

Vägledning för nyttiggörande av muddermassor i hamn- och anläggningskonstruktioner



Stabilisering och solidifiering
av förorenade muddermassor

Information	Statens geotekniska institut (SGI) 581 93 Linköping
Beställning	SGI Informationstjänsten Tel: 013-20 18 04 E-post: info@swedgeo.se Internet: www.swedgeo.se
ISSN	0281-7578
ISRN	SGI-INF--11/20--SE
Projektnummer SGI	13399
Dnr SGI	1-0706-0414
Upplaga	2000
Tryckeri	Edita Västra Aros AB
Layout och original	Ann Winberg/Idéverkstaden AB
Foto omslaget	Jan Höglund, Cementa AB och Bo Svedberg

Vägledning för nyttiggörande av muddermassor i hamn- och anläggningskonstruktioner

Stabilisering och solidifiering av
förorenade muddermassor



Huvudförfattare till denna rapport har varit Göran Holm, Statens geotekniska institut; Bo Svedberg, Ecoloop AB/Luleå Tekniska Universitet och Kristina Eriksson, COWI (tidigare Ramböll Sverige AB). En central utgångspunkt i arbetet med framtagandet av denna vägledning har varit de arbeten som gjorts i det svensk-norska EUREKA-projektet 4078, *Stabilization/solidification of Contaminated Sediments and Dredged Materials* (STABCON). Projektet har utförts av deltagare från hamnar, entreprenörer, konsulter, institut och materialleverantörer. I den svenska delen av STABCON medverkade Oxelösunds Hamn AB, SSAB Merox AB, CEMENTA AB, Skanska Sverige AB, Ramböll Sverige AB och Ecoloop AB samt Statens geotekniska institut. Deltagarna har tillsammans med Vinnova och Norges Forskningsråd finansierat projektet.



Oxelösunds Hamn AB

MEROX

CEMENTA
HEIDELBERGCEMENT Group



SKANSKA



ecoloop

Innehållsförteckning

Inledning	5
Sammanfattning	6
Förorenade sediment i hamnar och farleder måste muddras	6
Stabiliserings- och solidifieringsmetoden (s/s-metoden)	6
Från idé till färdig hamnanläggning	6
Val av bästa alternativ	7
Val av lämpligaste bindemedel	7
Mass-, pelar- eller processtabilisering	7
Överväg stabiliserings- och solidifieringsmetoden	7
Förorenade sediment i hamnar och farleder	8
Förorenade sediment ett miljöhot	8
Hamnar växer och behöver muddras	8
Handlingsalternativ och kostnader	9
Stabilisering och solidifiering	10
Etablerad metod	10
Nyttiggörande av muddermassor	10
Beständighet – en nyckelfaktor	11
Byggprocessen och s/s-metoden	12
Från idé till färdig hamnanläggning	14
Tids- och kunskapskrävande process	14
Idé och förstudie	14
Utredning, planering och tillståndsansökan	15
Projektering och upphandling	15
Byggande	16
Bruksstadiet – färdig hamnanläggning	17
Val av bästa alternativ	17
Använd lagrummet för att välja bästa möjliga teknik	17
Förbättrat underlag för prövning	18
Förbättrad bild av miljöeffekter	18
Kostnadseffektivitet för projektet och för samhället	19
Val av lämpligaste bindemedel	20
STEG 1 Möjligt att använda s/s-metoden	20
STEG 2 Optimering av bindemedel	23
STEG 3 Avstämning inför produktion	27
Utförande av stabilisering/solidifiering	29
Nyttiggörande i geokonstruktioner	29
Utförandemetoder	29
Hantering av bindemedel	31
Kontroll och uppföljning	32
Funktions- och egenskapskontroll av s/s-behandlade muddermassor	32
Omgivningspåverkan	32
Bibliografi	34
SGI information	39

Inledning

Stora delar av de ytliga sedimenten längs våra kuster och i våra hamnområden är förorenade som en följd av samhällets aktiviteter. När hamnar skall underhållas eller byggas ut behöver förorenade muddermassor ofta omhändertas. Alternativet att tippa dessa muddermassor till havs är normalt inte tillåtet samtidigt som det är mycket kostsamt och resurskrävande att deponera dessa på land. Metoden att stabilisera och solidifiera de förorenade muddermassorna är däremot ett kostnadseffektivt och miljösamt alternativ som innebär att materialet kan nyttiggöras i hamn- och anläggningskonstruktioner.

Denna vägledning riktar sig till intressenter och sakkunniga hos hamnar och miljömyndigheter, konsulter och entreprenörer. En central utgångspunkt i arbetet med framtagandet av denna vägledning har varit de arbeten som gjorts i det svensk-norska EUREKA-projektet (Nr 4078) *Stabilization/*

solidification of Contaminated Sediments and Dredged Materials (STABCON).

Vägledningen är indelad i tre huvuddelar. Den första delen ger en sammanfattande bild som vänder sig till alla läsare och omfattar sidorna 6 till 7.

Andra delen, på sidorna 8 till 13, ger läsaren en introduktion till förorenade sediment och stabiliserings- och solidifieringsmetoden (s/s-metoden), och en sammanställning av viktiga aspekter att beakta i muddringsprojekt och vid användning av metoden.

I den sista delen, sidorna 14 till 33, som huvudsakligen vänder sig till sakkunniga, beskrivs erfarenheter avseende praktisk tillämpning från idé till färdig hamnanläggning.

Oxelösund oktober 2011

Projektet STABCON genom

Göran Holm, Bo Svedberg och Kristina Eriksson

Stabilisering och solidifiering, s/s-metoden

Stabilization/solidification of Contaminated Sediments and Dredged Materials

STABCON är ett norsk-svenskt EUREKA*-projekt (Nr 4078). Projektets syfte är att utveckla och ta fram stöd för en praktisk användning av stabiliserings- och solidifieringsmetoden för hantering av förorenade muddermassor. Projektet har genomförts med deltagare från hamnar, entreprenörer, konsulter, institut och materialleverantörer. Flera hamnar i Norge och Sverige har medverkat i projektet. En viktig del av arbetet i den svenska delen har varit de provtagningar, studier och storskaliga tester som gjorts i Oxelösunds hamn. Deltagarna har tillsammans med Vinnova och Norges Forskningsråd finansierat projektet. Ytterligare information och underlag kring STABCON finns på www.stabcon.com och www.stabilgrunn.no.

* EUREKA är ett samarbetsnätverk med 39 medlemsländer. Det har skapats för att främja samarbete mellan företag och forskare i Europa när det gäller marknadsnära forskning och teknisk utveckling.

Sammanfattning

Denna vägledning vänder sig till hamnar, miljömyndigheter, konsulter och entreprenörer som skall hantera, eller ger tillstånd för hantering av, förorenade muddermassor. Vägledningen beskriver förutsättningar för användning av stabiliserings- och solidifieringsmetoden (s/s-metoden), en metod som kan reducera den platsspecifika miljöpåverkan, minska användningen av ändliga naturresurser och energi och samtidigt vara klimat- och kostnads-effektiv.

Vägledningen är en del av det svensk-norska EUREKA-projektet *Stabilization/solidification of Contaminated Sediments and Dredged Materials* (STABCON). Syftet med projektet har varit att vidareutveckla metoden och att ta fram praktiskt användbart stöd för användning av s/s-metoden i Sverige och Norge. Projektet STABCON har tagit utgångspunkt i de arbeten som gjorts i Oxelösunds hamn och kompletterat med erfarenheter från andra hamnar i Norden. Deltagare från hamnar, entreprenörer, konsulter, institut och materialleverantörer har medverkat i projektet. Tillsammans med Vinnova och Norges Forskningsråd har de finansierat projektet. Mer information och underlagsmaterial finns på www.stabcon.com och www.stabilgrunn.no.

Förorenade sediment i hamnar och farleder måste muddras

Utmed Sveriges kuster, i hamnar och älvmyrningar är botten sedimenten ofta förorenade. Sedimentens geotekniska egenskaper och innehåll av föroreningar varierar. De innehåller ofta tungmetaller såsom bly (Pb), kvicksilver (Hg) och organiska miljögifter som polyaromatiska kolväten (PAH), tributyltenn (TBT) och polyklorerade bifenyler (PCB). Samtidigt växer transportsystemet till sjöss och fartygen blir allt större varför hamnarna behöver muddras.

Bara i Sverige förväntas att cirka 14 miljoner kubikmeter kommer att muddras de närmaste åren. Av dessa är minst 2,5 miljoner kubikmeter förorenade sediment. Ett kompletterande alternativ till deponering på land, utfyllnad eller tippning till havs är att stabilisera och solidifiera muddermassor och

använda dem på plats. I denna vägledning används begreppen förorenade sediment och muddermassor, där muddermassor avser uppmuddrade sediment.

Stabiliserings- och solidifieringsmetoden (s/s-metoden)

Metoden att stabilisera och solidifiera muddermassor, ger hamnar ett ytterligare alternativ att hantera förorenade muddermassor. Metoden använder robust teknik där bindemedel blandas med muddermassor så att en tät och hållfast monolit skapas som förhindrar spridning av föroreningar. Därigenom kan de nyttiggöras som konstruktions- och fyllningsmaterial för olika typer av ytor eller andra byggnadsändamål i hamnar.

Normalt är cement och granulerad mald masugns-slagg lämpliga komponenter i ett bindemedel. Även tillsatsmedel kan bli aktuella i enskilda fall för att hantera olika typer av föroreningar. Bindemedlet står för en stor del av kostnaden för metoden samtidigt som det ger en kostnadseffektiv lösning som helhet. I alla skeden, från idé till färdig hamnanläggning, är det viktigt att påbörja de tidskrävande laboratorieundersökningarna. Inför framtagandet av tillstånds-ansökan åtgår 4 till 6 månader och för detaljprojektering mellan 6 och 10 månader för provtagning, undersökning och analys på laboratorium.

Från idé till färdig hamnanläggning

För att nå en framgångsrik användning av s/s-metoden krävs både planering och god framförhållning. Varje projekt är unikt och en plan som visar åtgärderna från förstudie och tillståndprocess, till utformning och utförande behöver tas fram. Inledningsvis är det viktigt att jämföra olika hanteringsalternativ för att möta platsspecifika geotekniska och miljömässiga krav. Det är också av stor betydelse att miljömyndigheter och nyckelaktörer tidigt blir delaktiga i processen.

I STABCON har olika belastningsfall studerats och förslag getts på utformning av typlösningar för

hamnkonstruktioner. Vid projektering är det viktigt att beakta att de s/s-behandlade massorna skall placeras under frosthärdig nivå eller på annat sätt skyddas mot frysning samt ligga under havsvattennivå såvida inte en särskild utredning påvisar annat. Kontroll och uppföljning ingår i alla skeden från idé till färdig hamnanläggning och skall anpassas efter lokala förutsättningar. En kontrollplan för verifiering av ställda krav skall upprättas och den bör omfatta både de behandlade muddermassorna som sådana och konstruktionsens omgivningspåverkan.

Val av bästa alternativ

Genom att ställa olika hanteringsalternativ mot varandra med avseende på miljömässiga och ekonomiska konsekvenser tydliggörs alternativens för- och nackdelar. Detta ger en bredare bild än att enbart fokusera på ett alternativ och underlättar de beslut som hamnar och tillståndsmyndigheter behöver ta. Som stöd för sådana jämförelser har projektet STABCON utvecklat ett beslutsstödsverktyg i linje med miljöbalkens intentioner. I Oxelösunds hamns fall har utredningar påvisat att användningen av s/s-metoden, förutom ekonomiska fördelar och en begränsad platsspecifik miljöpåverkan, ger uppenbara fördelar ur ett naturresurs- och klimatperspektiv.

Val av lämpligaste bindemedel

I varje enskilt projekt behöver en lämplig blandning av bindemedel och muddermassa tas fram. STABCON har tagit fram program för laborativa arbeten i tre steg. I varje projekt tas en objektspecifik kravspecifikation fram som detaljeras underhand. I *Steg 1* undersöks sedimentens geotekniska egenskaper och innehåll av föroreningar och en första bedömning av möjligheten att använda s/s-metoden görs baserad på erfarenheter och inledande laboratorieundersökningar av provkroppar.

En fördjupad laboratoriestudie utförs i *Steg 2* för att ge ett bättre underlag för optimering av bindemedel genom en fördjupad undersökning av egenskaper förknippade med hållfasthet, permeabilitet, lakningsegenskaper och beständighet.

I *Steg 3* görs undersökningar i anslutning till genomförande av produktionstest i fält med syfte att göra en detaljplanering inför utförande och produktion av stabiliserade och solidifierade muddermassor. I detta steg sker också en avstämning mot tidigare bedömningar.

Mass-, pelar- eller processtabilisering

Redan i tidiga skeden är det mycket viktigt att utreda förutsättningarna för utförandeteknik och bestämma sig för lämpligaste entreprenadform för arbeten. De tekniker som används för inblandning av bindemedel och muddermassor är mass-, pelar- eller processtabilisering. Mass- och pelarstabilisering utförs genom inblandning av bindemedel i massor som lagts på avsedd plats i konstruktionen och är normalt aktuell vid mindre volymer. Vid processtabilisering tillsätts bindemedlet till muddermassorna i en blandningsstation varefter massorna läggs ut på den plats där de skall användas. Processtabilisering är normalt lämplig vid stora volymer muddermassor.

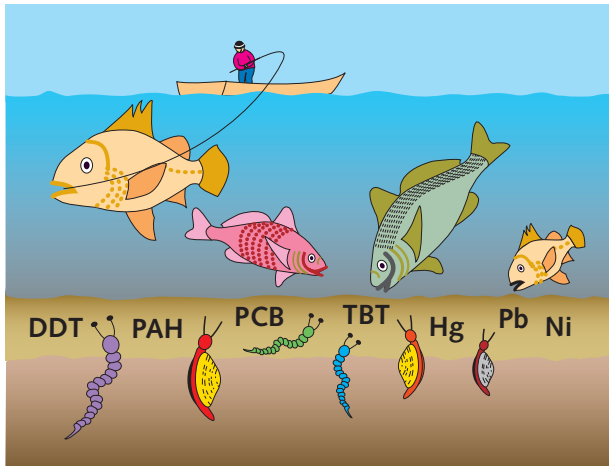
Tillverkning av bindemedlet kan göras genom att komponenterna blandas samman direkt vid inblandningen i muddermassorna eller vid en fast anläggning placerad vid en bindemedelsdepå eller med en mobil anläggning placerad vid stabiliseringsobjektet. I samband med hantering av bindemedel skall alltid en riskanalys göras där risker förknippade med bland annat anläggningar, maskiner, transportfordon och materialtillgång beaktas.

Överväg stabiliserings- och solidifieringsmetoden

Det svensk-norska projektet STABCON har gett kunskaper och erfarenheter som sammanfattats i denna vägledning och i det underlag som tagits fram inom projektet. Stabiliserings- och solidifieringsmetoden har redan använts i flera projekt i Sverige, Norden och i andra länder. Exempel finns i hamnar som Nordsjö hamn, Åbo hamn och Trondheims hamn och i kommuner som Hammerfest, Bærum och Västervik och Stockholms stad. I dag utreds också möjligheten att använda metoden i flera andra hamnar i Sverige och runt Östersjön. Gemensamt för dessa aktörer är att de tidigt tagit med s/s-metoden som ett alternativ för hantering av muddermassor i sin planering.

STABCON-projektet har lagt grunden till att fler aktörer använder metoden att stabilisera och solidifiera förorenade muddermassor. Därmed har en metod introducerats som kan reducera den platsspecifika miljöpåverkan, minska användningen av ändliga naturresurser och energi och samtidigt vara klimat- och kostnadseffektiv vid hantering av förorenade muddermassor.

Förorenade sediment i hamnar och farleder



Förorenade sediment ett miljöhot

Utmed Sveriges kustband och i älvmynningar har under årens lopp miljögifter ansamlats i botten-sedimenten. Föroreningarna härrör från både industrier, städers dagvatten och annan mänsklig verksamhet. Bottensedimenten innehåller således en blandning av oorganiska ämnen som kvicksilver (Hg), bly (Pb), nickel (Ni) och organiska ämnen som tributyltenn (TBT), polyaromatiska kolväten (PAH) och polyklorerade bifenyl (PCB).

Föroreningarna påverkar främst bottenlevande djur och växter. Då dessa utgör föda för fisk och skaldjur kan i förlängningen även människor drabbas. Föroreningar binds oftast till finpartikulärt material eller stannar i vattenfasen. Vågrörelser och havsströmmar kan därför lätt föra dem med sig så att gifterna sprids okontrollerat till andra områden där levande organismer också kan exponeras. De förorenade sedimenten utgör därmed ett allvarligt hot mot människa och miljö.

