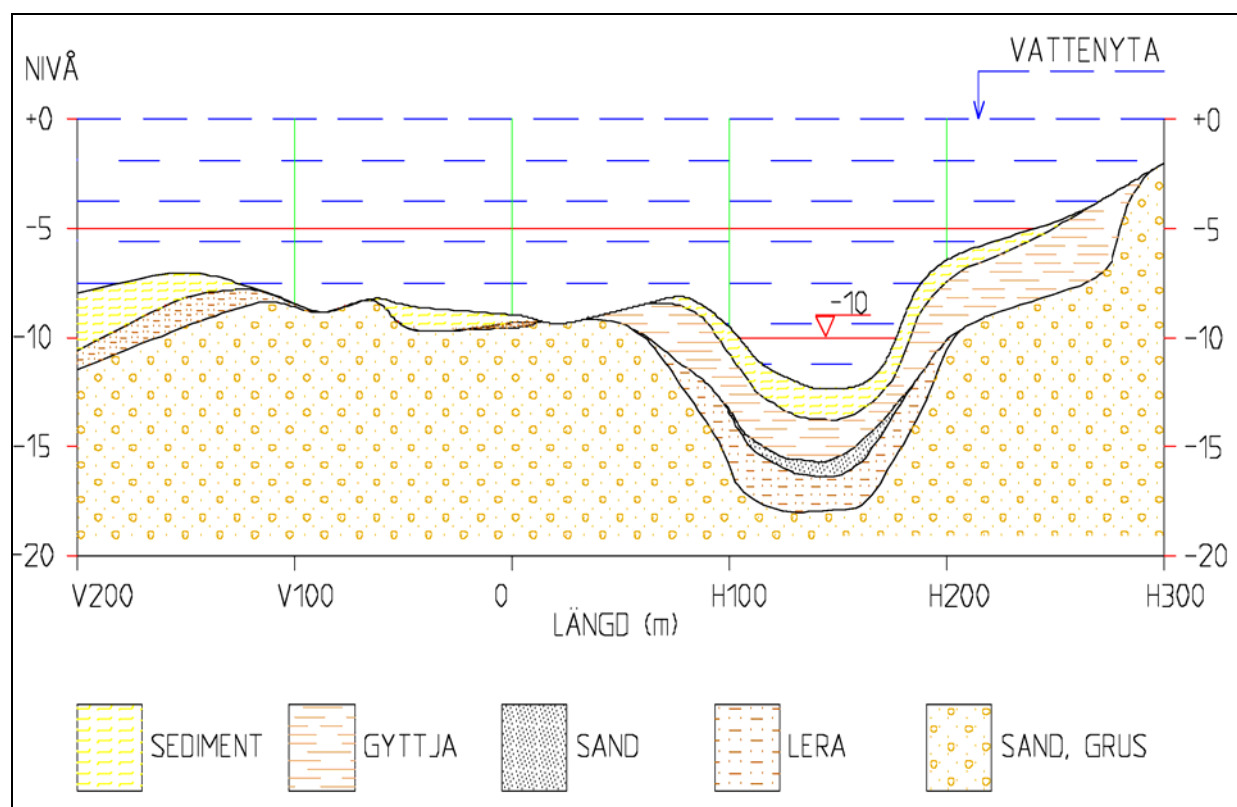
Under de senaste 200 åren har havsviken genomgått en kraftig omvandling genom att människan har utfört stora muddringar och utfyllnader inom hamnområdet. Under tiden har avsättningar av ytlager av gyttja och dy fortsatt men under de senaste 100 åren har dessa ytlager lagrat och bundit stora mängder föroreningar. Omfattningen av föroreningarna i det senast avlagrade organiska jordlagren är så stora så att de missfärgats och fått en gulgrön färg. I fotografiet nedan syns den karakteristiska färgen på det förorenade organiska jordlagret. I fortsättningen benämns de ytliga förorenade jordlagren för sediment.



Figur 2. Rysskannprovtagare med upptagna sediment.

