



Naturvårdsverket

Stabilisering och solidifiering av muddermassor

Statens geotekniska institut
Olaus Magnus väg 35
581 93 Linköping
Tel. 013-20 18 00
www.swedgeo.se

2011-04-18

Datum: 2011-04-18
Uppdragsledare: David Bendz
Handläggare: Pascal Suer, Dan Berggren Kleja
Diariernr: 1-1009-0647
Uppdragsnr: 14404

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD	5
1 INLEDNING.....	6
2 S/S METODEN – EN INTRODUKTION	8
2.1 Allmänt.....	8
2.2 Utförande.....	9
3 REKOMMENDATION - UNDERSÖKNINGAR OCH KONTROLL.....	10
3.1 Inledning.....	10
3.2 Karakterisering av muddermassor	10
3.3 Lämplighetstest s/s behandling.....	11
3.4 Kontroll och uppföljning	13
4 NORDISKA ERFARENHETER.....	14
4.1 Översikt.....	14
4.2 Bindemedel.....	16
4.3 Tester på laboratorietillverkade provkroppar	16
4.4 Kontroll under utförandet.....	18
4.5 Efterkontroll.....	19
4.6 Sammanfattning.....	20
5 FASTLÄGGNINGSMEKANISMER.....	22
5.1 Utlakning.....	22
5.2 Bindemedel.....	22
5.3 Fastläggning av metallföroreningar	23
5.4 Fastläggning av organiska föroreningar.....	27
5.5 Föroreningar som stör stabilisering/solidifiering	27
5.6 Sammanfattning.....	28
6 BESTÄNDIGHET	29
6.1 Allmänt.....	29
6.2 Mekaniska processer.....	29
6.2.1 Krympning.....	29
6.2.2 Våt-torr cykler.....	30
6.2.3 Frys-tö cykler.....	30
6.3 Kemiska processer	30
6.4 Biologiska processer.....	31
6.5 Sammanfattning.....	31
7 LÄMPLIGHETSTEST	32
7.1 Översikt.....	32
7.2 Screening för val av bindemedel och bindemedelsmängd	33
7.3 Fördjupade laboratorieförsök för verifiering av effekt.....	34
7.4 Pilotförsök för verifiering av effekt under fältförhållanden.....	37
8 KUNSKAPSBEHOV	38
9 REFERENSER.....	39

Bilagor

Bilaga 1: Projekt där stabilisering/solidifiering använts för förorenade massor i Sverige, Norge och Finland	42
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

FÖRORD

Denna rapport innehåller en sammanställning av projekt i Norden där stabilisering och solidifiering av muddermassor genomförts, en beskrivning av fastläggningsmekanismer för föroreningar och en rekommendation av vilka undersökningar som bör genomföras för bedömning av erhållen effekt på utlakningsegenskaper vid stabilisering och solidifiering av muddermassor. Rapporten är avsedd att stödja myndigheternas arbete för att nå vattenförvaltningens mål om att åstadkomma god ekologisk status i alla vattenförekomster där så är möjligt och rimligt.

Jag vill tacka Erika Nygren och Ann-Marie Fällman på Naturvårdsverket samt Göran Holm (SGI) för synpunkter och bidrag till rapporten. Lennart Larsson (SGI) har granskat och bidragit till rapporten under arbetets gång. Även Per Lindh (PEAB) har lämnat synpunkter på denna rapport.

2011-04-18

David Bendz

1 INLEDNING

I samband med muddring hanteras uppkommet avfall i form av förorenade muddermassor på olika sätt. På senare tid har intresset ökat för att använda detta avfall för anläggningsändamål, ofta för utbyggnad av kaj eller hamnplaner. En stabilisering kan syfta till att minska miljöpåverkande egenskaper genom att binda/omvandla föroreningar till en form som är mindre mobil men kan också resultera i enbart en geoteknisk stabilisering med en ökad bärighet. Vid solidifiering omvandlas massorna till en solid kropp med minskad hydraulisk konduktivitet. De bindemedel som framför allt används är cement och granulerad masugnsslagg (t.ex. produkten Merit 5000) men även flygaska och bioaska från förbränning av biobränslen förekommer.