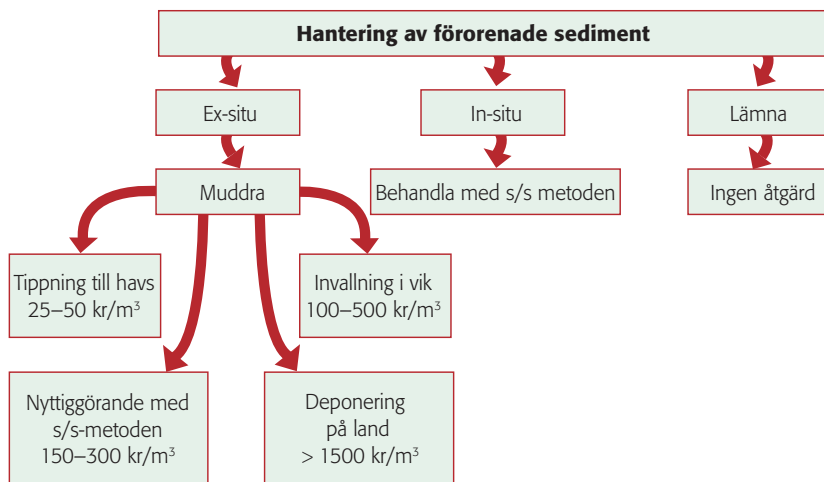


Foto: Jan Höglund

Hamnar växer och behöver muddras

Sjöfart är ett effektivt och energisnålt transportmedel. I dag sker en mycket stor del av Sveriges utrikeshandel med fartygstransporter. Trafiken i svenska hamnar har sedan 1970-talet stadigt ökat och allt mer gods hanteras varje år. Verksamheten behöver utökas i de svenska hamnarna, både med hänsyn till större och mer djupgående fartyg samt för att ytor behövs för effektiv lastning och lossning. Igenslamning av hamnbassänger och landhöjning leder också till att kontinuerlig underhållsmuddring behövs i flera hamnar. Under de närmsta åren (från 2010) kommer cirka 14 miljoner kubikmeter

massor att muddras enbart i svenska hamnbassänger varav minst 2,5 miljoner kubikmeter är förorenade sediment.



Handlingsalternativ och kostnader

Muddermassor tippas vanligen till havs. Denna hantering är mycket kostnadseffektiv för rena massor. Att tippa förorenade massor är dock mycket kontroversiellt och svårt att få acceptans för i en hotad havsmiljö. Andra alternativ att hantera förorenade muddermassor är deponering på land eller genom utfyllnader i havsvikar med tillhörande arrangemang av skyddsbarriärer som täta skikt för att förhindra spridning av föroreningar. Dessa lösningar tar stora land- respektive kustarealer i anspråk och är många gånger kostsamma och de ytor som etableras kan sällan användas för kvalificerade ändamål.

Ytterligare ett alternativ att hantera förorenade

muddermassor är att stabilisera och solidifiera dessa. Den så kallade stabiliserings- och solidifieringsmetoden (s/s-metoden) ökar hållfastheten hos massorna genom inblandning av bindemedel och på så sätt kan de användas som konstruktionsmaterial samtidigt som miljögifter fastläggs. I ett investeringsperspektiv är s/s-metoden en kostnadsmässig medelväg, dyrare än tippning till havs men betydligt billigare än alternativet deponering på land. Miljöekonomiska beräkningar genomförda i STABCON indikerar att alternativet att använda materialet i hamnkonstruktioner är kostnadseffektivt i ett nationellt och globalt perspektiv.

Stabilisering och solidifiering



	Norge	Sverige	Finland
G	Bærum	Stockholm	Helsingfors
U	Gilhus	G Hammarby sjöstad	G Sörnäns strand
U	Grenland	G Västra Kungsholmen	G Hamina hamn
U	Bergen	T Oxelösunds hamn	G Fredrikshamn
G	Trondheims hamn	G Västervik/Örserumsviken	G Mariehamn, Kaj 6
G	Hammerfest	U Oskarshamn	G Åbo hamn
		U Falkenbergs hamn	T Kokkola hamn
		U Göteborgs hamn	
		T Gävle hamn	
		U Örnköldsviks hamn	
		T Valdemarsvik	

Rådande läge 2010: U = Utredd G = Genomfört T = Tillstånd

Etablerad metod

Stabiliserings- och solidifieringsmetoden (s/s-metoden) är en robust metod där blandningen av bindemedel och muddermassor binder föroreningar samtidigt som materialets hållfasthet ökar. Modifiering av lösa jordar genom inblandning av bindemedel har tillämpats i Sverige i mer än 40 år för att förbättra geotekniska egenskaper, och på senare tid också för att fastlägga föroreningar. Tekniken används ofta vid byggande av vägar och järnvägar i stället för andra jordförstärkningsmetoder (till exempel utskiftning och återfyllning, förbelastning/vertikaldränering och lättfyllnad). I USA och Storbritannien har s/s-metoden tillämpats för att hantera förorenade sediment i mer än 15 år. Inom ramen för USA:s så kallade Superfund program för efterbehandling av förorenade områden har metoden använts i ungefär en femtedel av projekten och både oorganiska och organiska föroreningar har fastlagts (immobiliserats), exempelvis i New Yorks hamn.

Stabilisering och solidifiering, s/s-metoden

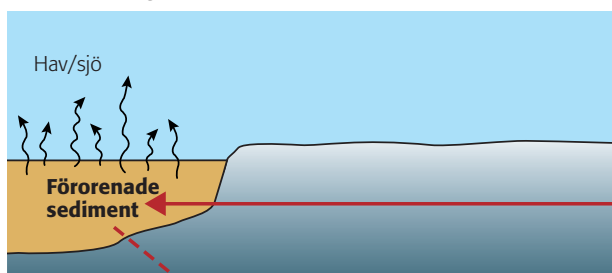
Stabiliserings- och solidifieringsmetoden är en metod som syftar till att begränsa föroreningars mobilitet och förbättra geotekniska egenskaper hos förorenade muddermassor genom inblandning av bindemedel. Vid stabilisering och solidifiering sker en kemisk fastläggning och omvandling av föroreningarna samtidigt som det sker en fysikalisk omvandling som minskar materialets genomsläpplighet (permeabilitet), reducerar innehållet av fritt vatten, ökar hållfastheten och förbättrar dess deformationsegenskaper. s/s-metoden möjliggör därför att ett förorenat materials farlighet reduceras och dessutom att muddermassorna kan nyttiggöras som byggnadsmaterial i hamn- och anläggningskonstruktioner.

Nyttiggörande av muddermassor

Genom s/s-metoden kan de behandlade muddermassorna nyttiggöras som en bärande del i kajkonstruktioner och i kör- och uppställningsytor inom hamnområden. När massorna används som konstruktionsmaterial minskar dessutom behovet att anlägga skyddsbarriärer. En väl byggd invallning eller deponi kan också



Före muddring



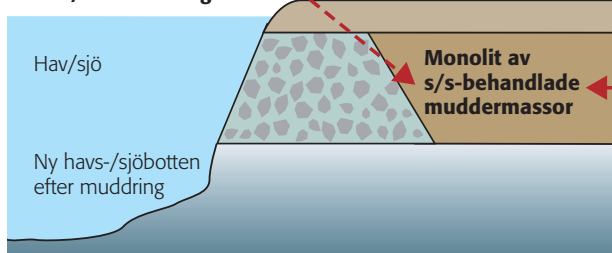
förhindra oönskad spridning av föroreningar, men den kräver olika former av skyddsbarriärer (till exempel tätskikt). Nyttiggörande av de s/s-behandlade massorna för byggnadsändamål reducerar också behovet av andra byggnadsmaterial och transporter vilket innebär minskad energianvändning och reducerade växthusgasutsläpp. Det finns alltså tydliga fördelar med s/s-metoden. Det är också viktigt att betona att metodens lämplighet måste utredas från fall till fall då förutsättningarna vanligen varierar mycket med avseende på till exempel; föroreningsmatris, sedimentens egenskaper och krav förknippade med den planerade anläggningen där det s/s-behandlade materialet skall användas.

Beständighet – en nyckelfaktor

Beständighet beskriver en konstruktions förmåga att bibehålla avsedd funktion över ett långt tidsperspektiv. Både inre och yttre faktorer, enskilt och i samverkan, påverkar beständigheten hos s/s-behandlade muddermassor. Med inre faktorer åsyftas kemiska mekanismer som kan bryta ner monolitens föroreningsbindning och struktur och därmed riskera att hållfastheten reduceras och permeabiliteten ökas. Med yttre faktorer avses till exempel klimatpåverkan, höjning/sänkning av yt- och grundvattennivåer samt påverkan av frys- och töcykler eller olyckslaster.

- Turbiditet/bioturbiditet hög
- Stor lakningsyta per m² sediment
- Förekomst i kontakt med ytvatten
- Erosion

Efter s/s-behandling



- Ingen turbiditet/ingen bioturbiditet
- Begränsad lakningsyta/monolit
- Föroreningarna immobiliserade
- Ingen direkt kontakt med ytvatten
- Låg permeabilitet
- Hög hållfasthet

Metoden att stabilisera och solidifiera förorenade muddermassor innebär att föroreningarna immobiliseras och en tät, hållfast monolit skapas, vilken lokaliserar till frosthärdig nivå och i vattenmättade förhållanden, vilket i sin tur leder till att föroreningarna kommer i stabila förhållanden. Härigenom skapas förutsättningar för god beständighet. Skyddsbarriärer bör anordnas med till exempel sponter, sprängstensvallar och en överbyggnad med dräneringssystem som kan reducera yttre påverkan som exempelvis erosion, nötning och påkörning samt inverkan av regnvatten.

Byggprocessen och s/s-metoden

På detta uppslag ges en övergripande bild av nyckelfrågor relaterade till olika skeden i muddringsprojekt och vid användning av s/s-metoden för hantering av förorenade muddermassor. Tabellen är tänkt att användas som stöd i muddringsprojekt och speciellt delen avseende s/s-metoden förklaras sedan närmare.

Skede	Viktigt att beakta vid muddringsprojekt
Behov, idé (behov av att muddra för underhåll och/eller fördjupa/bygga ut hamn)	■ Undersök behovet av muddring, genomför provtagning och karaktärisering av sediment. ■ Överväg s/s-metoden för nyttiggörande av muddermassor. ■ Inkludera miljömyndigheter, identifiera lagkrav och nästa steg i den formella processen.
Förstudie (vilka är huvudalternativen och val av inriktning på hantering)	■ Identifiera tidsramar, aktörer att samråda med och behov av underlag. ■ Skissa på hamnkonstruktionen och nya hamnytor. ■ Jämför alternativen i ett helhetsperspektiv (ekonomi, ekologi, sociala aspekter), välj huvudalternativ för hantering av muddermassor. ■ Överväg entreprenadformer för utförandet.
Utredning, planering och tillstånd (ett alternativt valt, utredning av detta inför att söka tillstånd)	■ Samråd med myndigheter och intressenter utifrån ett helhetsperspektiv. ■ Förprojektering dokumenteras i tekniska beskrivningar. ■ Ansökningshandlingar, MKB och samhällsekonomiska analyser tas fram.
<i>Förhandlingar</i>	■ Argumentera med stöd i miljölagstiftningen, jämför den valda lösningen med alternativ utifrån ekonomi-, ekologi- och sociala aspekter.
<i>Tillstånd erhålls</i>	<i>Överväg fortsättning. Beakta eventuella krav i tillståndet.</i>
Projektering och upphandling (underlag för upphandling och byggande)	■ Bestäm jordprofilen där de s/s-behandlade massorna skall användas i detalj. ■ Bestäm omfattningen av förorenade sediment närmare. ■ Välj entreprenadform, projektera. ■ Påbörja provtagning och laboratoriearbeten snarast möjligt. ■ Egenkontroll, utforma kontroll- och uppföljningsprogram.
<i>Upphandling</i>	<i>Utse entreprenör</i>
Byggande (byggande, ev. alternativa utförandemetoder och tekniklösningar)	■ Sök erforderliga tillstånd för provmuddring och test av produktionsmetod. ■ Genomför provmuddring och produktionstest (blandning muddermassor och bindemedel) som underlag för detaljplanering av utförandet. ■ Val av muddrings-, utförandemetod och slutlig dimensionering baserat på ett test av produktionsmetod. ■ Kontrollplan för utförandemetod. ■ Utförande
Bruksstadiet (drift)	■ Fortsatt kontroll, recipientkontroll

Att tänka på vid användning av s/s-metoden

- Hur skulle s/s-behandlade massor kunna nyttiggöras?
- Använd befintlig kunskap och erfarenheter, se t.ex. www.stabcon.com, www.stabilgrunn.no och www.smocs.eu
- Betänk att situationen varierar från objekt till objekt.

- Skissa på tekniklösningar (t.ex. spontkaj/pålkaj med sprängstensvall/invallat område).
- Konstruktionen utformas så att den skyddas mot frysning och förläggs i anaeroba förhållanden.
- Identifiera potentionella bindemedelskomponenter.

- Ta fram en första kravspecifikation.
- Påbörja snarast möjligt laboratorieundersökningar.
Steg 1 – Möjligt att använda s/s-metoden, sidan 20. Hållfasthet och lakningsegenskaper bestäms på laboratorietillverkade provkroppar.
- Principiell utformning, dimensionering och miljöriskbedömning av konstruktionen.
- Inkludera exempel/förslag på bindemedel i tillståndsansökan.

- Använd framkomna resultat och erfarenheter från tidigare projekt och domar (MD; MÖD).

Planera för provtagning och laboriearbeten

- Preciserar kravspecifikationen avseende de s/s-behandlade muddermassorna. Genomför laboratorieundersökningar
Steg 2 – Optimering av bindemedel, sidan 23. Bestäm hållfasthet, permeabilitet och lakegenskaper hos s/s-behandlade sediment, verifiera beständighet.
- Utformning, dimensionering och miljöriskbedömning av vald tekniklösning.
- Etablera detaljerad kravspecifikation.
- Förslag på utförande (inkl. hantering av muddermassor och bindemedel).
- Kontrollprogram omfattande konstruktionen och omgivningspåverkan.

- Avstämning inför produktion av gjorda bedömningar baserade på resultat från provtagning i fält och i laboratieförsök.
Steg 3 – Avstämning inför produktion, sidan 27. Ingår att bestämma hållfasthet, permeabilitet och lakningsegenskaper samt konstruktionens beteende (t.ex. vattenanalyser, grumling).
- Hantering av bindemedelskomponenter.
- Homogenitet mycket viktigt – god styrning/uppföljning av inblandning av bindemedel och tillhörande kontroll.

- Eventuell fortsatt kontroll och uppföljning, t.ex. avseende omgivningspåverkan i den marina miljön och konstruktionens deformationer.

Från idé till färdig hamnanläggning

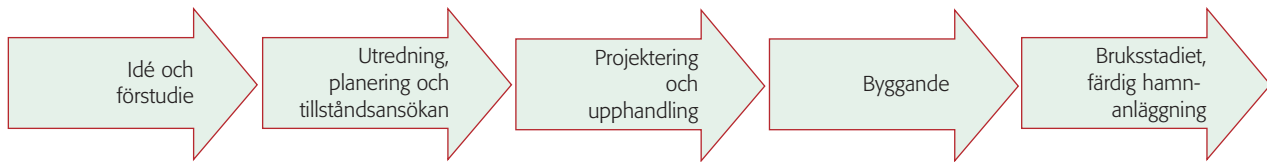


Bild 1. Olika skeden, från idé till färdig hamnanläggning.

Tids- och kunskapskrävande process

För att nå framgång med stabiliserings- och solidifieringsmetoden (s/s-metoden) krävs god planering, tid och tidig förankring hos nyckelaktörer. Varje projekt är unikt och val av bindemedelsrecept och utförandemetodik behöver anpassas till aktuella förhållanden och krav i varje enskilt fall. Det är också viktigt att tidigt engagera miljömyndigheter i processen och överväga de olika huvudalternativens för- och nackdelar i linje med miljöbalkens intentioner. Processen från det att behovet uppstår till dess att projektet är genomfört och hamnanläggningen kan driftsättas och tas i bruk indelas i flera steg, se *Bild 1*.

Idé och förstudie

När behovet att muddra uppstår är det viktigt att samla information om de massor som skall muddras, bedöma omfattning i plan, djup och volymer samt sedimentens karaktäristiska egenskaper. Som underlag för arbeten oavsett alternativ, karaktäriseras först sedimentens grundläggande geotekniska egenskaper, dess innehåll av föroreningar och utbredning i plan och mäktighet, topografi etc, se till exempel HEL-COM (2007). Då bindemedel utgör en viktig del i s/s-metoden rekommenderas också att potentiella bindemedelskomponenter identifieras i detta skede.

Därefter kan förstudien fortsätta med en undersökning av vilket hanteringsalternativ som kan betraktas som det bästa. Detta görs genom en jämförelse av alternativ som exempelvis tippning till havs, deponering på land och nyttiggörande i hamnkonstruktion med s/s-metoden. I STABCON har ett verktyg

Bild 2. Det är viktigt att tidigt engagera nyckelaktörer för planering av tillståndprocessen.