De geotekniska undersökningar som utförts i angivna underslagsrapporter, visar att jordlagerföljden är kraftigt förändrad, inte bara beroende på muddring utan också beroende på erosion orsakad av starka vattenströmmar orsakade av fartygstrafiken. Det finns partier där friktionsjorden är renspolad från avsättningar respektive områden med sediment med mycket liten mäktighet direkt på friktionsjord.

På andra platser har sedimenten en tjocklek på upp till minst 2 m enligt utförda provtagningar. Sediment kan med största säkerhet förekomma till större djup i de delar där ingen provning genomförts. I figuren nedan visas en schematisk bild på jordlagren och tänkbar fördelning.



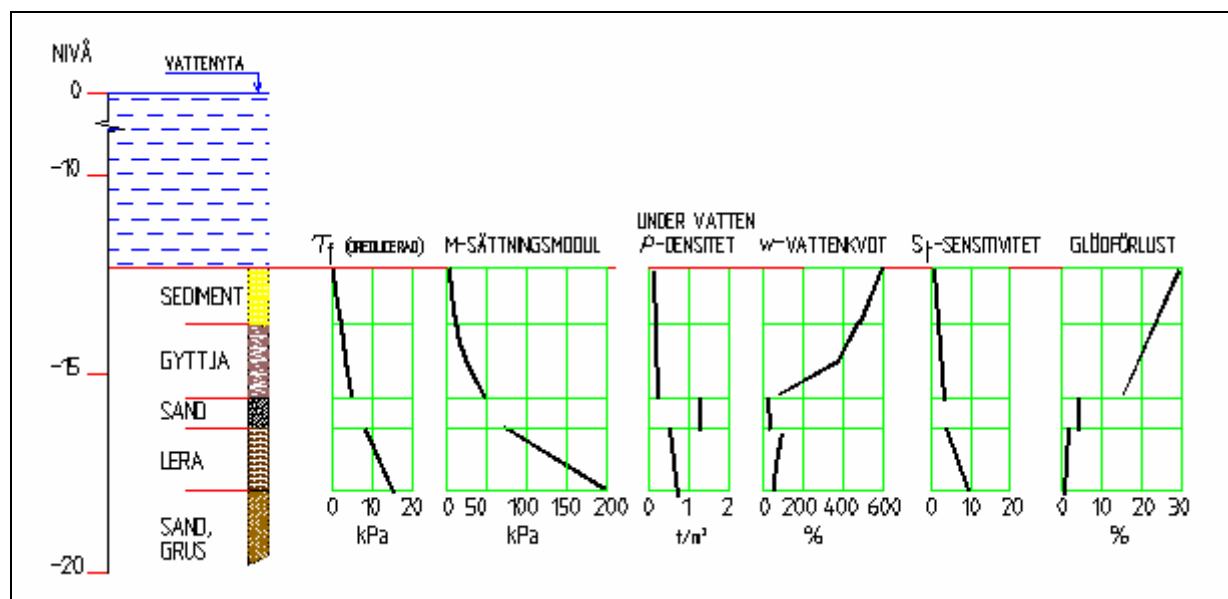
Figur 3. Schematisk bild av jordlagerföljd och en tänkbar fördelning av sediment i tvärsnittet.

I avsnittet nedan beskrivs de olika jordlagrens tekniska egenskaper med tillhörande parametrar.

3.1 Geotekniska egenskaper

I figur 4 på följande sida visas hur de karakteristiska geotekniska parametrarna varierar över ett tänkt tvärsnitt genom sediment, gyttjan och leran.

Friktionsjorden under leran har inte undersökts men bedöms vara stenig och innehålla block.



Figur 4. Figuren visar en schematisk fördelning av jordens egenskaper med avseende på odränerad skjuvhållfasthet, sättningsmodul, densitet under vatten, vattenkvot, sensitiviteten och glödförlust. Angivna värden representerar en sannolik punkt.

Angivna värden ovan är en geoteknisk sammanvägning från undersökningsresultaten som redovisas i tidigare undersökningar och från erfarenhetsdata från liknade jordar. Angivna värden skall betraktas som sannolika för en karakteristisk punkt i hamnbassängen. För analys av medelvärden spridning mm saknas dock i dag underlag men bedöms samtidigt ej heller som nödvändigt.