Vid prövningen av verksamheten måste man kunna visa att de allmänna hänsynsreglerna i 2 kap miljöbalken är uppfyllda vilket inbegriper kravet på bästa möjliga teknik i 2 kap 3 § MB och kunskapskravet i 2 kap 2 § MB. Detta betyder att för att tillåtligheten för en miljöfarlig verksamhet ska kunna prövas måste en bedömning av verksamhetens miljöpåverkan vara möjlig. Inför prövningen av en verksamhet ska verksamhetsutövaren även visa hur verksamheten ska kontrolleras. När det gäller verksamhetsutövarens egenkontroll så finns grundregeln i 26 kapitlet 19 § MB. Tillstånds- och anmälningspliktiga verksamheter omfattas även av förordningen (1998:901) om verksamhetsutövarens egenkontroll. Verksamhetsutövaren ska kontrollera verksamheten på ett systematiskt sätt, hålla sig underrättad om verksamhetens miljöpåverkan och arbeta för att motverka eller förebygga olägenheter för människors hälsa och miljön.

För att utreda om en långsiktig stabilisering och solidifiering kan uppnås för förorenade muddermassor krävs noggranna undersökningar. Verksamhetsutövaren måste ha goda kunskaper om de olika föroreningarnas utbredning inom det område som ska muddras. Metoden för stabilisering och solidifiering (den s.k. s/s-metoden) måste anpassas till de aktuella massorna och till rådande förhållanden på den specifika platsen. Användning av muddermassor tillsammans med annat avfall på ett sätt som inte är miljömässigt lämpligt riskerar att orsaka problem i vattenmiljön och att nya förorenade områden skapas. En miljömässigt lämplig användning av avfall är en förutsättning för uppfyllelse av flera av våra nationella miljömål.

Det övergripande syftet med denna rapport är att sammanställa befintlig kunskap om s/s-metoder genom en litteraturstudie och en genomgång av erfarenheter från större projekt. Målsättningarna har varit att:

- göra en sammanställning av projekt i Norden där s/s-metoden använts, där det även framgår vilka metoder och bindemedel som har använts, egenskaperna hos det avfall som har stabiliserats/solidifierats, eventuella speciella platsspecifika förhållanden, resultat från eventuell uppföljning samt anläggningens ålder.
- beskriva vad som är känt angående fastläggningsmekanismerna för de bindemedel som används vid s/s behandling för vanligen förekommande föroreningar i muddermassor.
- ge förslag på undersökningar som användare av s/s-metoden bör genomföra för bedömning av erhållen effekt på utlakningsegenskaper.

- ge förslag på uppföljande kontrollundersökningar som användare av s/s-metoden bör genomföra samt diskutera möjliga strategier för att utvärdera beständighet och långtidsegenskaperna hos s/s behandlade massor.
- identifiera kunskapsluckor och behov av fortsatta studier.

Studien är inriktad på de stabiliserade massornas egenskaper, dvs källtermen sett i ett riskbedömningsperspektiv. En bedömning av en s/s-anläggnings miljöpåverkan ligger utanför ramen för denna studie. Bedömning av miljöpåverkan kräver att hänsyn tas till förutsättningar på platsen, detta kan göras platsspecifikt eller genom uppställande av en eller flera generella scenarier, samt eventuellt även bindemedlens CO₂ påverkan.

Observera att geotekniska aspekter på de stabiliserade massornas egenskaper tas endast upp i de sammanhang då det är relevant från ett utlakningsperspektiv.

Kapitel 2, *s/s metoden-en introduktion*, och kapitel 3, *Rekommendationer-undersökningar och kontroll*, är avsedda att kunna läsas fristående och är avsedda för den som vill snabbt skaffa sig en överblick av metoden och ta del av rekommendationer (map nödvändiga undersökningar). Kvalitetsaspekter med avseende på de olika utförandemetoderna för stabilisering omfattas inte.

2 S/S METODEN – EN INTRODUKTION

2.1 Allmänt

Stabilisering/solidifieringmetoden är i grunden en enkel teknik där man blandar in ett bindemedel i muddermassor med avsikt att minska mobiliteten för föroreningar samtidigt som materialets deformationsegenskaper och hållfasthet förbättras genom skapandet av en tät kropp för användning i en geokonstruktion (t.ex hamnyta). Olika muddermassor har olika förutsättningar baserat på dess innehåll av organiskt och mineraliskt material samt innehållet av föroreningar. Ett lämpligt bindemedel skall uppfylla krav på teknisk funktion hos de s/s behandlade massorna, lakegenskaper, kostnad samt uppfylla de platsspecifika geotekniska och miljömässiga kraven (Holm et al. 2007).