Foto: Gerdt Lundberg

utvecklats som ger hamnar stöd för denna jämförelse och underlag för val av hantering. Verktöget tar sin utgångspunkt i miljöbalkens portalparagrafer, hänsynsregler och en dialog med nyckelaktörer. Det möjliggör en kvantitativ jämförelse av olika miljöeffekter som platsspecifik och regional/global miljöpåverkan samt ekonomiska och sociala aspekter, mer om detta i avsnitt *Val av bästa alternativ* på sidan 17.

Användning av stabiliserade och solidifierade muddermassor för konstruktionsändamål inom vattenområden omfattas bland annat av reglerna för vattenverksamhet och skall tillståndsprövas enligt miljöbalken. Det rekommenderas därför att miljömyndigheter kopplas in tidigt, redan innan en förstudie inleds om möjligt, för att i samråd med myndigheter, diskutera vilka tillstånd som krävs och hur samråd skall genomföras, se *Bild 2*.

Utredning, planering och tillståndsansökan

När beslut har fattats om vilket huvudalternativ som skall förordas för hanteringen av massorna genomförs utredning och planering för en eller flera tillståndsansökningar. Det är också bra att, redan i detta skede, fundera igenom gränsdragningar mellan beställare och entreprenör och lämplig entreprenadform.

Inom ramen för en tillståndsansökan skall bland annat ingå en teknisk beskrivning och en miljökonsekvensbeskrivning (MKB) som tas fram parallellt med en samrådsprocess. Genom att använda det verktyg som föreslagits i STABCON för jämförelser mellan olika alternativ kan sökanden föra en bredare argumentation i dialogen med tillståndsgivande myndighet och i samrådsprocessen med andra aktörer.

I detta skede görs en närmare bedömning om s/s-metoden är lämplig. Detta görs genom att i laboratorium bestämma hållfasthetsegenskaper och utlakningspotential genom inblandningsförsök där de förorenade sedimenten blandas med bindemedel. STABCON har föreslagit ett grundprogram för dessa undersökningar, se avsnitt *Steg 1 – Möjligt att använda s/s-metoden* på sidan 20.

När s/s-metoden bedömts som lämplig och valts som huvudalternativ bör ett detaljerat förslag tas fram på utformning av den anläggning där massorna skall användas. Förslaget dokumenteras vanligen i den tekniska beskrivningen. I mer komplexa fall kan det också vara aktuellt att närmare utreda muddringens omfattning, att utföra ytterligare karaktärisering av de förorenade sedimenten och att göra mer omfattande laboratorieundersökningar.

Miljömyndigheter i Sverige och andra länder har

gett tillstånd att använda s/s-metoden i flera fall. Eftersom varje projekt har unika förutsättningar varierar också villkoren i de tillstånd som erhållits. Gemensamt för dessa villkor är att de vanligen avser olika försiktighetsmått som kontroll och uppföljning av utförandet och av den färdiga konstruktionen som sådan samt dess eventuella påverkan på omgivningen.

Exempel på miljödomar

- Dom meddelad i Östersund, sökande Gävle Lagerhus AB.
Mål Nr: M 2543-07. Meddelad 2008-06-25.
Gävle domen 4
- Dom meddelad i Växjö, sökande Oskarshamn Hamn AB.
Mål Nr: M 3187-03. Meddelad 2009-04-23.
Oskarshamns domen
- Dom meddelad i Nacka Strand, sökande Oxelösunds Hamn AB.
Mål Nr: M 1532-07. Meddelad 2008-01-24.
Oxelösunds domen
- Dom beslutad av Östersunds sökande SCA Timber AB.
Mål Nr: M 1338-01. Meddelade 2008-06-18.
Östersunds domen

Projektering och upphandling

Då ett tillstånd erhållits kan projektering och upphandling av entreprenör för byggande av hamnkonstruktionen inledas. STABCON har tagit fram ett antal principlösningar där de stabiliserade och solidifierade massorna används i olika typer av kajkonstruktioner i hamnområdet. För att säkerställa att konstruktionen uppnår den avsedda funktionen och att påverkan på omgivningen är acceptabel upprättas ett program för kontroll och uppföljning i linje med de krav på egenkontroll som ställs. I programmet beaktas även eventuella krav på kontroll i det tillstånd som erhållits.

De tekniska kraven på den tänkta konstruktionen skall kopplas till områdets tänkta användning, som krav på stabilitet, deformation och beständighet samt krav på permeabilitet och utlakningsegenskaper som beror på bindemedel, sedimenttyp, förorening och andra platsspecifika förutsättningar. Även yttre faktorer är viktiga att identifiera för den avsedda användningen, exempelvis vattenstånd, frostfritt djup, vittring/erosion, kemiska förhållanden och eventuella olyckslaster.

I detta skede utförs laboratieförsök för att närmare bestämma egenskaper hos stabiliserade och

solidifierade provkroppar och optimera blandningen av bindemedel och muddermassa. STABCON har tagit fram program för dessa arbeten, se avsnitt *Steg 2 – Optimering av bindemedel* på sidan 23. Det laborativa arbetet är omfattande. Tester sker på flera serier av provkroppar med olika bindemedelsrecept och bindemedelsmängder vid olika tidpunkter. Detta arbete tar ofta lång tid – från fördjupad kartering av föroreningsituationen, provtagning, tillverkning av provkroppar, till att de testas på laboratorium – varför det är viktigt att starta planering och genomförande av undersökningar tidigt.

Tips inför projektering

- Vilka geotekniska och miljömässiga krav är ställda på ytan och den blivande monoliten av s/s-behandlade muddermassor?
- Hur stora volymer skall s/s-behandlas? Kommer det vara aktuellt att s/s-behandla muddermassorna med mass-, pelar- eller processtabilisering?
- Hur skall sedimenten muddras?
- Vilket djup har bassängen som skall inrymma de s/s-behandlade massorna?
- Vilka komponenter skall ingå i bindemedlet och hur skall dessa blandas/förvaras/transporteras till plats?

Byggande

Inblandning av bindemedel i muddermassor kan utföras på olika sätt genom mass-, pelar- eller processtabilisering, se *Bild 3*. Den typ av utrustning som aktualiseras beror på aktuella förutsättningar. För stora djup och små volymer kan pelarstabilisering vara ett

alternativ. För mindre djup (< 5 meter) och små volymer kan masstabilisering vara aktuell. För en rationell och kostnadseffektiv produktionsprocess för stora volymer bör så kallad processtabilisering tillämpas.

Det är också viktigt att balansera muddringskapacitet med lämplig utförandemetod. De olika typerna av projekt, stora och små, gör att god eftertanke skall läggas vid val av entreprenadform för projektets genomförande och styrning. För större och mer komplicerade projekt kan det till exempel vara aktuellt med så kallad partnering eller turn-key lösning.

I både mindre och större projekt är planering för hantering av muddermassor och bindemedel alltid viktigt. Bindemedel skall normalt skyddas från vatten, damning skall reduceras samtidigt som muddermassans kvalitet skall vara optimal. Detta ställer stora krav på både lagring och distribution av bindemedel samt muddring och transport av muddermassor.

Utförandeskedet inleds med planering och genomförande av tester för tillverkning av det stabiliserade och solidifierade materialet. Syftet med denna produktionsplanering är att anpassa utrustning och maskiner, att optimera utförandeprocessen samt att ta fram ett program för kvalitetssäkring av utförandet som sådant. Produktionstest (benämns ofta fältförsök) utförs i full skala, muddring sker och massor behandlas med den planerade tekniken.

Beakta att dylika produktionstester vanligen kräver tillstånd för genomförandet och att detta är en process som i sig tar tid. I försöken utförs också kontroll och uppföljning för avstämning av tidigare resultat och dimensionering. STABCON har tagit fram program för arbeten i detta steg, se avsnittet *Steg 3 – Avstämning inför produktion* på sidan 27. Kontroll genomförs också vanligen i omgivningen genom till exempel analyser av yt- och grundvatten i recipienten.

Bild 3. Inblandning av bindemedel i muddermassor genom (från vänster) mass-, pelar- och processtabilisering.



Foto: Cementa AB



Foto: Cementa AB



Foto: Bo Svedberg



Bild 4. Trondheims hamn har använt s/s-metoden för att skapa en del hamnytor.

Viktigt!

Det är viktigt att blandningen av muddermassor och bindemedel blir homogen. Stora krav ställs därför på styrning och kontroll av utförandet. STABCON har tagit fram ett förslag på program för provtagning och laborativa arbeten i detta skede, se avsnitt *Steg 3 – Avstämning inför produktion*.

Bruksstadiet – färdig hamnanläggning

När hamnkonstruktionen är byggd och driftsatt inleds kontroll och uppföljning. I detta ingår bland annat uppföljning av den stabiliserade och solidifierade monoliten samt av konstruktionen som helhet såväl som dess påverkan på omgivningen, så kallad recipientkontroll. Både geotekniska och miljömässiga egenskaper följs upp, dokumenteras och stäms av mot de gällande förutsättningarna med lämplig periodicitet. I Trondheims hamn har s/s-metoden använts, se *Bild 4*.

Val av bästa alternativ

När idén eller behovet av att muddra uppstått finns olika huvudalternativ för hantering av de förorenade muddermassorna. Alternativen kan till exempel vara deponering på land, utfyllnad i havsvik, nyttiggörande genom s/s-metoden. Att tippa förorenade muddermassor till havs är i dag inte ett normalt genomförbart alternativ även om enstaka exempel på dispens finns.

Använd lagrummet för att välja bästa möjliga teknik

I miljöbalkens Kap. 1, Portalparagraferna § 1 anges att balken bland annat skall tillämpas så att ”återanvändning och återvinning liksom annan hushållning med material, råvaror och energi främjas så att ett kretslopp uppnås.” I miljöbalkens Kap. 2, De allmänna hänsynsreglerna, framhålls bland annat ”hushållning med resurser”. Skydd av människors hälsa och miljö skall alltså beaktas tillsammans med energi och resursaspekter.

Enligt svensk rättstillämpning skall en bedömning göras för vad som är ”bästa möjliga teknik” (BMT) i ett specifikt fall. Skulle ett alternativ, till exempel s/s-metoden, visa sig vara det bästa alternativet efter att en helhetsbedömning har gjorts i det specifika fallet finns inget hinder för att referera till metoden som BMT och dessutom hänvisa till direktivet om ”Samordnade åtgärder för att förebygga och begränsa föroreningar” (IPPC-direktivet), 2008/1/EG, definition av ”Best Available Technology” (BAT).

Att avfall skall omhändertas som en resurs stöds ytterligare av ramdirektivet för avfall, 2008/98/EG, där stor vikt läggs vid avfallsåtervinning. Således belyses vikten av återvinning och resurshållning och bortskaffande bör endast accepteras i de fall som andra alternativ är omöjliga. Ramdirektivet ställer även uttryckliga krav på medlemsstaterna att främja återanvändning och materialåtervinning för att på sikt uppnå ett återvinningssamhälle, se artikel 10 och 11 i 2008/98/EG.

Hållbarhetskriterier:

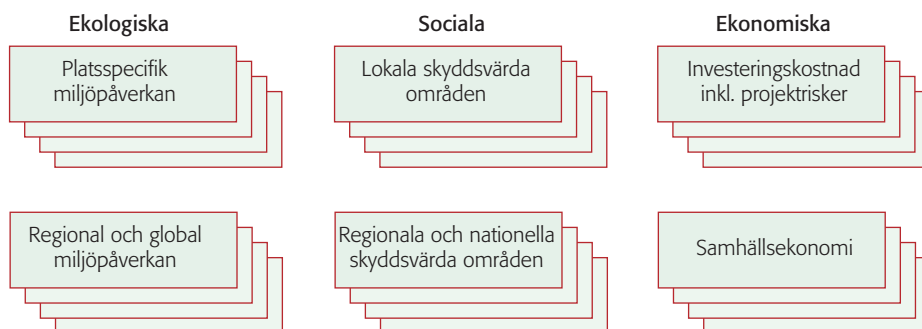


Bild 5. Figuren visar de kriterier som användes för att jämföra olika handlingsalternativ på Stegeludden, Oxelösunds hamn.

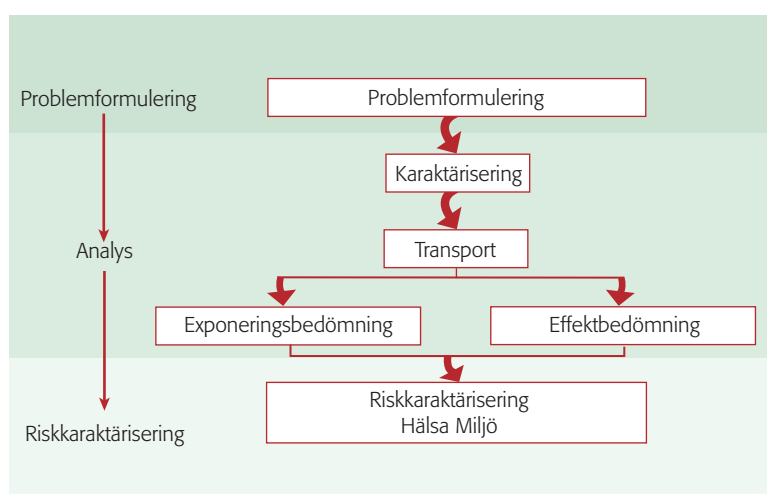


Bild 6. Exempel på moment i en miljöriskbedömning. Arbeta metodiskt med din platsspecifika riskbedömning och fokusera på relevanta miljörisker.

Förbättrat underlag för prövning

I STABCON har ett omfattande arbete genomförts för att lyfta hållbarhet som utgångspunkt för att skapa ett bra underlag för prövning. Detta ligger i linje med miljöbalkens intentioner och EU-direktiv. Hur skall då en helhetsbedömning göras av ekologiska, ekonomiska och sociala aspekter? Jämförelsen bör inte begränsas till enstaka miljö- eller ekonomiska aspekter vilket ofta varit fallet. Genom att tillämpa etablerade och vetenskapligt baserade verktyg för att beskriva handlingsalternativen kan dessa jämföras. Exempel på verktyg är investeringskalkyl, livscykelkostnadsanalys och livscykelanalys samt miljöriskbedömning. Denna bredare jämförelse förbättrar kunskapsunderlaget i tidiga skeden och underlättar förankring av förordat alternativ. Kunskapsunderlaget utgör också en viktig bas för upprättande av kontroll- och uppföljningsprogram i senare skeden. För att kvantitativt kunna

beskriva miljöeffekter har STABCON tillämpat ett miljösystemanalytiskt perspektiv. I Bild 5 framgår de kriterier som utgjort utgångspunkt för jämförelsen av alternativ.

Förbättrad bild av miljöeffekter

Kunskapsunderlaget kring de undersökta alternativen ger ett utmärkt stöd i tidiga skeden, samrådsprocess och framtagande av en miljökonsekvensbeskrivning (MKB). Inom ramen för en MKB skall både lokala, regionala och globala miljöeffekter beskrivas för alternativa utföranden av verksamheten.

Platsspecifika miljöaspekter

Inom ramen för STABCON genomfördes en studie av tidigare miljöriskbedömningar som utförts i samband med hantering av förorenade mudd-

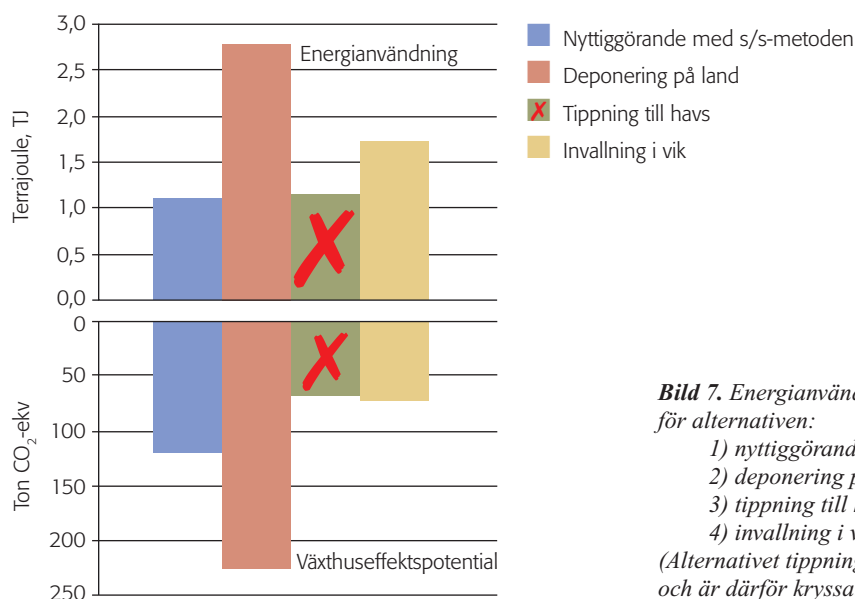


Bild 7. Energianvändning (TJ) och växthuseffektpotential för alternativen:

- 1) nyttiggörande med s/s-metoden,
- 2) deponering på land och
- 3) tippning till havs samt
- 4) invallning i vik.