Vår genomgång av underlaget kan med hjälp av diagrammen i figur 4 sammanfattas enligt nedan.

Det översta jordlagret bestående av sediment/gyttja är extremt lösa och känsliga för belastningar med avseende på sammanpressning och skred som sammanfattas av de extremt låga värdena på odränerade skjuvhållfastheten 0-5 kPa och moduler mellan 0-50 kPa. Sättningen kan momentant för en last av 5 kPa (motsvarande 0,5 m bergkross) vid pålastning uppskattas ge en sättning på 90% till 30% av skiktjockleken. Till detta tillkommer konsolidering genom avvattnings under en längre tid. Densiteten under vatten är ca 0-0,3 ton/m³ vilket innebär att jorden i princip flyter på underliggande mycket lösa jordlager av lera. Den låga densiteten är direkt kopplad till de extremt höga vattenkvoterna som också visar att jordlagren innehåller mycket organisk nedbrytbar jord vilket verifieras av glödförlusten. Sediment/gyttja är så löst lagrad att fastheten inte nämnvärt påverkas av omrörning vilket mäts av sensitiviteten. Vattenkvoten och den låga densiteten visar även att materialet är extremt känsligt för omrörning och kommer att spädas ut ytterligare och sväva långa tider och sträckor i vattnet innan det återfår sin ursprungliga fasthet. Det organiska innehållet gör att materialet har förutsättningar att till delar brytas ned om det tas upp över vattenytan och lagras på sådant sätt att det får kontakt med syre.

De ovan beskrivna parametrarna förklaras detaljerat nedan. Observera att ur byggnadssynpunkt är det normalt inte intressant att mäta och analysera jordar med så extremt dåliga egenskaper för byggnadsverksamhet. Det senare betyder att vi för sedimenten i hamnbassängen ligger rejält i underkant av alla tabellvärden nedan.

Kohesionsjord som är samlingsnamnet för gyttja, dy och lera kan klassificeras efter odränerad skjuvhållfasthet enligt Handboken Bygg Geoteknik Tabell G04.22f.

Utdrag ur tabellen redovisas nedan.

<u>Benämning</u>	<u>Odränerad skjuvhållfasthet (kPa)</u>
Mycket lös	<12,5
Lös	12,5-25
Halvfast	25-50
Mycket fast	50-100

En viktig parameter vid muddring är kohesionsjordens sensitivitet förhållandet mellan den odränerade skjuvhållfastheten i ostört och omrört tillstånd. Klassificering efter sensitivitet framgår av Handboken Bygg Geoteknik Tabell G04.22g.

Utdrag ur tabellen redovisas nedan

<u>Benämning</u>	<u>Sensitivitet</u>
Lågsensitiv	<8
Mellansensitiv	8-30
Högsensitiv	>30

Jorden kan också delas in med hänsyn till organisk halt som i många prov har bestämts genom att utföra en glödning av provet och väga den kvarstående mängden mineral i förhållande till provets ursprungliga torrsubstans. Se Handboken Bygg Geoteknik Tabell tabell G04:22i.

Utdrag ur tabellen redovisas nedan

<u>Jordart</u>	<u>Halt organisk substans</u>	<u>Benämning</u>
Organiska mineraljordar	2-6	Gyttjig eller dyig lera, siltig lera
Mineraliska organiska jordar	6-20	Lerig eller siltig gyttja eller dy etc.
Organiska jordar	>20	Gyttja, Dy, Torv, Mulljord etc.

Halt organisk substans bestäms som brännbar i viktsprocent av torrsubstansen.

Slutligen har en bestämning av vattenkvot (=volym vatten/volym fast material) utförts på flertalet prover och spridningen redovisas översiktligt i figur 4 ovan.