(Alternativet tippning till havs betraktades som orimligt och är därför kryssat i figuren.)

massor. Det konstaterades att det finns en stor potential att utveckla dessa riskbedömningar. Detta låter sig göras genom att systematiskt genomföra riskbedömningar enligt de stöd som finns nationellt och internationellt, se till exempel Naturvårdsverket (2006, 2009) och princip i Bild 6. Det är inte minst centralt att förklara hur den enskilda riskbedömningen genomförts och vad den omfattat. Ett exempel på stöd för bedömningar är också den vägledning som tagits fram av Environment Agency i Storbritannien, Bone B *et al.* (2004).

Exempel på lokala miljöeffekter är påverkan på vatten- och markområden samt på djur, växter och människa. Denna typ av platsspecifika miljöeffekter kan analyseras med hjälp av miljöriskbedömning, där risken för föroreningsproblematik beskrivs utifrån förväntad exponerings- och effektbedomning. I STABCON har studier genomförts av provkroppars utlakningspotential på kort och lång tid, transport genom stabiliserade och solidifierade monoliter och av konstruktionens påverkan på omgivningen. Det finns också exempel på andra typer av lokala miljöeffekter som primärt är relaterade till hälsa så som buller och närboendemiljö.

Regionala och globala miljöeffekter

Exempel på regionala och globala miljöeffekter är användning av ändliga resurser, ianspråktagande av land och vattenområden samt emissioner till luft och vatten. Denna typ av påverkan kan enkelt analyseras och beskrivas med stöd av livscykelanalys (LCA). I en dylik studie ställs alternativen sida vid sida för

att åskådliggöra hur de förhåller sig till varandra för valda typer av miljöeffekter. Systemstudierna som genomförts inom STABCON visar att s/s-metoden var fördelaktig gentemot aktuella alternativ i fallet Stegeludden, Oxelösund, se Bild 7.

Kostnadseffektivitet för projektet och för samhället

Kostnadseffektivitet bör beskrivas både genom investeringskostnad kopplad till framtida risker och genom samhällsekonomiska kostnader och nyttor. Investeringskostnader beskrivs i dag ofta på ett tillfredsställande sätt i tillståndshandlingar i investeringskalkyler. Kalkylerna kan förbättras genom att också utföra en riskanalys. I den inventering av tidigare samhällsekonomiska analyser som gjorts konstaterades att dessa ofta var schablonartade och sällan omfattar alternativen och deras hantering utan vanligen avser hamnverksamheten som sådan.

I STABCON gjordes miljöekonomisk studie för att analysera ett urval av aspekter för respektive hanteringsalternativ. För fallstudien i Oxelösund indikerar resultaten att s/s-metoden var fördelaktig med avseende på kostnader relaterade till emissioner till luft och vatten, se Bild 8 på sidan 20. Ett i sammanhanget intressant resultat för de studerade föroreningarna var att miljöekonomiska kostnader för emissioner till luft var betydligt högre än de till vatten. Det konstaterades samtidigt att det föreligger ett stort behov av ny kunskap och data för att kunna genomföra denna typ av beräkningar på ett enklare och robustare sätt.

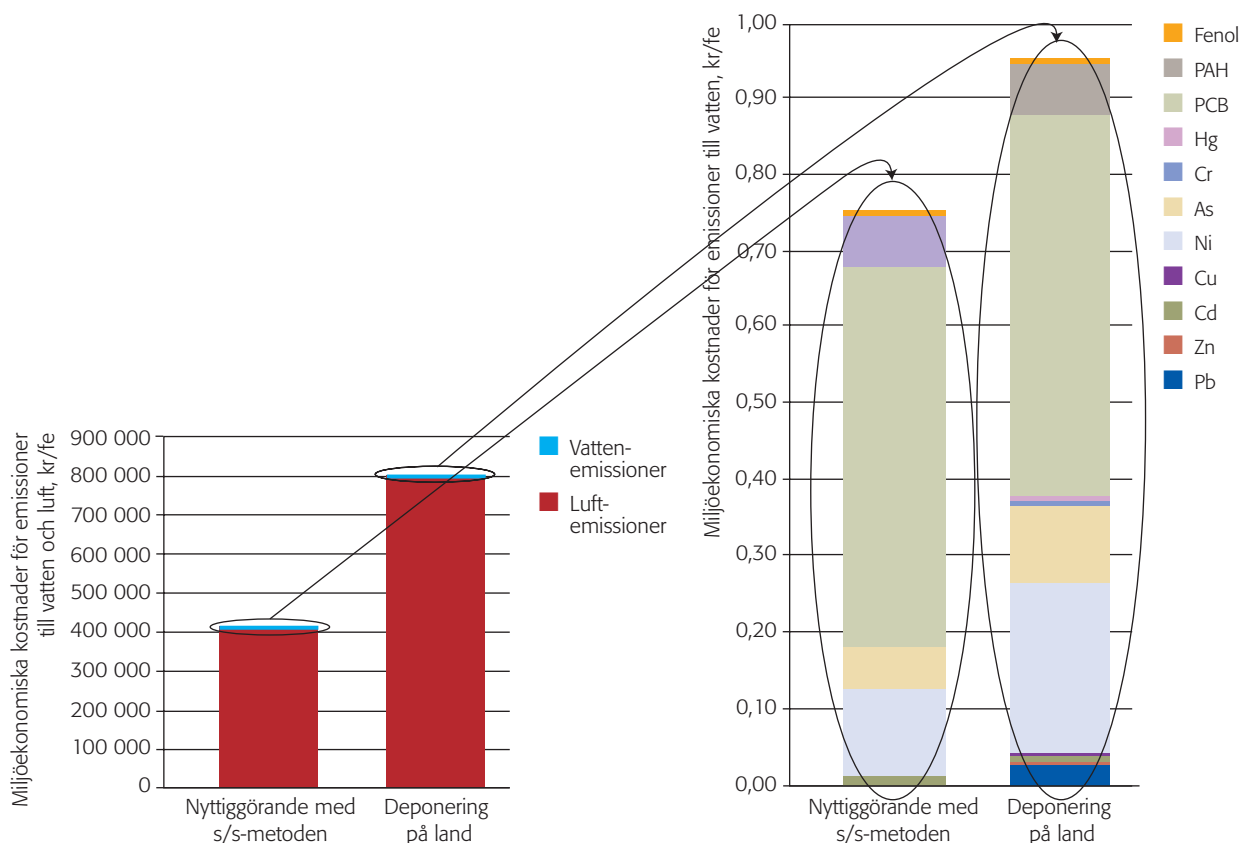


Bild 8. Miljöekonomisk analys för alternativen: 1) nyttiggörande med s/s-metoden och 2) deponering på land.

Val av lämpligaste bindemedel

För att bestämma lämpliga bindemedel och optimera blandning av bindemedel och muddermassa genomförs provtagning och laborativa arbeten i *tre steg*.

I *Steg 1* görs en utredning för att bedöma möjligheten att använda s/s-metoden och ringa in lämpligt bindemedel för det aktuella projektet. För att göra bedömningar upprättas redan i *Steg 1* en första kravspecifikation. I *Steg 2* utförs en fördjupad laboratiestudie som syftar till att optimera användningen av bindemedel och utgör ett fördjupat underlag för dimensionering och miljöriskbedömning. I samband med att *Steg 2* inleds upprättas en detaljerad kravspecifikation för de förväntade egenskaperna hos provkropparna. I *Steg 3* genomförs i samband med provmuddring och produktionsplanering som inleder byggandet.

Starta undersökningar i tid

Det är viktigt att starta undersökningar tidigt eftersom de tar mycket tid i anspråk. Enbart *Steg 1* kan ta 3 till 4 månader att genomföra. *Steg 2* erfordras 6 till 10 (ibland 14) månader från provtagning till dess att laboratorieresultat erhållits som underlag för bedömningar.

STEG 1

Möjligt att använda s/s-metoden

I *Steg 1* utförs primärt bestämning av hållfasthet, permeabilitet och utlakningspotential som underlag för att bedöma om s/s-metoden kan betraktas som möjlig att använda och för att ge en indikation på lämpliga bindemedel, se *Bild 9*. Bedömningen att använda s/s-metoden begränsas dock inte enbart på utfall från dessa försök. Hänsyn skall även tas till andra faktorer som kan ha betydelse för utförandet och hamnanläggningen som helhet. Till de faktorer som bör beaktas vid val av bindemedel hör också:

- tillgång på olika bindemedelskomponenter
- kostnad för respektive bindemedelskomponent
- transportkostnad för resp. bindemedelskomponent
- kostnad för blandning av bindemedelskomponenter
- erhållen hållfasthet i laboratorieskala i förhållande till erforderlig hållfasthet i tänkt konstruktion
- reduktionen av utlakningen av kritiska föroreningar

Olika muddermassor har olika förutsättningar baserade på deras innehåll av organiskt och mineraliskt material samt innehållande föroreningar. En lämplig

Underlag

Volym och utbredning, karaktärisering av geotekniska- och miljötekniska egenskaper hos sediment

Dag 0**Tillverkning av provkroppar, olika bindemedel och bindemedelsmängder**

Bindemedel, exempelvis CM 30/70, 50/50, 70/30
Mängd 100, 150, 200 kg/m³

Dag 28**Laboratorieförsök på provkroppar**

Tryckhållfasthet (enaxiellt), permeabilitet
Utlakningspotential (skakförsök)

Dag 40–60 Bedömning av möjlighet att nyttja s/s-metoden

Val av lämpliga bindemedelskomponenter och -mängder

Bild 9. Laboratoriearbeten i Steg 1 för bedömning av möjligheten att använda s/s-metoden för de aktuella muddermassorna och för att identifiera lämpliga bindemedel.

bindemedelsblandning tas således fram för varje projekt. Optimering skall göras utifrån teknisk funktion, miljöpåverkan och kostnadsaspekter. För att göra dessa avvägningar upprättas redan i Steg 1 ett första förslag på kravspecifikation, se *Råd på kravspecifikation*. Denna detaljeras ytterligare i Steg 2, se sidorna 23–26.

I STABCON användes Byggcement (cement) och Merit 5000 (GGBS, Ground Granulated Blast furnace Slag) som baskomponenter i bindemedlet tillsammans med tillsatsmedel, till exempel aktivt kol i vissa laborietester.

Geotekniska undersökningar

Erforderlig tryckhållfasthet hos en monolit av s/s-behandlade muddermassor i en geokonstruktion är normalt mellan 100 och 300 kPa. Vanligtvis testas bindemedelsmängder inom intervallet 100–200 kg per kubikmeter och olika förhållanden mellan ingående bindemedelskomponenter, till exempel procentuell fördelning 30/70, 50/50 och 70/30. Hållfastheten bestäms ofta genom enaxliga tryckförsök.

I STABCON har olika blandningar testats med komponenterna Byggcement och Merit 5000. Efter 28 dygns härdning bestämdes tryckhållfastheten

Kravspecifikation – miljö- och geoteknik

I varje projekt upprättas en kravspecifikation som detaljeras och stäms av underhand i respektive steg. Det är såväl de tekniska som miljömässiga kraven som utgör bas och skall relateras till projektspecifika förutsättningar och behov, se exempel nedan.

Geoteknik

Vid nyttiggörande av s/s-behandlade muddermassor i hamnkonstruktion bör:

- A. tryckhållfastheten efter härdning vara av storleksordningen 100–300 kPa,
- B. permabiliteten vara av storleksordningen 10^{-8} – 10^{-9} m/s.

Miljöteknik

Ur miljösynpunkt skall behandling med s/s-metoden leda till att:

1. Utlakningspotentialen efter behandling med s/s-metoden är likvärdig eller bättre än före behandling av sedimenten.
2. Om denna kravnivå (punkt 1 enligt ovan) inte uppfylls bör utlakningen vara lägre eller av samma storleksordning som den som anges för "mindre än ringa risk", Tabell 4 i Naturvårdsverket (2010).
3. I det fall enstaka ämnen överstiger riktlinjer enligt punkt 1 och 2 bör en fördjupad miljöriskbedömning utföras med avseende på till exempel biotillgänglighet (exponering/effekt) och/eller hela konstruktionens funktion med avseende på exempelvis dess hållfasthet, täthet och beständighet.

Bild 10. Tryckhållfasthet hos provkroppar med olika bindemedelsmängder och förhållande mellan Byggcement och Merit 5000.

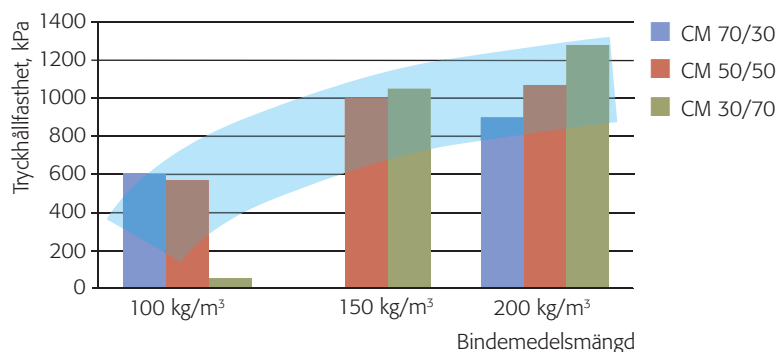
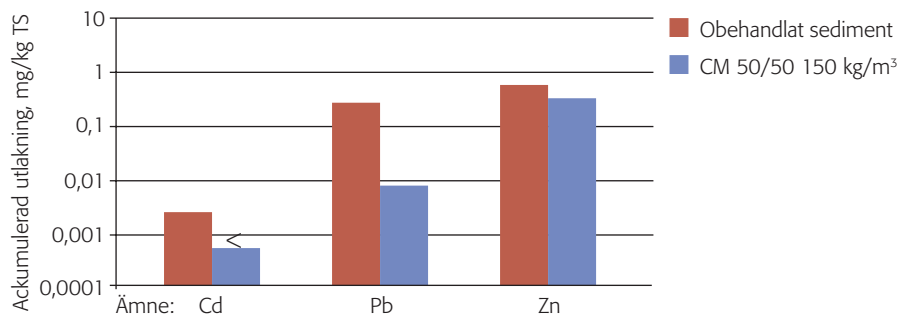


Bild 11. Ackumulerad utlakning från s/s-behandlade muddermassor och obehandlade sediment från Stegeludden, Oxelösund (L/S 10, skakförsök 28 dygn).



hos de belastade provkropparna. I Bild 10 visas ett exempel på tryckhållfasthet hos stabiliserade muddermassor (dubbelprov) där bindemedelsmängden var 100, 150 respektive 200 kg/m³ och där förhållandet mellan Byggcement och Merit 5000 var 30/70, 50/50 respektive 70/30. Hållfastheten hos provkroppar ökar vanligen markant med ökad mängd bindemedel, medan inverkan av förhållandet mellan bindemedelskomponenterna är mindre. Belastningen på provkropparna bör efterlikna den avsedda applikationen. Provkroppar som belastats under härdning ger normalt en markant högre hållfasthet.

Miljötekniska undersökningar

Normalt väljs de två bindemedelsrecept som gett bäst hållfasthet efter 28 dygns härdning ut för miljöteknisk undersökning av utlakningspotential. De miljötekniska försöken utförs genom skakförsök antingen med ett L/S (L/S 10) eller två L/S (L/S 2 och L/S 10). L/S är förhållandet mellan volym tillsatt lakvätska (liter) och mängd testat material (kg). Den lakvätska som används i detta steg kan vara avjoniserat vatten. I Steg 2 bör den lakvätska som används efterlikna platsspecifika förhållanden, till exempel med havsvatten.

I Bild 11 ges ett exempel på ackumulerad utlakning från ett obehandlat sediment och behandlade muddermassor efter 28 dygns härdning. Av tabellen framgår att utlakningen från den s/s-behandlade muddermassan är betydligt lägre än den från det obehandlade sedimentet. Utlakning efter längre härdning (365 dygn) bestäms i Steg 2.

CM-bindemedel

CM-bindemedel är en sammansättning av cement och Merit 5000 för stabilisering/solidifiering av jordar och förorenade muddermassor. Förhållandet Cement/Merit 5000 samt inblandningsmängd varierar beroende på typ av muddermassor, föroreningar och önskade egenskaper.

Fysiska data	Riktvärden
Utseende	Finkornigt pulver
Färg	Ljusgrått
pH i brukslösning	10–12
Specifik yta	450–500 m²/kg
Kompaktdensitet	2900–3100 kg/m³
Skrymdensitet	1100–1300 kg/m³

Cement

Cement framställs ur en blandning av kalksten och lermineral som efter bränning mals tillsammans med gips till ett finkornigt pulver. Det vanligaste cementet i Sverige är byggcement. Byggcement är ett portlandkalkstencement (CEM II/A-LL 42,5 R enligt SS-EN 197-1) och tillverkas av Cementa AB i Slite och Skövde.

Merit 5000

Merit 5000 (GGBS, Ground Granulated Blast furnace Slag) tillverkas av masugnsslagg från SSAB i Oxelösund. Masugnsslaggen granuleras i vatten och torkas därefter för att sedan finmalas i en kulkvarn. Merit 5000 är CE-certifierad enligt SS-EN 15167-1 och P-märkt enligt SS 137003. Produkten är även registrerad i Bastasystemet, artikelnummer 107000.

Egenskap (exempel på kriterium)		
Geoteknik	Stabilitet	Tryckhållfasthet (100–300 kPa) Vattenkvot (utred relationen bindemedelsmängd/vattenkvot) Permeabilitet (storleksordningen 10^{-8} – 10^{-9} m/s)
	Deformation	Kompression
Miljögeoteknik	Beständighet	Frostbeständighet (ska ej påverka hållfasthet) Sulfat- och saltangrepp (storleksordningen ska ej påverka hållfasthet) Karbonatisering pH-variation
Miljöteknik	Platsspecifik miljöpåverkan	Utlakningspotential (< obehandlade sediment) Permabilitet (storleksordningen 10^{-8} – 10^{-9} m/s) Hydraulisk gradient
Utförandeteknik	Tillverkning Kvalitetssäkring	Inblandningsmängd och proportioner (100–200 kg/m ³)/t.ex. CM 30/70, 50/50, 70/30 Sedimentkaraktärisering (acceptabel variation av vattenkvot/organisk halt) Geometriutformning av monolit

Bild 12. Exempel på ingående egenskaper i en kravspecifikation som underlag för dimensionering och miljöriskbedömning i Steg 2 och 3. (Värden inom parentes är exempel på storleksordning för vissa egenskaper; aktuella krav bestäms i varje enskilt fall.)

Val av bindemedel

Bedöms s/s-metoden som lämplig och möjlig att använda väljs sedan bindemedel baserat på resultaten från Steg 1. I Oxelösund valdes en blandning av Byggcement och Merit 5000.

STEG 2

Optimering av bindemedel

I Steg 2 sker en fördjupad bedömning av den tänkta hamnkonstruktionen som en del av projektering och upprättande av ett förfrågningsunderlag. Som underlag för denna bedömning upprättas också en mer detaljerad kravspecifikation och målbild för egenskaper. I Bild 12 ges exempel på ingående parametrar som bör ingå som underlag i en fördjupad bedömning. I vissa komplexa situationer kan det vara aktuellt att utföra Steg 2 som en del av underlaget för miljöprövning.

Föroreningars utlakningspotential

Föroreningar som förekommer i ett material kan spridas i gas-, fast och/eller i löst fas. För löst fas undersöks detta vanligen genom att bestämma materialets utlakningspotential med olika laboratoriemetoder. De metoder som används inom STABCON är skaktest, ytutlakningstest och modifierade perkolationstest för metaller och organiska föreningar.

De olika metoderna utförs vid olika L/S-kvot, där L är den mängd lakvatten (Liquid) som passerat en viss mängd material (Solid). Efter att vattnet passerat och skakats med materialet analyseras det på innehåll av ämnen. Skak- och kolonntester är ofta konservativa. Halterna redovisas kumulativt och har enheten mg/kg (mg förorening per kg TS material). Ytutlakningstester på monoliter ger normalt en bättre överensstämmelse med utfall i fält, de redovisas som mg/m² (mg förorening per m² yta).

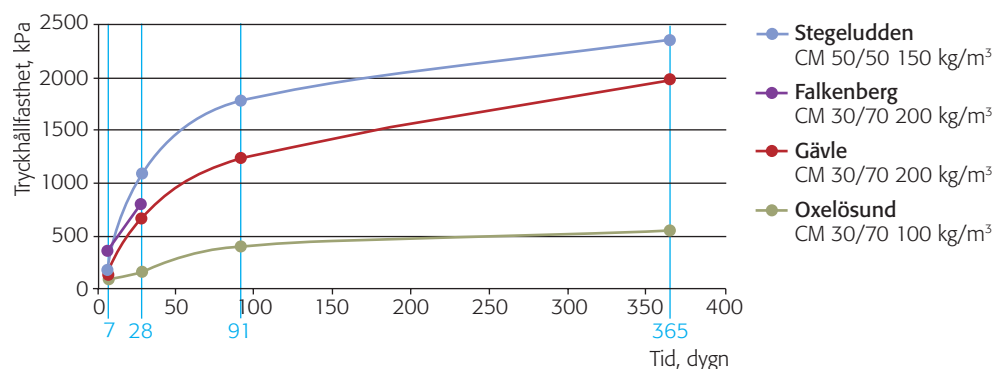


Bild 14. Resultat från flera undersökningar visar på en tydlig hållfasthetsökning med tiden för s/s-behandlade muddermassor från Stegeludden, Oxelösund, Falkenberg och Gävle.

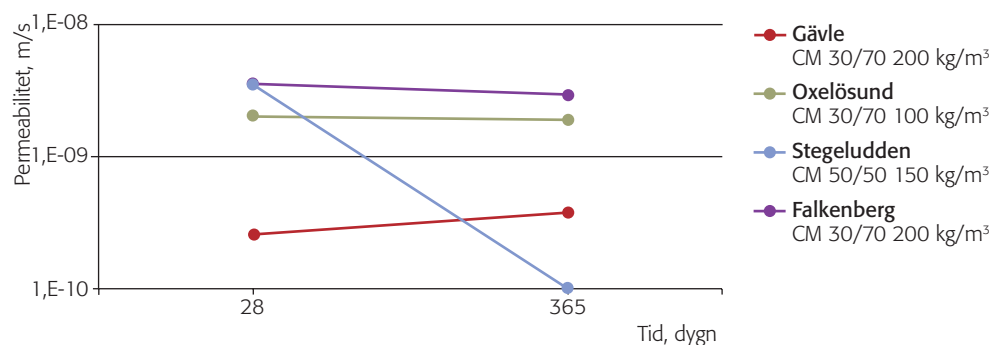


Bild 15. Mycket låg permeabilitet har erhållits hos s/s-behandlade muddermassor i olika hamnar.

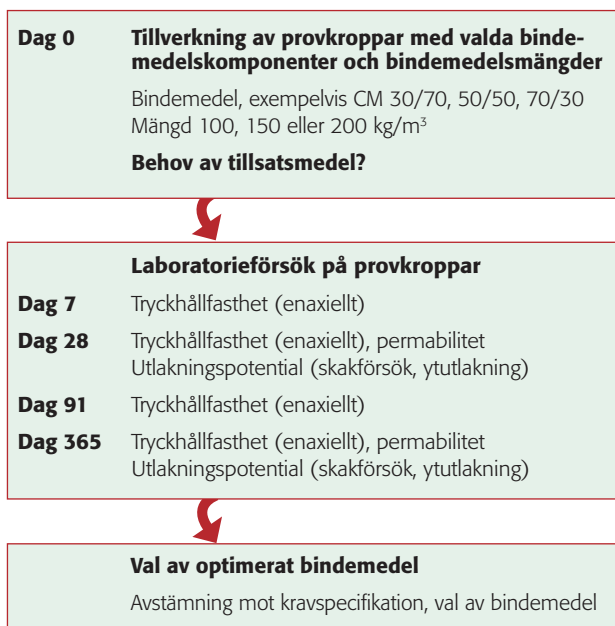


Bild 13. Laboratiearbeten i Steg 2 – Optimering av bindemedel.

I Steg 2 genomförs också ytterligare laboratieförsök för att optimera valet av bindemedel. De egenskaper som bestäms i detta steg är bland annat hållfasthet, permeabilitet, utlakningspotential och beständighet, se Bild 13. I samband med detta utreds också behovet av eventuella tillsatsmedel för att ytterligare reducera utlakning från de behandlade sedimenten. Ett exempel på tillsatsmedel är aktivt kol. Tillsatsmedel definieras som något som tillsätts bindemedlet i en begränsad omfattning av storleksordningen 1 till 5 procent. Vid användning av tillsatsmedel är det därför mycket viktigt att också beakta den praktiska möjligheten och kostnaden att tillverka ett homogent bindemedel.

Hållfasthet och permeabilitet

Hållfasthetsbestämning utförs vid flera tidpunkter för att få en god bild av hållfasthetens utveckling, normalt vid 7, 28, 91 och 365 dygn. Vidare undersöks provkropparnas permeabilitet genom så kallade celltryckspermeameterförsök efter 28 och 365 dygn. I Bild 14 visas tryckhållfastheten vid olika tider efter inblandningen av bindemedel. Trenden är tydlig, hållfastheten ökar betydligt över tiden hos provkropparna. Permeabiliteten hos provkropparna är mycket låg, av samma storleksordning som för en lera, se Bild 15.

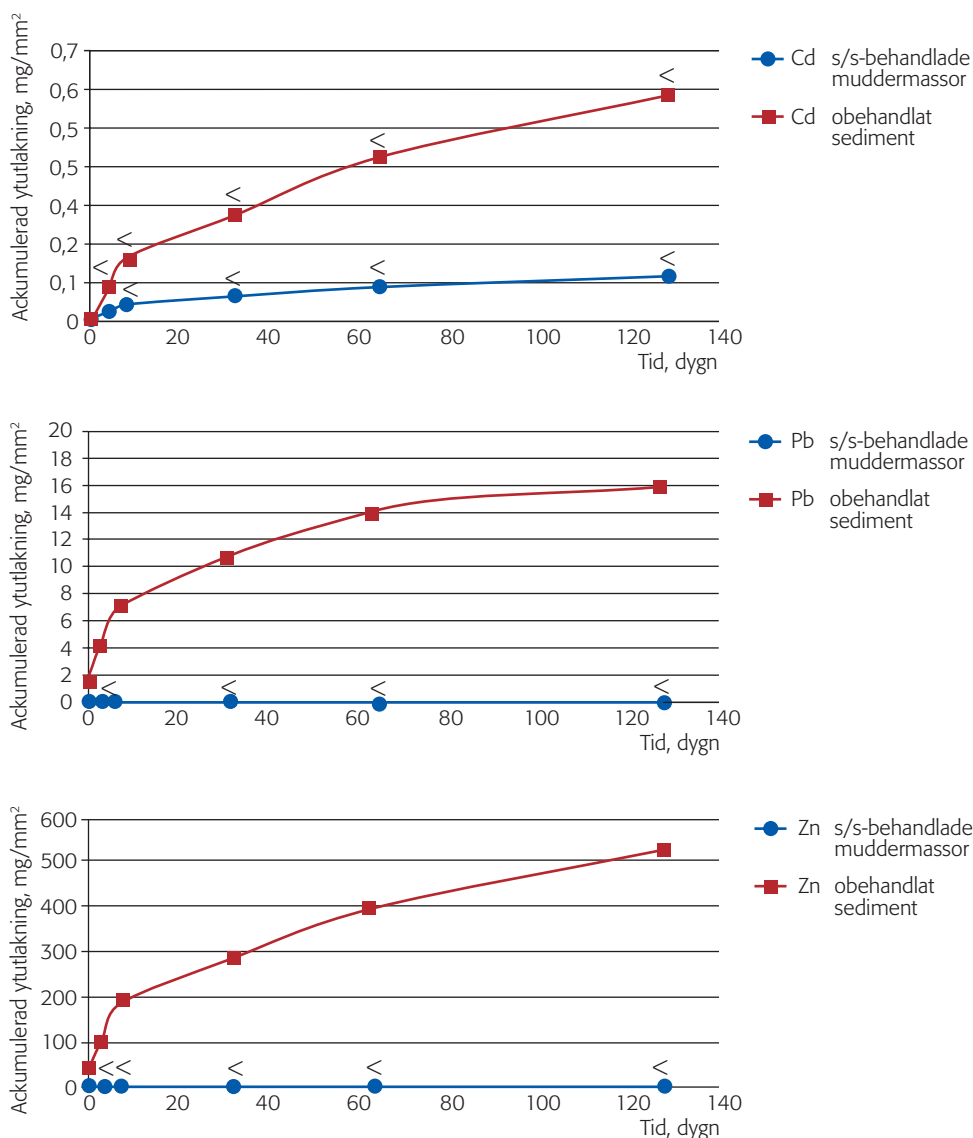


Bild 16. Undersökningar av ytutlakning visar att den reduceras betydligt för s/s-behandlade muddermassor från Stegeludden, Oxelösund.

Utlakning av föroreningar

Lämpligen utförs utlakningsförsöken i detta steg som skak- och även ytutlakningsförsök. Dessa liknar utlakningsförhållandena för den typ av monolit som skapas vid stabilisering och solidifiering, det vill säga en monolit med hög hållfasthet och låg permeabilitet där utlakning kan ske i princip endast från monolitens yta.

Vid planeringen av arbeten bör beaktas att ytutlakningsförsök pågår under avsevärt längre tid (månad/-er) än skakförsök (dygn) och att de är mer kostsamma än skakförsök. Dyliga ytutlakningsförsök kan därför till exempel inriktas på eventuella föroreningar som föranleder en fördjupad miljöriskbedömning. I Steg 2 ingår också att klarlägga eventuellt behov av tillsatsmedel till det bindemedel som befunnits lämpligast. Detta kan vara aktuellt om

miljöriskbedömningen indikerar att ytterligare reduktion av utlakningen är önskvärd.

Utlakningspotentialen hos s/s-behandlade provkroppar bestäms normalt efter 28 och 365 dygns härdning. I STABCON har omfattande utlakningsförsök gjorts. Försöken visar överlag på en reducerad utlakning över tid, till exempel för ackumulerat utlakning av bly (Pb) som funktion av L/S vid ytutlakningsförsök respektive skakförsök på behandlade sediment som härdat 28 respektive 365 dygn. I Bild 16 ges exempel på resultat från ytutlakningsförsök i form av ackumulerade ytutlakade mängder per kvadratmeter lakyta från obehandlat sediment och behandlat sediment som härdat under 210 dygn.

Försöken i STABCON visar att utlakningen efter stabilisering och solidifiering av muddermassor är betydligt lägre än ytutlakning från obehandlade

Mekanismer			Risker	
	Inre	Yttre	Orsak	Verkan
Fysikaliska	(x)	x	Laster, frys- och töcykler, sättningar	Sprickor, ökad utlakning, nedsatt bärighet
Kemiska	x	x	Sulfatangrepp, saltexpansion och pH-angrepp	Sprickor, ökad permeabilitet, nedsatt bärighet, ändring i lakbarhet
Biologiska	x	—	Nedbrytning, oxidation, reduktion	Ökad porositet, nedsatt bärighet, gasbildning, löst organiskt material, ökad lakbarhet

Bild 17. Exempel på mekanismer som styr beständighet hos en geokonstruktion.

Skydda mot frysning och placera under vatten

s/s-behandlade muddermassor skall alltid skyddas mot frys- och töcykler och förläggas under yt-/grundvattennivå såvida inte en särskild utredning visar annat.

sediment. Försöken visar vidare att utlakningen vid ytutlakningsförsök ger mindre ackumulerade utlakade mängder för de flesta undersökta ämnen än utlakning med skakförsök.

Beständighet

I Bild 17 visas en grov indelning av mekanismer som kan styra beständigheten hos en monolit av stabiliserade och solidifierade muddermassor. I STABCON har omfattande laboratorieförsök utförts med avseende på bestämning av kritiska egenskapers utveckling över tiden. Faktorer som identifierades som mest kritiska i fallet för Oxelösunds hamn var konstruktionens beständighet mot frys- och töcykler samt mot sulfat- och saltangrepp.

Undersökningarna visade på låg permeabilitet, låg utlakningspotential och god beständighet mot salt- och sulfatangrepp. Samtidigt konstaterades att dessa resultat baseras på att den s/s-behandlade massan placeras på frostfri nivå för att undvika påverkan av frys- och töcykler och under yt- och/eller grundvattennivån för att åstadkomma nära anaeroba förhållanden.

Bindemedel bestående av Cement och Merit 5000 utgörs till största delen av kalcium och kisel. Det sammanbindande materialet efter reaktion med vatten är kalciumsilikathydrat (CSH). Erfarenheter från betong visar att opåverkat CSH-material är stabilt och beständigt under hundratal år.

Generellt görs därför bedömningen att s/s-behandlade muddermassor skall skyddas mot frysning och placeras under yt- och/eller grundvattennivå såvida inte utredningar i det enskilda fallet påvisar motsatsen. I varje enskilt fall skall en bedömning göras om undersökningar erfordras med avseende på sulfat- och saltangrepp.