Jordens sättningensmodul är en avgörande parameter för uppskattning av jordens kompression för en belastningsökning i form av en påfyllnad. För mycket lösa leror kan sättningensmodulen variera mellan 20 till 50 gången den odränerade skjuvhållfastheten. Sättningensmodulen kan grovt uppskattas vara 5 till 10 gånger den odränerade skjuvhållfastheten i tabellen på följande sida har vi lagt in ungefärliga värden på modulen. I tabellen finns också en uppskattning av sättningen per meter lösa sediment för en tillskottslast på 0,5 kPa motsvarande 0,5 m bergkrossfyllning. Sättningen är relativt momentan och inträffar inom en 3 månadersperiod. På lång sikt kommer fyllningen att ytterligare pressa samman underliggande jord med 10 till 75 % av den ursprungliga tjockleken där kohesionsjorden är lösare än 12,5 kPa.

Utdrag ur tabellen redovisas nedan

Benämning	Odränerad skjuvhållfasthet (kPa)	Sättningsmodul (kPa)	Sättning i cm/m
Extremt löst	1-12,5	5-50	90-10
Mycket lös	<12,5	50-300	10-2
Lös	12,5-25	100-500	5-1

Kompressionsegenskaperna är inte undersökta utan bör kontrolleras i fält. Angivna värden i tabellen ovan är en grov uppskattning av geotekniska parametrar utifrån erfarenheter från liknade jordar.

Jordens densitet varierar med djupet och jordart. Densiteten under vatten är för gyttja cirka 0,0 till 0,4 t/m³, medan den för lera och silt är cirka 0,4-1 ton/m³, respektive cirka 1,1-1,4 ton/m³ för sand och grus.

Uppskattade och uppmätta värden sammanfattas i figur 4 ovan. Helt klart är att en täckning av de mjuka jordarna kommer att medföra en stor sättning orsakad av kompression med efterföljande konsolidering. Utförandet av en eventuell fyllning på sedimenten måste utföras så att stabiliteten inte äventyras och på sådant sätt att vatten under fyllningen kan filtreras genom exempelvis ett geotextil eller ett lager av finsand.

3.1.1 Sediment

Vattenfasen övergår successivt i ett sediment bestående huvudsak av gyttja. Sedimentet är mycket lättflyktigt i ytan och det saknas en skarp gräns mellan vätskefasen och jordfasen, vilket är vanligt vid organiska avsättningar i vatten, så kallade bottenlösa dy- eller gyttjebottnar. Tillräckligt motstånd för att kunna stå i en sådan avsättning uppnås först efter att båda fötterna sjunkit 0,5 till 1,0 m ned i dyn. Det är därför även svårt att bestämma en säkert fastställd bottennivå.

I den utredning som benämns Etapp 3;2b ”Kartering av förorenade sediment Utvärderingsrapport” Utförd av Scandiaconsult Erik Arnér och daterad 2000-03-15 anges följande. ”I fält var det oftast lätt att urskilja sediment som torde ha avsatts under den tidsperiod då fartygstrafik och industrier påverkat sedimenten, från den underliggande naturligt avsatta gyttjiga och leriga sediment.” Detta framgår av den ovan redovisade bilden i figur 2. I samma utredning redovisas jordartsbenämning och där saknas angivelsen om gul färg. Proverna är mörkgrå, mörkbrunna och svarta.

Den odränerade skjuvhållfastheten är för det översta lagret 0 (noll) och på 1 till 2 meters djup cirka < 3kPa. Sedimenten är således mycket lös och ligger nära vattenfas. Glödförlusten varierar mellan 20 till 30 % i många ytliga prov. Jordartsbenämningens huvudord är då Gyttja. Vattenkvoten varierar från 200 till 700%. Den odränerade skjuvhållfastheten är ungefär lika låg oavsett omrörning dvs. förhållandet mellan den ursprungliga och omrörda hållfastheten. Sensitiviteten uppgår till mellan 1 och 2.

3.1.2 Organisk jord

Utförda laboratorieundersökningar visar inte på en tydlig gräns mellan sediment och den där under liggande mindre eller helt opåverkade organiska jorden. I den organiska jordens bottenskiikt har den odränerade skjuvhållfastheten uppmäts till < 5 kPa. Den underliggande gyttjan har ungefär samma

egenskaper som sedimentets undre delar. Provtagningen och sonderingen visar på att det inom stora områden finns ett tunt lager med silt, sand och grus mellan gyttjan och leran.