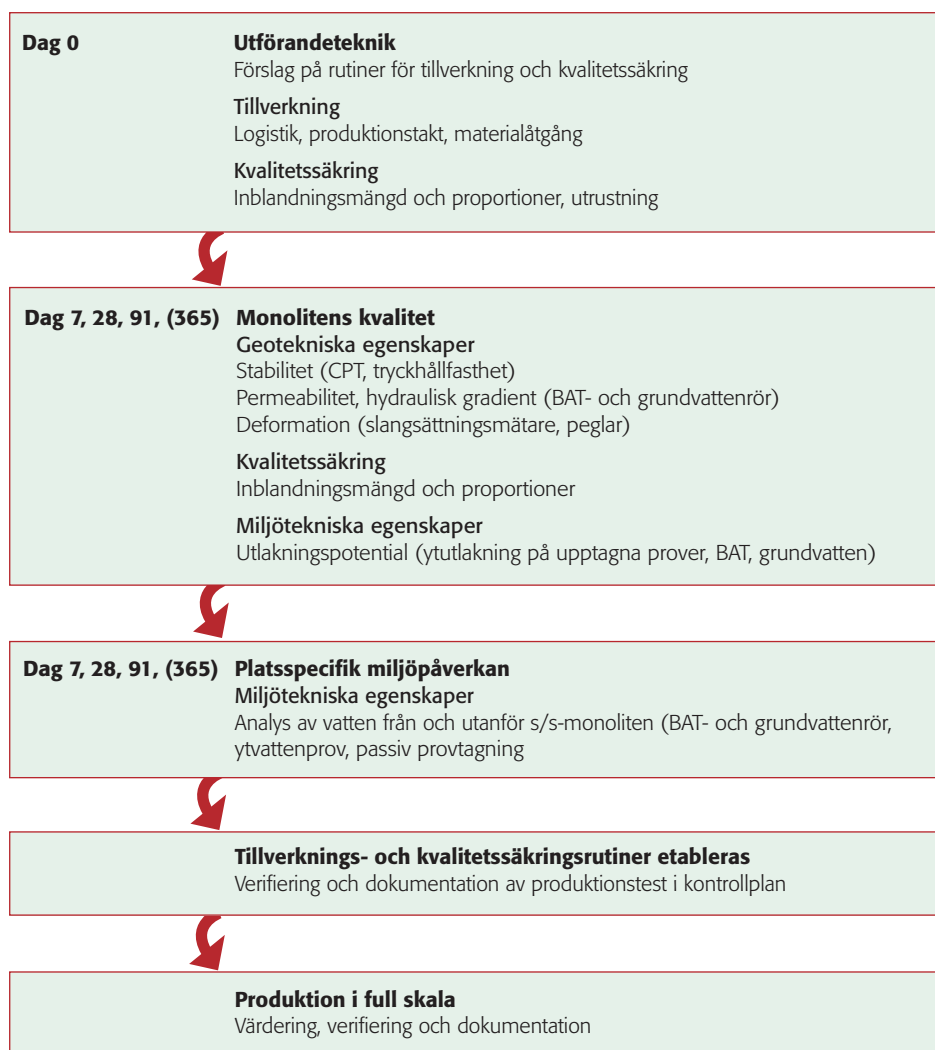


Bild 18. Verifiering och avstämning inför produktion görs i Steg 3.

STEG 3

Avstämning inför produktion

I utförandeskedet genomförs tester i full skala inför fullskalig produktion, det vill säga tillverkning av stabiliserad och solidifierad muddermassa. Dessa tester syftar till att optimera produktionsapparaten och etablera rutiner för tillverkningen och kvalitetssäkring av utförandet. Målsättningen är att inhämta kunskap om lämpligaste utförande och vilka eventuella problem som kan uppstå med hantering och utförande i produktionsfasen.

I samband med produktionstestet sker också en avstämning för att verifiera den färdiga konstruktionens funktion (med de behandlade muddermassorna, monoliten) och dess omgivningspåverkan. Avstämningen bör omfatta de delar som anges i Bild 18. Omfattningen av detta arbete dokumenteras i ett särskilt kontrollprogram. Avstämning görs av monolitens egenskaper mot de resultat som erhållits hos laboratorieblandade prover i Steg 1 och 2. Vidare

verifieras att ställda krav på egenskaper är uppfyllda så som förväntats enligt utförd dimensionering och miljöriskbedömning.

Produktionstestet skall vara av sådan storlek att användningen av s/s-metoden skall gå att studera samt att det finns yta och volym för att utföra de provningar och mätningar som skall utföras. Om möjligt bör testet vara så stort att en eller flera grundförutsättningar kan undersökas separat. Detta gäller till exempel möjligheten att 1) testa olika bindemedelsmängder, eftersom bindemedlet är en stor andel av kostnaden, eller 2) att testa olika utförandetekniker, till exempel olika sätt att blanda bindemedel och muddermassa.

Storleken på produktionstestet bestäms i varje enskilt fall. I större projekt där potentialen att optimera kostnad, tidsåtgång och reducera den platsspecifika miljöpåverkan bör stor vikt läggas vid genomförande av produktionstestet.

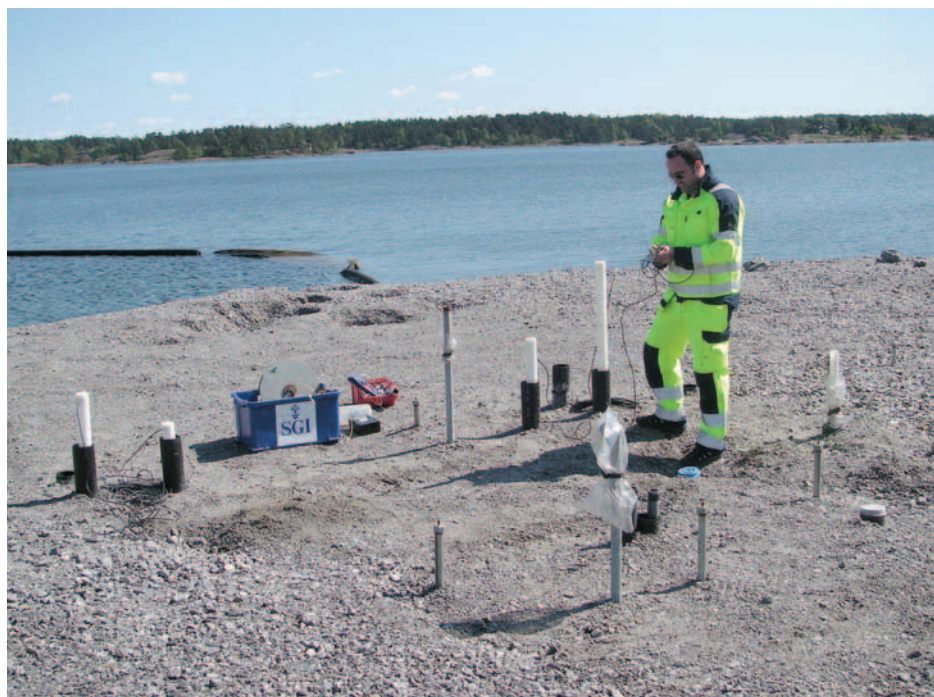


Foto: Mattias Andersson

Bild 19. Installation av kontrollutrustning vid produktionstestet på Stegeludden, Oxelösund.

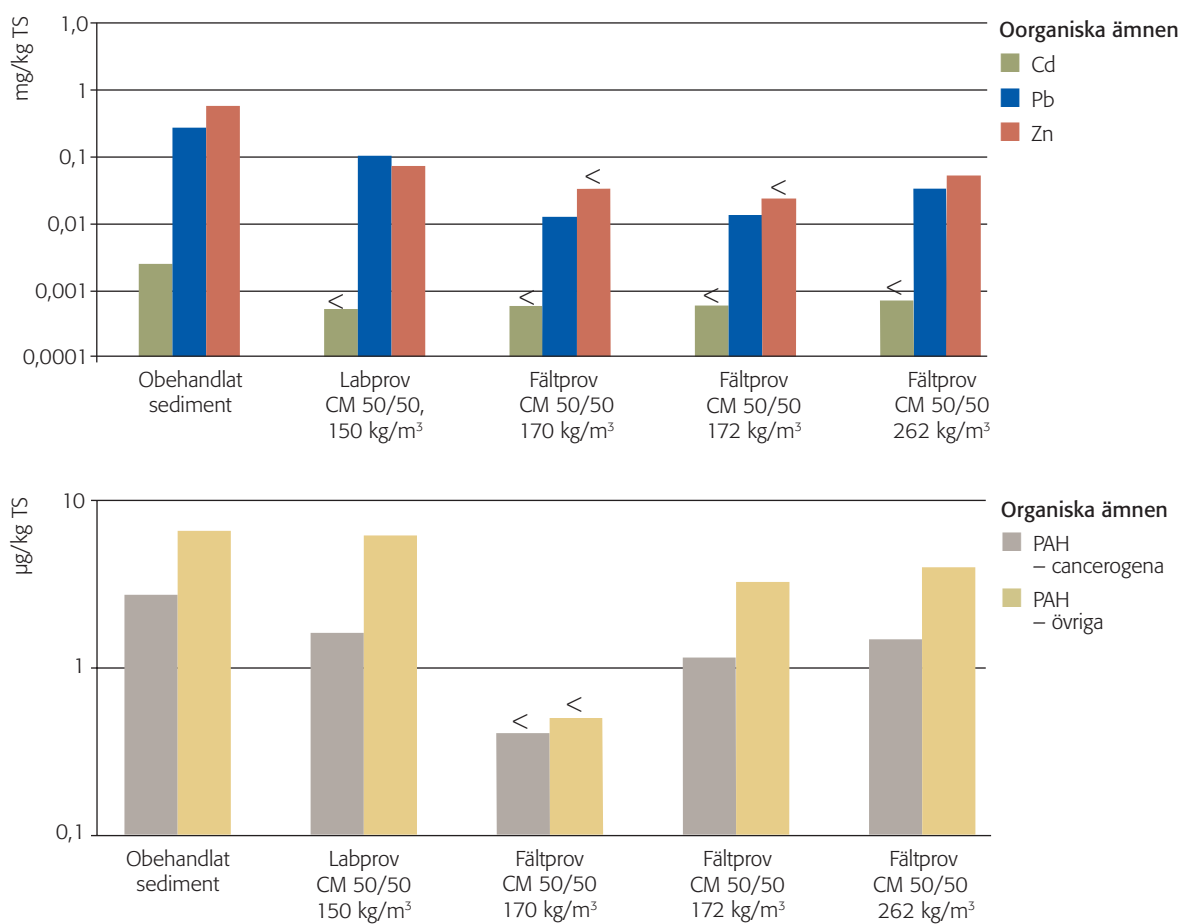


Bild 20. Utlakningspotentialen från prover tagna på s/s-behandlade muddermassor från produktionstestet var lägre än den hos laboratorietillverkade prover (en och två stegs skaktest).

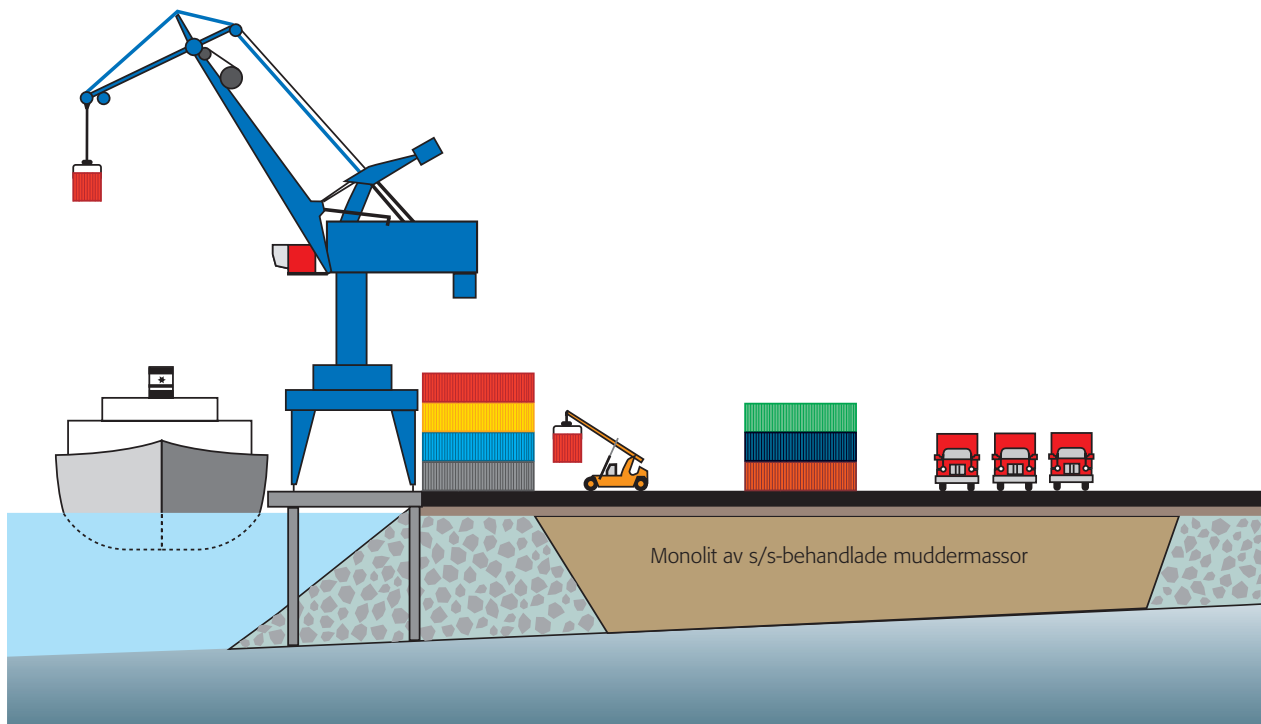


Bild 21. Exempel på belastningsfall som kan vara aktuella i en hamnkonstruktion.

Egenskaper hos monolit av s/s-behandlade muddermassor

Inom STABCON utfördes ett produktionstest på platsen där man planerar att anlägga en ny hamn vid Stegeludden i Oxelösund, se *Bild 19*. I STABCON användes så kallad masstabiliseringsutrustning för utförandet av produktionstestet.

Testet visade goda resultat avseende såväl geotekniska som miljötekniska egenskaper. Undersökningar utfördes bland annat genom provtagning av vatten med ett övervakningssystem för grundvatten (BAT-rör) och sondering med Cone Penetration Test (CPT).

I *Bild 20* visas som exempel resultat från utlakningsförsök på sediment, på behandlade prover av s/s-behandlade muddermassor tillverkade på laboratorium och på prover upptagna från produktionstestet. Samtliga behandlade prover hade härdat 28 dygn vid provningen. Utlakningspotentialen från prover upptagna i fält var lägre än från de laboratorieinblandade proverna. Provtagning från testet visade på att tryckhållfastheter varierade mellan 140 och 166 kPa efter 28 dygn och mellan 122 och 154 kPa efter 219 dygn. Effekten av olika mängder bindemedel, mellan 90 och 350 kg/m³, visade på ett stort spann på tryckhållfastheten, från 66 till 500 kPa (219 dygn). Vikten av att homogenisera materialet och hålla en jämn kvalitet (bindemedelsmängd, vattenkvot) är därför tydlig.

Utförande av stabilisering/solidifiering

Nyttiggörande i geokonstruktioner

Förorenade muddermassor behandlade med s/s-metoden kan användas inom flera tillämpningar. I STABCON har fokus varit att använda de s/s-behandlade muddermassorna i geokonstruktioner i hamnmiljöer. För att dimensionera en konstruktion med s/s-behandlade muddermassor behöver kunskap finnas om vilken typ av verksamhet som skall bedrivas på ytan, nu och i framtiden. I *Bild 21* illustreras en typ av en kajkonstruktion med olika belastningsnivåer. Lasterna varierar för olika typer av hamnkonstruktioner och ger därför upphov till olika krav på vilken hållfasthet som krävs efter s/s-behandlingen av muddermassorna.

Utförandemetoder

De tekniker som används för att s/s-behandla muddermassor är mass-, pelar- eller processtabilisering, se sidorna 30 och 31.

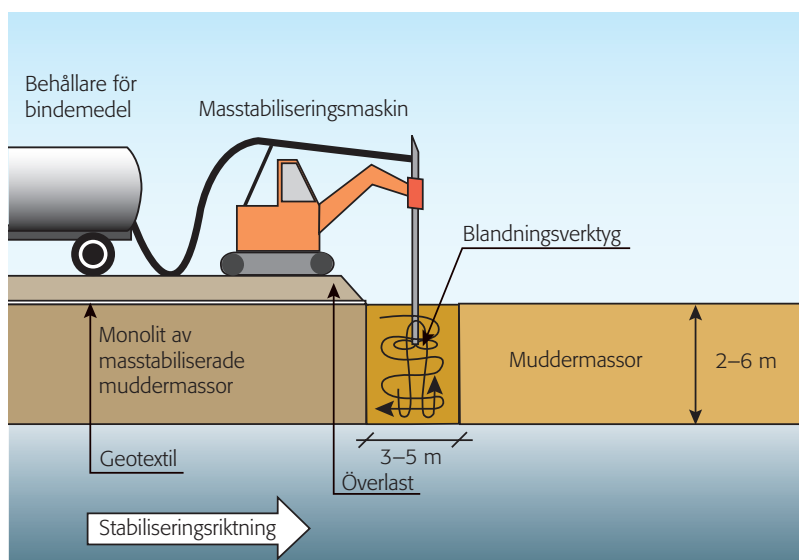


Bild 22. Princip för masstabilisering.

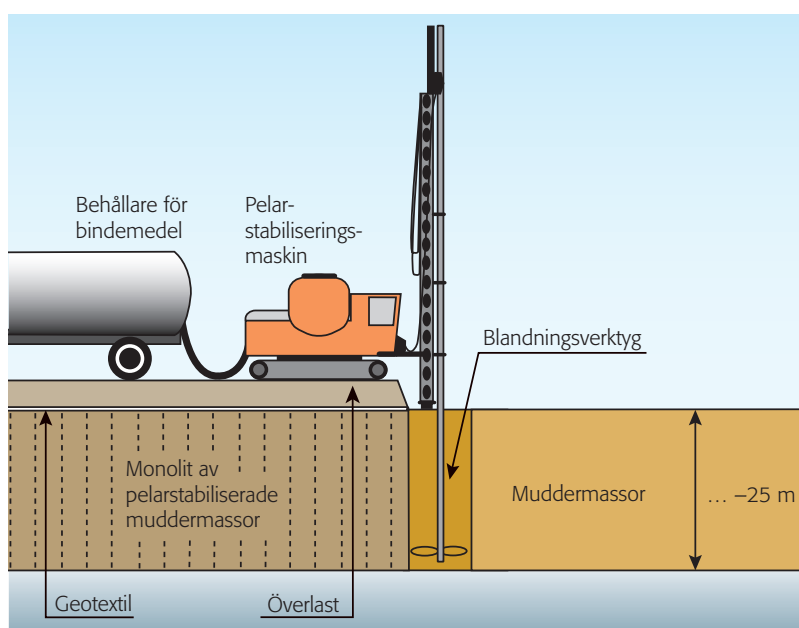


Bild 23. Princip för pelarstabilisering.

Masstabilisering

Masstabilisering är en teknik som innebär att en grävmaskin med blandningsutrustning på sin arm blockvis blandar in bindemedel i de förorenade muddermassorna, se Bild 22. Grävmaskinen pumpar successivt ut bindemedel med sitt roterande blandningsverktyg in i massorna. För varje block är angivet hur stor mängd bindemedel som skall blandas in och på detta sätt kan utföraren kontrollera att det blir rätt blandning. För att förse grävmaskinen med bindemedel, är blandningsaggregatet kopplad till separata tankar med bindemedel. Tekniken är speciellt lämpad för mindre volymer och begränsade djup. Masstabilisering användes som utförandemetod för produktionstestet på Stegeludden i Oxelösunds hamn, Nordsjö hamn och i Hammerfest.

Pelarstabilisering

Pelarstabilisering är en form av djupstabilisering där en maskin med rigg för ned ett blandningsverktyg till avsett djup. Under rotering och samtidig utblåsning genom sonden tillförs bindemedel som bildar pelare på bestämda platser i undergrunden, se Bild 23. Pelarstabilisering utförs normalt på mellan 3 och 25 meters djup. Maskinerna som används kräver oftast att marken är relativt stabil. Tekniken är speciellt lämpad för små volymer muddermassor och stabilisering och solidifiering på större djup. Ett exempel där pelarstabilisering använts är för behandling in-situ i Hammarby Sjöstad, Stockholm.

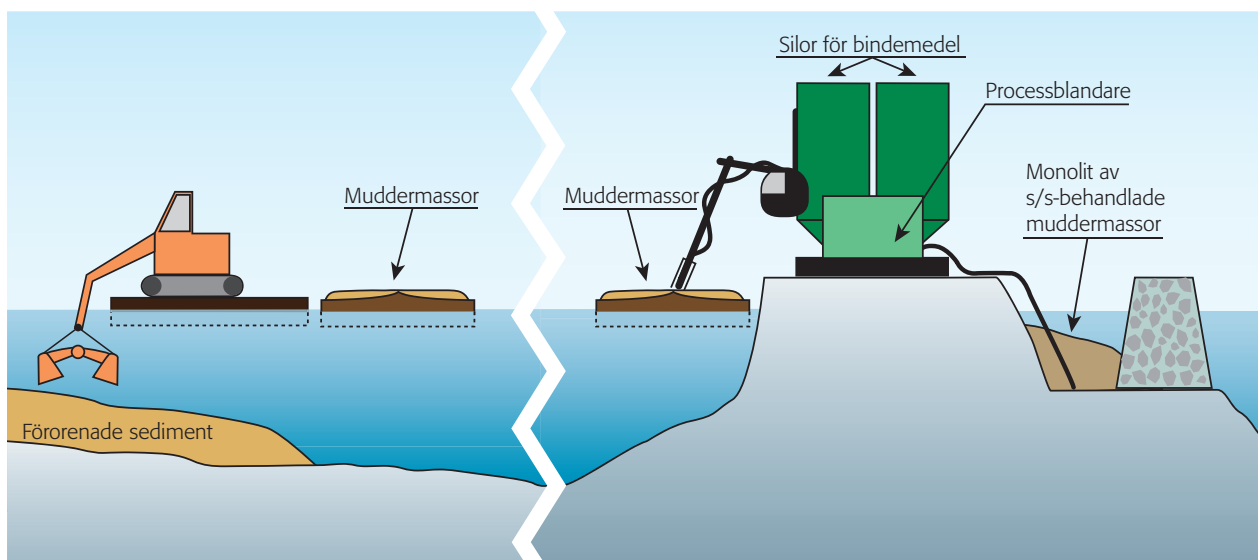


Bild 24 Princip för processtabilisering.

Processtabilisering

Processtabilisering innebär att muddermassorna flyttas till en anläggning där muddermassor och bindemedel blandas. Anläggningen är utrustad med tankar för olika bindemedel, blandningsutrustning samt lagrings- och utlastningssystem. Efter inblandning av bindemedel transporteras massorna till den plats där utfyllnaden skall ske, se Bild 24.

Processtabilisering är ett mer ”industrialiserat” utförande och därmed kan kvalitén på inblandningen förväntas bli ännu högre och homogenare. Begränsningen för arbeten med processtabilisering är den förhållandevis stora insatsen och kostnaden för maskineri och etablering vilket gör att tekniken i dag är lämpligast i större projekt. I dag har den bland annat tillämpats i Åbo hamn och Gävle hamn.

Hantering av bindemedel

Blandning av bindemedelskomponenter

Bindemedel för stabilisering och solidifiering av förorenade muddermassorna kan bestå av en eller flera komponenter som skall blandas in i sedimentet. Är det fler än en komponent som skall användas, måste bindemedelskomponenterna på något sätt blandas innan de tillsätts sedimentet. Att blanda olika bindemedelskomponenter är inte någon ny företeelse. Blandning av bindemedel för markstabilisering har pågått sedan början av 1970-talet. Vanligtvis har bindemedlet utgjorts av två bindemedelskomponenter, flera kan också användas beroende på förutsättningarna i den aktuella situationen. Som tidigare nämnts i denna vägledning är det viktigt att notera att det kan vara praktiskt svårt att blanda in små mängder av vissa tillsatsmedel.

Blandning av bindemedelskomponenter till s/s-behandling skiljer sig inte mycket från att blanda till traditionell mass- eller pelarstabilisering. Den största skillnaden är att det troligen kommer att efterfrågas stora volymer bindemedel och att objekten (exempelvis hamnarna) ligger på större avstånd från bindemedelskomponenter och blandningsutrustning.

Kvalitetssäkring

Bindemedel och bindemedelskomponenter skall materialkaraktäriseras och kvalitetssäkras.

Logistik för fast eller mobil anläggning

Det finns i dag tre huvudsakliga sätt att blanda bindemedelskomponenter:

- direkt vid inblandningen i muddermassor
- vid en fast anläggning placerad vid en bindemedelsdepå
- med en mobil anläggning placerad vid objektet

Om ett objekt skall förses med bindemedel från en fast eller mobil anläggning styrs av flera faktorer:

- var objektet ligger
- hur stort objektet är
- vilka bindemedel som efterfrågas
- utförandekapacitet
- tillgången på bindemedel

Transporter av bindemedel sker med bulkbilar, eller med bulkvagnar på järnväg, oavsett om det är från en fast eller mobil anläggning på objektet. Lastning och lossning av bindemedel sker genom överblåsning till mottagarenheten, vilket vanligtvis är silor.

Storleken på silor avgörs av objektets storlek och kapaciteten på utförandemetoden samt på transportavståndet för bindemedlen. Bindemedel som används vid stabilisering och solidifiering är oftast alkaliska och höga tryck används vid utlastning varför all hantering måste ske varsamt. Det är därför viktigt att säkerhetsföreskrifter för hantering av bindemedel följs, och att en riskanalys görs.

Riskanalys – vad kan gå fel?

För att få blandade bindemedel till ett objekt ingår flera olika enheter. Det finns alltid risker när olika enheter skall samverka. Innan ett objekt startar bör det därför alltid göras en riskanalys över vad som kan gå fel, anläggningar, maskiner och transportfordon som kan haverera eller om det kan uppstå materialbrist.

För att få en uppfattning av vad som är mest lönsamt – att blanda vid en fast anläggning eller att etablera en mobil anläggning – skall en ekonomisk kalkyl göras innan leveranserna till ett objekt påbörjas. Avgörande för var två eller flera bindemedel skall blandas blir ofta en kostnadsfråga där objektets läge och omfattning har stor betydelse liksom vilka bindemedelskomponenter som är aktuella.

Kontroll och uppföljning

Kontroll och uppföljning ingår i ett projekts alla skeden. Redan i förstudien läggs grunden för att kritiska aspekter följs upp och den färdiga konstruktionen uppfyller ställda krav på egenskaper och funktion i brukskedet. En kontrollplan för verifiering av ställda krav bör därför upprättas i alla skeden av projektet. Den skall omfatta både de s/s-behandlade muddermassorna som sådana och också utformas med avseende på omgivningspåverkan. Under tiden som muddring och s/s-behandlingen utförs kontrolleras normalt också grumling och eventuell spridning av föroreningar. Omfattningen av ett kontrollprogram bestäms för varje enskilt projekt.

Funktions- och egenskapskontroll av s/s-behandlade muddermassor

Fysikaliska egenskaper (hållfasthet, hydrauliska konduktivitet, deformationsegenskaper) och miljötekniska egenskaper kontrolleras normalt med olika typer av laboratieförsök på i fält upptagna prover

och med olika sonderingsmetoder. Sättningsstorlek och utveckling med tiden i de s/s-behandlade muddermassorna kontrolleras både i ytan och på djupet. Dessutom utförs laboratieförsök på upptagna prover och vattenprov från de s/s-behandlade massorna.

Hållfastheten hos prover upptagna från produktionstestet i Stegeludden var lika stor eller större än den som testades fram på laboratorieblandade prover och kravet på hållfasthet för hamnändamål betraktades därmed som uppfyllt. Mätningar visade att endast små eller inga deformationer uppstod hos de s/s-behandlade muddermassorna och önskad geoteknisk funktion kunde därmed verifieras. Även vattenprover tagna i de s/s-behandlade massorna gav goda resultat. Analys av tungmetaller ($\mu\text{g/l}$) i vatten från två punkter inne i den stabiliserade och solidifierade monoliten visade huvudsakligen värden under gränsvärden för dricksvatten. I detta sammanhang är det viktigt att också notera att de mängder vatten, som kunde tas ut ur de s/s-behandlade muddermassorna och användas för analyser, var ytterst begränsade till följd av de behandlade massornas låga genomsläpplighet och begränsade innehåll av fritt vatten, se *Bild 25*.

Omgivningspåverkan

För uppföljning av eventuell omgivningspåverkan inriktas recipientkontrollen på mark, sediment och yt- och grundvatten i konstruktionens närhet. För kontroll av eventuell förorenings-spridning kan så kallade passiva provtagare användas. Dessa ger en uppfattning om den ackumulerade förorenings-transporten under en längre tid. Detta ger ett komplement till den ögonblicksbild som enstaka provtagningar av yt- eller grundvatten ger. Samtidigt ger provtagningsmetoden en möjlighet att bedöma omfattningen av eventuella biotillgängliga föroreningar som transporterats och bortser från de som följer med partiklar och kolloider, se *Bild 26*.

I produktionstestet som utfördes på Stegeludden undersöktes omgivningspåverkan med passiva provtagare och ytvattenprovtagning. Resultat från mätningarna visade ingen ökning av halten föroreningar som kunde hänföras till konstruktionen.

Provpunkt Dagar		Dagar efter s/s-behandling				Gränsvärde dricksvatten SLVFS 2001:30
		P2 28	P2 63	KV1 63	KV2 123	
Element	As	4,10	< 3,00	4,00	<10,00	10
	Cd	< 0,05	0,32	4,70	4,10	5
	Cr	5,50	9,80	8,20	1,40	50
	Cu	22,00	483,00	1,40	1,80	2000
	Hg	0,33	0,25	0,13	0,12	1
	Ni	63,00	132,00	61,00	38,00	20
	Pb	2,20	6,80	11,60	1,70	10

Bild 25. Analyser av vatten i den s/s-behandlade monoliten (BAT-provtagning) på Stegeludden, Oxelösund visade på metallhalter lägre än gränsvärden för dricksvatten med undantag av nickel (Ni) som var något högre.

	Sediment	Ofiltrerat vatten	Filtrerat vatten	Passiv provtagning
Partiklar	Adsorberat/utfällt till partiklar, oxider (metaller, PAH, PCB, TBT)	Adsorberat/utfällt till ej sedimenterade partiklar, oxider (metaller, PAH, PCB, TBT)	–	–
Kolloider	–	Adsorberat utfällt på kolloider (metaller, PAH, PCB, TBT)	Adsorberat utfällt på kolloider (metaller, PAH, PCB, TBT)	–
Löst	–	Vattenlöst (biotillgängligt) (metaller, PAH, PCB, TBT)	Vattenlöst (biotillgängligt) (metaller, PAH, PCB, TBT)	Vattenlöst (biotillgängligt) (metaller, PAH, PCB, TBT)

Bild 26. Schematisk bild av de faser (partikel, kolloid eller lös) som undersöks med olika provtagningsmetoder för att bestämma totalhalter och innehåll av ämnen i yt- och grundvatten.

Bibliografi

- Al-Tabbaa, A. and Perera, A.S.R. (2002) *State of Practice Report UK Stabilisation/Solidification, Treatment and Remediation, Binders & Technologies – Basic Principles, Research, Applications*. Draft 1406 Starnet.
- Arevalo Arnada C. B. (2008) *Leaching test comparison for stabilized and solidified contaminated sediments. Assessment of selected inorganic contaminants*. Master thesis, Department of Geophysics University of Oslo.
- Bendz, D., Enell A. (2009) *Metoder för haltbestämning av huvud- och spårelement och PAH i jord och avfall*. Linköping, SGI.
- Bone B. D., Barnard L. H. and Hills C. D. (2004b) *Guidance on the use of Stabilisation/Solidification for the treatment of Contaminated Soil*, UK Environment Agency.
- Bone B. D., Barnard L. H. and Hills C. D. (2004a) *Review of the scientific literature on the use of Stabilization & Solidification for the treatment of contaminated soil, solid waste and sludges*. UK Environment Agency.
- Bricka R.M. and Jones L. W. (1993) *An evaluation of factors affecting stabilization/solidification of heavy metals sludge Vicksburg, Mississippi*. US Army Engineers.
- Cartledge F. K. .L. and Butler G.(1990) *Immobilization mechanisms in solidification stabilization of Cd and P salts using Portland Cement fixing agents*. Environmental Science & Technology, 24(6). 867–873.
- Chen Q.Y., Tyrer M., Hills C.D. and Yang X.M. (2009) *Immobilization of heavy metal in cement based solidification/stabilization, A review*. Waste Management 29(1) pages 390–403.
- Denninger M. (2009) *Jämförelse av platsspecifika föroreningsrisker i samband med muddringsaktiviteter*, Institutionen för mark och miljö, Sveriges Lantbruksuniversitet 2009.
- Eggen A., Emaus K., Kvennås M. (2008) *Grunnforsterkning i sjøen av hensyn til miljø og utbygging (in Norwegian)* Proceedings Nordisk Geoteknikermøte nr. 15 (NGM).
- Fleri M. A. and Whetstone G.T. (2007) *In-situ stabilization/solidification, Project lifecycle*. Journal of Hazardous materials 141 (2) pages 441–456.
- Gilliam T.M. and Wiles C.C. (1992) *Stabilization and Solidification of Hazardous, Radioactive, and Mixed Wastes*, 3rd Volume, ASTM STP 1240. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania.
- HELCOM (2007) *HELCOM Guidelines for the Disposal of Dredged Material at Sea*. HELSINKI COMMISSION Baltic Marine Environment Protection Commission, www.helcom.fi/stc/files/Guidelines/GuidelinesDredgedMaterial.pdf
- Hernandez-Martinez F.G., Sparrevik M., Kvalvåg Ø., Eggen A. and Grini R. S. (2008) *Mechanical properties of stabilised/solidified contaminated Norwegian marine sediments*. Proceedings: 2nd BGA International Conference on Foundations – ICOF Dundee June 2008.
- Hernandez-Martinez F.G., Sparrevik M., Kvalvåg Ø., Eggen A., Kvennås M. and Grini R. S. (2009) *Stabilisation/solidification of two contaminated marine sediments for use in land reclamation*. In press:

- Holm G., Larsson L., Stark T. och Svedberg B. (2010) *Bygg med muddermassor*. Samhällsbyggaren 1/10.
- Holm G., Larsson S., Beyer F., Batman M. och Genberg C. (2009) *Geokonstruktioner av stabiliserade/solidifierade förorenade muddermassor*. Bygg & Teknik 1/09.
- Holm G., Mácsik J., Svedberg B., Larsson L., Pehrsson P., Rogbeck Y., Bendz D. och Leppänen M. (2006) *Efterbehandling av förorenade jord och muddermassor genom stabilisering och solidifiering*, Naturvårdsverket, Kunskapsprogrammet för hållbar sanering, rapport 5696. http://clu-in.org/download/remed/ss_sfund.pdf.
- Ikegami M.T., Ichiba T. (2005) *Long term properties of cement treated soil 20 years after construction*. 16:th international conference on soil mechanics and geotechnical engineering, Osaka 3, pages 1199–1202.
- Ingre-Khans E. (2009) *The Fate and Bioavailability of PAHs and PCBs in Subaqueously Capped Dredged Material*, Institutionen för miljövetenskaplig utbildning, Lunds universitet 2009. International Symposium on Deep Mixing Admixture Stabilization, May 2009 Okinawa.
- Jameson T.D.A. and Double D.D. (2001) *The effect of lead nitrate on the early hydration of Portland cement*. Cement Concrete Res 11(1) pages 143–153, 1981.
- Johansson E. (2009) *Risikanalys med fokus på beständighet – Stabiliserade/Solidifierade muddermassor i geokonstruktioner i hamnar*, Skolan för arkitektur och samhällsbyggnad, KTH, 2009.
- Jonasson Y. (2007) *Stabilisering och solidifiering av PAH- och PCB-förorenade sediment*, Institutionen för naturgeografi och kvartärgeologi, Stockholms universitet 2007.
- Kvennås M., Sparrevik M. and Grini R. S. (2009) *Improving stabilisation/solidification of Norwegian contaminated sediments by use of additions*. In press: ASTM 4th Int. Symp. on contaminant Sediments, July 2009 Dublin. Submitted to Journal of ASTM International.
- Laugesen J. (2007) *Behaviour of solidified/stabilised contaminated sediments in confined disposal facilities (CDF:s)* Thesis 2007:184, NTNU, Norway.
- Lindblom N. (2008) *Att värdera en hamnutbyggnad – en översikt av ekonomiska verktyg samt en värdering av föroreningar*, Nationalekonomiska institutionen, Uppsala universitet 2008.
- Maekawa K., Ishida T. and Kishi T. (2003) *Multic-scale physicochemical modeling of soil cementitious material interaction*. Soils and Foundations 46(5) pages 653–663.
- Magnusson Y., Svedberg B., Mácsik J., Maijala A. and Jyrävä H. (2005) *Hantering av muddermassor med miljöfördelar*. Bygga Framtid 2005, Luleå tekniska universitet, Institutionen för Samhällsbyggnad.
- Magnusson Y., Svedberg B., Mácsik J., Maijala A., Jyrävä H. (2006) *Muddermassor med miljöfördelar*, Bygg & teknik 2/06.
- Maijala A. and Lahtinen P. (2009) *Geotechnical optimization of Binder recipes*. Ramboll Finland Oy.
- Møskeland T. (2003): *Overvåkning av mudring og deponering av forurensed sediment i Trondheim havn – fase 1*, Rapport nr 2003-015.
- Naturvårdsverket (2006) *Förbättrade miljöriskbedömningar*. Rapport 5538.
- Naturvårdsverket (2007) *Stabilisering och solidifiering av förorenad jord och muddermassor, – Lämplighet och potential för svenska förhållanden*. Rapport 5696, Naturvårdsverket 2007, ISBN 91-620-5696-4.pdf, ISSN 0282-7298.
- Naturvårdsverket (2009) *Metodik för miljöriskbedömning av förorenade områden*. Rapport 5928.
- Naturvårdsverket (2010) *Kriterier för avfall i anläggningsarbeten, Handbok* Utgåva 1, februari 2010, Naturvårdsverket, ISBN 978-91-620-0164-3.pdf, ISSN 1650-2361.
- NGI (2008a) *Stabilisation and solidification of contaminated sediments. State of the art report*. NGI 20061257-1.
- NGI (2008b) *Stabilisation and solidification of contaminated sediments. Development of binder and additions. Final report from phase 1,2 and 3*. NGI 20061257-2.

- NGI (2008c) *Bindemidler og metoder for solidifisering av forurenset masse. Vurdering av utstyr for stabilisering Rapport*. NGI 20061257-3.
- NGI (2008d) *Renere havnesediment i Trondheim. Vurdering av hydrogeologi og spredning av forurensning fra deponiet*. NGI 20071011-1.
- Norcem (2008) *Bindemidler og metoder for stabilisering/solidifisering av forurensede masser. Tilleggsrapport om mikseutstyr*.
- Peljö A. (2008) *Behandling av muddermassor med s/s-metoden – en jämförande studie ur ett miljörettsligt perspektiv*, Handelshögskolan, Göteborgs universitet 2008.
- Perera A.S.R, Al-Tabbaa A., Reid J.M. and Johnson D. (2005) *Part V, Long-term performance and environmental impact. Stabilization/Solidification. Treatment and Remediation*. Taylor and Francis, pages 437–457.
- Piispanen A. (2004) *Sanering av TBT-kontaminerade sediment i Nordsjö hamn*. Publikation utgiven av Nordsjö hamnprojekt, Rapport 17.
- Rambøll (2008a) *Sement stabilisation and solidification – STSO. Review of techniques and methods*.
- Rambøll (2008b) *Geotechnical Optimisation of binder recipes*.
- Rambøll (2008c) *Promenadbrygge ved Kadettangen Bærum. Vurderinger i prosjektet*.
- Rambøll (2008d) *Arktisk kultursenter, Hammerfest. Sluttrapport og overvåkning*.
- Rogbeck Y., Leppänen M., Grini R.S. and Svensson P-L. (2003) *Stabilisering/solidifiering av förorenad jord. Exempel på projekt utförda i Skandinavien*. Rapport 2003-06-11, Scandiaconsult Sverige AB (numera Rambøll Sverige AB).
- SIG (2011) *Stabilisering och solidifiering av muddermassor*. Statens geotekniska institut, 2011-04-18, Diarienumr: 1-1009-0647, Uppdragsnr: 14404.
- Shi C. and Spence R. (2004) *Designing of cement based formula for solidification/stabilization of hazardous, radioactive, and mixed wastes*. Critical reviews in Environmental Science and technology, 34(4) pages 391–417.
- Simon J. (2008) *Hantering av förorenade muddermassor vid hamnbyggande – en miljösystemanalys*, Industriell Ekologi, Kungliga Tekniska Högskolan 2008.
- Skanska. *Skanskas utveckling 2006–2008*.
- Sparrevik M. (2008) *Mechanical and chemical factors influencing the success of stabilisation/solidification of contaminated Norwegian Marine Sediments for use in land reclamation*. Proceedings: 5th SedNet Conference on NGI, 27–29 May 2008 Oslo.
- Sparrevik M., Eek E. and Grini R.S. (2008) *The importance of Sulphide Binding for Leaching of Heavy Metals from Norwegian Contaminated Marine Sediments Treated by Stabilisation/Solidification*. Proceedings: CD2E Int. Symp. on Sediment Manag. Lille July 2008. Submitted to Environmental Technology.
- Svedberg B. and Holm G. (2009) *Decision support tool for sustainable management of contaminated sediments in coastal areas*. Green Remediation. Incorporating Sustainable Approaches in Site Remediation, Copenhagen, November 9–10, 2009.
- Svedberg B. and Holm G. et al. (2011) *Förorenade muddermassor kan med fördel användas*. Bygg och Teknik, 1/11.
- Svedberg B., Ekdahl P., Mácsik J., Maijala A., Lahtinen P., Hermansson Å. Knutsson S. och Edeskär T. (2007) *FUD-SALA, Provsträcka med stabilisering av obundna lager*. Askprogrammet. Rapport Q-632.
- Svedberg, B., Batman, M. and Holm, G. (2009) *Miljösmart och kostnadseffektiv hantering av förorenade muddermassor*. Svensk Hamntidning.
- Terashi M. (2002) *Long term strength gain vs deterioration of soils treated by lime and cement*. International workshop on deep mixing, Tokyo, pages 39–57.
- US EPA (1997) *Technology alternatives for the remediation of soils contaminated with As, Cd, Cr, Hg, and Pb*, EPA/540/S-97/500, <http://www.epa.gov/swertio1/download/remed/tdtchalt.pdf>.

US EPA, (2000) *Solidification/Stabilization used at Superfund sites*. EPA-540-R00-010.

US EPA, (2001) *A Citizen's Guide to Solidification/Stabilization*. EPA 542-F-01024.

<http://www.epa.gov/swertio1/download/citizens/s-s.pdf>.

van Eijk R.J. (2001) *Hydration of cement mixtures containing contaminants – Design and application of the solidified product*. Ph.D. thesis, University of Twente, The Netherlands.

Öjerstam S. (2009) *Bedömning av miljöpåverkan på ekosystemet Östersjön från tippning av muddermassor till havs*, Institutionen för naturgeografi och kvartärgeologi, Stockholms universitet, 2009.

Länkar

■ HELCOM

www.helcom.fi

■ Hållbar sanering

www.naturvardsverket.se/sv/Start/Verksamheter-med-miljopaverkan/Fororenade-omraden/Hallbar-Sanering-kunskapsprogram/

■ Nordsjö hamn

www.portofhelsinki.fi/content/pdf_pa_svenska/julkaisut/TBT-esite_2004SVE.pdf

■ STABCON

www.stabcon.com och www.stabilgrunn.no

■ SMOCS

www.smocs.eu

■ SEDNET

www.sednet.org

■ Åbo hamn

www.projektit.ramboll.fi/life/stable/



Foto: Bo Svedberg



Göran Holm

Vi svarar gärna på era frågor!

EUREKA-projektet STABCON (Nr 4078) genomfördes i nära samverkan mellan Oxelösunds Hamn AB, Statens geotekniska institut, Ecoloop AB, Ramböll Sverige AB och Skanska Sverige AB samt SSAB Merox AB och Cementa AB. Bilden ovan visar projektgruppen samlade på Stjärnholms slott efter ett intensivt arbete att lyfta fram nyckelfrågor inför arbetet med denna vägledning.

Namn	Företag	Adress
Göran Holm	Statens geotekniska institut	goran.holm@swedgeo.se
Lennart Larsson	Statens geotekniska institut	lennart.larsson@swedgeo.se
Helen Åhnberg	Statens geotekniska institut	helen.ahnberg@swedgeo.se
Mattias Andersson	Statens geotekniska institut	mattias.andersson@swedgeo.se
Ola Antehag	Statens geotekniska institut	ola.antehag@swedgeo.se
Cecilia Toomväli	Statens geotekniska institut	cecilia.toomvali@swedgeo.se
Bo Svedberg	Ecoloop AB/Luleå Tekniska Universitet	bo.svedberg@ecoloop.se
Åsa Erlandsson	Ecoloop AB	asa.erlandsson@ecoloop.se
Josef Mácsik	Ecoloop AB	josef.macsik@ecoloop.se
Susanna Toller	Ecoloop AB/KTH	susanna.toller@ecoloop.se
Kristina Eriksson	COWI (tidigare Ramböll Sverige AB)	kren@cowi.se
Matthew Batman	(tidigare Ramböll Sverige AB)	–
Christian Genberg	Byggväst (tidigare Ramböll Sverige AB)	–
Amira Peljto	Ramböll Sverige AB	amira.peljto@ramboll.se
Anna Wilhelmsson	COWI (tidigare Ramböll Sverige AB)	aawn@cowi.se
Svante Thorhuus	(tidigare Oxelösunds Hamn AB)	–
Ulf Bäckman	Oxelösunds Hamn AB	ulf.backman@oxhamn.se
Fredrik Beyer	Skanska Sverige AB	Fredrik.beyer@skanska.se
Stefan Larsson	KTH (tidigare Skanska Sverige AB)	stefan.larsson@byv.kth.se
Torbjörn Carlsson	(tidigare SSAB Merox AB)	–
Henry Flisell	SSAB Merox AB	henry.flisell@merox.se
Therese Stark	SSAB Merox AB	therese.stark@merox.se
Stig Jansson	Cementa AB	stig.jansson@cementa.se
Sven-Erik Johansson	Cementa AB	sven-erik.johansson@cementa.se
Erik Simonsen	Cementa AB	erik.simonsen@cementa.se
Liv-Margrehte Hatlevik Bjerje	Projektleddare STABCON Norge	liv.bjerje@norcem.no
Svein Eriksson	Bitr projektleddare, STABCON Norge	svein.eriksson@norcem.no

SGI information

1. *Jords egenskaper.* (48 sid, 1982/1986/1990/1993/ 58 sid, 2008)
2. *Geotekniska undersökningar i fält.* (72 sid, 1984)
3. *Skjuvhållfasthet – utvärdering i kohesionsjord.* (28 sid, 1985/63 sid, 2007)
- 3 E. *Evaluation of shear strength in cohesive soils with special reference to Swedish practice and experience.* (32 pages, 1985)
4. *Geotekniska utredningar för stabilitetsanalyser – allmänna råd för omfattning och kvalitet.* (20 sid, 1988/1993)
5. *Nyare in-situmetoder för bedömning av lagerföljd och egenskaper i jord.* (64 sid, 1988)
6. *Torv – geotekniska egenskaper och byggmetoder.* (34 sid, 1989)
7. *Report on the ISSMFE technical committee on penetration testing of soils – TC16 with reference test procedures. CPT - SPT - DP - WST.* (50 pages, in english and french, 1989)
8. *Hållfasthet i friktionsjord.* (50 sid, 1989)
9. *Olje- och kemikalieutsläpp i jord.* (40 sid, 1989)
10. *Dilatometerförsök – en in-situmetod för bestämning av lagerföljd och egenskaper i jord. Utförande och utvärdering.* (50 sid, 1990/1993)
11. *Mätning av grundvattennivå och porttryck.* (116 sid, 1990)
12. *Termiska egenskaper i jord och berg.* (28 sid, 1991)
13. *Sättningsprognoser för bankar på lös finkornig jord – beräkning av sättningars storlek och tidsförlopp.* (51 sid, 1994)
- 13E. *Prediction of settlements of embankments on soft, fine-grained soils – calculation of settlements and their course with time.* (52 pages, 1997)
14. *Lärobok i geobildtolkning.* (123 sid, 1991)
15. *CPT-sondering. Utrustning – Utförande – Utvärdering.* (80 sid, 1993, 71 sid, 2007)
- 15E. *The CPT-test. Equipment-Testing-Evaluation.* (77 pages, 1995)
16. *Siltjordars egenskaper. – Silt som konstruktionsmaterial – Bestämning av geotekniska egenskaper.* (71 sid, 1998)
17. *Geodynamik i praktiken.* (51 sid, 2000)
- 18:1 *Handbok. Skumglas i mark- och vägbyggnad.* (39 sid, 2008)
- 18:4 *Handbok. Flygaska i mark- och vägbyggnad. Grusvägar.* (58 sid, 2006)
- 18:5 *Handbok. Slaggrus i väg- och anläggningsarbeten.* (40 sid, 2006)
- 18:6 *Handbok. Bottenaskor från kol-, torv- och bio-bränsleeldning i väg- och anläggningsarbeten.* (40 sid, 2010)
- 18:7 *Handbok. Gummiklipp.* (47 sid, 2008)
19. *Deponiers stabilitet. Vägledning för beräkning.* (46 sid, 2007)
20. *Vägledning för nyttiggörande av muddermassor i hamn- och anläggningskonstruktioner. Stabilisering och solidifiering av förorenade muddermassor.* (38 sid, 2011)

Bottensedimenten längs Sveriges kuster, i svenska hamnar och farleder är förorenade av miljögifter som hotar både människa och miljö. Sjöfartens starka utveckling leder till ett stort behov av utbyggnader och fortsatt underhållsmuddring vilket leder till att stora mängder förorenade muddermassor måste hanteras. Metoden att stabilisera och solidifiera förorenade muddermassor, s/s-metoden, är en i grunden enkel teknik där bindemedel blandas in i muddermassor och fastlägger föroreningar samtidigt som materialets hållfasthet ökar betydligt. Härigenom kan de förorenade muddermassornas farlighet reduceras samtidigt som de kan nyttiggöras som konstruktionsmaterial för hamnkonstruktioner och andra anläggningsändamål. Metoden ger vårt samhälle och våra hamnar ett potentiellt kostnadseffektivt och miljösmart alternativ.

Denna vägledning riktar sig till intressenter och sakkunniga hos hamnar och miljömyndigheter, konsulter och entreprenörer. Den behandlar hela processen från identifiering av behov till bruksstadiet.

www.stabcon.com



Statens geotekniska institut
Swedish Geotechnical Institute

SE-581 93 Linköping, Sweden

Tel: 013-20 18 00, Int + 46 13 201800

E-mail: sgi@swedgeo.se Internet: www.swedgeo.se