3.1.3 Lera

Under det tunna sandlagret förekommer lera som oftast inte bedöms vara påverkad av föroreningar. Den odränerade skjuvhållfastheten är vanligen något större än 5 kPa och sensitiviteten är låg <5. Leran är inte undersökt med avseende på vattenkvot.

3.1.4 Friktionsjord

Under leran följer friktionsjord som består av sand, grus, sten och block. Någon provtagning på friktionsjorden har inte redovisats i tidigare undersökningar.

4 Metoder

Upptagning av (förorenade) sedimentet kräver en metod som inte grumlar upp och som även begränsar upptaget av vatten för att undvika utspädning. Sedimenten i hamnbassängen är mycket lättflyktiga. Upptagningen av massorna måste enligt vår uppfattning också utföras så att områden runt om upptagningsområdet avgränsas med täta bottenförankrade länsar för att förhindra urlakning och spridning av föroreningar. Upptagningsmetoden måste därtill vara så avpassad att även tunna skikt av sediment skall kunna tas upp på så sätt att extra massor av opåverkad eller lätt förorenad jord som lera, sand och grus undviks. Upptagningen måste också kunna utföras så att de mjuka ej förorenade jordlager lämnas kvar orörda. De förorenade massorna måste dessutom också avvattnas före eller efter upptaget. Vid upptagning krävs också att massorna därefter sedan lagras/deponeras på ett kontrollerat sätt.

4.1.1 Traditionella muddringsmetoder

De traditionella metoderna är främst utvecklade för att snabbt och effektivt kunna ta upp för byggnadsändamål dåliga jordmassor från bottnar där byggnadsverksamhet skall utföras. Metoderna är även anpassade för att ta upp stora mängder friktionsjord som används som fyllning vid utförande av nya landområden eller tillfartsbankar till broar, etc. För att utföra denna typ av muddringsarbeten används normalt skopmudderverk, enskopsmudderverk, gripskopsmudderverk och sugmudderverk. Samtliga traditionella metoder har en nackdel då dessa utförs med relativt låg precision. Metoden kommer enligt vår uppfattning ofelbart att medföra stora extra uttag av material och vatten som inte är förorenad.

4.1.2 Moderna muddringsmetoder

Problemen med förorenade sediment finns i många hamnar i världen och tekniker för kontrollerat uttag av förorenad jord tas fram och utvecklas kontinuerligt. En skonsam metod för upptagning bedöms bland annat vara tryckmuddring utan vattentillsatts. Med denna metod finns också förutsättningar att ta ut förorenade jordmassor från sidan under ett skyddande lager av sand. En annan metod som på senare tid även fått massmedialt intresse är frysmuddring.

4.1.3 Transport avvattning och lagring av förorenade muddringsmassor

Till muddringen måste även läggas ett omfattande arbete med en kontrollerad transport, avvattning och lagring av förorenade massor. Det finns inom hamnbassängen troligen flera möjligheter att lösa detta på plats eller deponering på annan plats. För att minska volymen förorenade massor krävs dock en avvattning kombinerad med rening av överskottsvattnet.

Avvattning med tillsatsmedel har i de tidigare angivna utredningarna undersökts och visat på marginella effekter. Efter genomförd avvattning kan samtidigt ytterligare bearbetning utföras genom tillsats och inblandning av bland annat kalk, cement, koksaskor i olika blandningar och på så sätt få ett bättre material för fyllning av mark med måttliga krav på sättningar.

4.1.4 Avvattning av förorenad jord på plats

Avvattning genom att pressa ned jorden under en geotextil (med egenskaper för filtrering och eventuellt även för rening av pressvatten) kan resultera i en mycket snabb och effektiv nedpressning där konsolidering åstadkoms. Uppskattningsvis kan vattenkvoten på kort tid reduceras till värden under 100% (jämfört med aktuella värden mellan 200 till 700 %). Täckning fungerar även som ett grumlingsskydd vid ett eventuellt påföljande uttag av de avvattnade sedimenten.

5 Kompletterande undersökningar och utredningar

Kritiska faktorer ur geoteknisk och geologisk synpunkt är att lokalisera och kartera områden med lösa sediment i förväg med syfte att i detalj bestämma de förorenade jordlagrens mäktighet och utbredning. Kartering bör utföras i tre dimensioner där bottenytan och jordlagergränserna för sediment, organisk jord, sandlager, lera och friktionsjord dokumenteras. Det är enligt vår uppfattning inte tekniskt och ekonomiskt försvarbart att genomföra en tät sondering och provtagning över hela bottenens yta.

Undersökningen bör kombineras med undersökning med referens till en eventuell långsiktig täckning av botten. Mätning av bottenivån kan utföras mot den tydliga gräns som fås efter täckning med hjälp av ekolod. Deformationerna kan sedan mätas genom kompletterande ekolodning av den täckta ytan. Stora deformationer kommer att visas inom de delområden där de tjockaste sedimentlagren finns. Framtida undersökningar bör utföras av avvattningshastighet, föroreningsinnehåll och mäktighet i dessa områden. Försök med täckning bör utföras för att bestämma avvattningshastighet och deformationsegenskaper och sättningshastighet inom ett område med representativa bottnar.

Uttag av förorenad jord skall därefter enligt vår uppfattning utföras med metoder som möjliggör att uttaget kan utföras under det täckande skyddslagret. Här krävs en utredning av tryckmuddringens möjligheter att ta upp sediment från fönster/hål genom skyddsutfyllningen. Utformningen av täckningen kan anpassas till de framtida uttagsmetoderna och till rådande vattenhastigheter från fartygs och båttrafik. Vattenhastigheterna på botten bör därför mätas.

Nedpressning och avvattning gör det också intressant med frysning eftersom volymen vatten blir begränsad.

Framtida utredningar bör inriktas på att undersöka och styra utvecklingen av tekniker som sug eller tryckmuddring utan vattentillsats samt frysning, vilka är exempel på tekniker som på ett kontrollerat sätt kan ta upp tunna jordlager, även under ett skyddande ytlager.

6 Slutsatser

Upptagning av de lösa förorenade jordlagren bör inte utföras med oprecisa metoder som medför att god kontroll avseende grumling, utspädning och nivåer inte kan innehållas. Enligt vår uppfattning finns goda förutsättningar för god avvattning och konsolidering av de förorenade sedimenten innan dessa eventuellt tas upp. Det senare kan översiktligt lösas genom en täckning med duk av geotextil kombinerat med bergkross. Täckningen skall i denna del utformas dels med hänsyn till framtida uttag av förorenat material, dels med hänsyn till erosion orsakad av vattenströmmar. Den slutliga metoden bör enligt vår uppfattning bygga på att de förorenade sedimenten kan tas upp med ett reducerat vatteninnehåll och utan vattentillsatts. Rent vatten, eller jord, skall inte tillsättas processen.

Den metod som i dag finns för detta är så kallad tryckmuddring utan vattentillsats vilket, enligt uppgift, kontrollerat kan utföras under en yta som är täckt med ett skyddande lager. Täckning av botten kombinerad med en långsiktig planering av verksamhetsbehovet, kommer enligt vår uppfattning att leda till optimala lösningar för olika delar av hamnbassängen. Lösningar vilka baseras på ekonomi, resurser och teknik eftersträvas med syfte att uppnå den mest hållbara utvecklingen kombinerat med en kraftigt minskad risk för spridning av föroreningar från hamnområdet.

Referenser

1. Handboken Bygg Geoteknik
2. Vägverket Publ 1994:15 Allmän teknisk beskrivning Jords- hållfasthet och deformationsegenskaper.
3. Bygg Kap 9 Vattenbyggnad 964:52 Olika maskiner för muddring och deras användning.
4. New Methods for Dredging, Discharging and Placing of Contaminated Organic Sediment av Alf Lindmark Geo Sweden, Solcon och J.Martini Möbius Bau-Aktiengesellschaft, Germany.
5. Information från Royal Boskalis Westminster nv