En stabilisering kan syfta till att minska miljöpåverkande egenskaper genom att binda/omvandla föroreningar till en form som är mindre mobil men kan också resultera i enbart en geoteknisk stabilisering med en ökad bärighet. Med solidifiering avses att massorna omvandlas till en solid kropp med minskad hydraulisk konduktivitet. De bindemedel som framför allt används är cement och granulerad masugnsslagg (t.ex produkten Merit 5000) men även kalk, flygaska och bioaska från förbränning av biobränslen och speciella additiver förekommer.

Metalljoner kan immobiliseras genom flera olika mekanismer. De grundläggande styrande fysiska, kemiska och biologiska processerna är desamma och oberoende av materialets ursprung. Dessa kan grupperas enligt följande (Shi and Spence 2004):

- Kemisk fixering genom kemiska interaktioner mellan cementets hydreringsprodukter, främst kalciumsilikathydrat (C-S-H), och metallerna. Många metaller uppvisar dessutom en låg löslighet vid höga pH-värden (9-11), p g a att de faller ut som hydroxider.
- Fysikalisk adsorption av föroreningar till hydreringsprodukternas yta. Den stora ytarean av C-S-H kan adsorbera en stor mängd katjoner p g a en negativ nettoladdning.
- Fysikalisk inkapsling av förorening genom att materialets permeabilitet minskar.

Organiska föroreningar kan fastläggas eller brytas ned i cementmatrisen genom följande mekanismer:

- Adsorption
- Hydrolys
- Oxidation
- Reducering
- Bildning av organiska salter

Organiska föroreningar kan också förångas vid omblandning och vid temperaturhöjning.

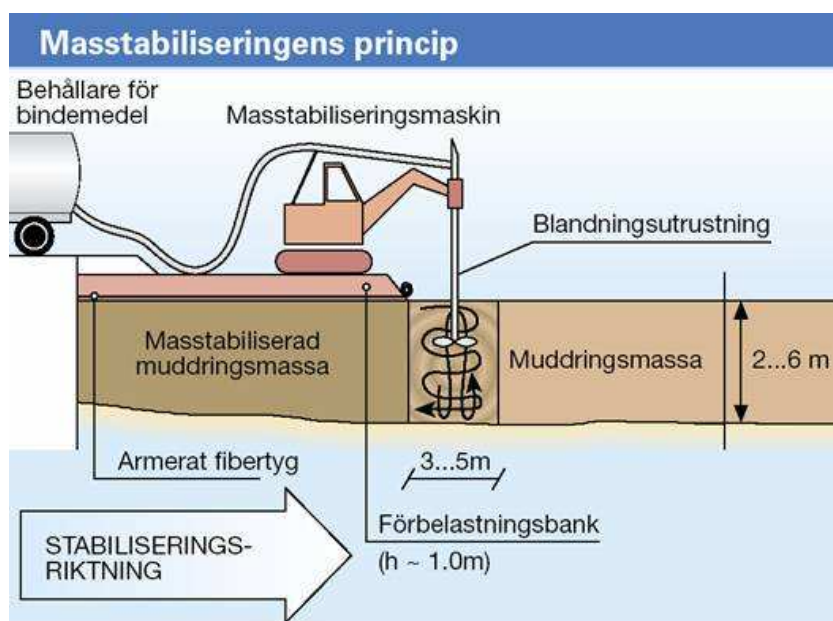
En negativ inverkan på hydratisering av cement kan beroende av massornas innehåll fås av bl a organiska föroreningar, organiskt material, klorid och sulfat (Bone et al. 2004) .

2.2 Utförande

De tekniker som används för att stabilisera/solidifiera muddermassor är:

- Direkt genom inblandning av bindemedel i muddermassorna på plats
- Vid en fast anläggning placerad vid en bindemedelsdepå
- Med en mobil anläggning placerad vid stabiliseringsobjektet

Den förstnämnda tekniken kallas masstabilisering och de två sistnämnda benämns ofta processtabilisering. Masstabilisering utförs genom inblandning av bindemedel i muddermassorna som lagts på avsedd plats i geokonstruktionen. Vid processtabilisering tillsätts bindemedlet till muddermassorna i en blandningsstation varefter massorna läggs ut på den plats där de är ämnade i geokonstruktionen. Fördelen med processtabilisering är en bättre kontroll på att bindemedlet är inblandat i rätt mängd och homogent fördelat i den behandlade volymen. I Figur 1 redovisas principen för masstabilisering. Inblandningsverktyget är monterat på en modifierad grävmaskin och består av en utmatningsenhet och en hydraulisk blandare med vilken bindemedel blandas in i muddermassorna. Stabilisering genomförs i horisontell och vertikal riktning så att en så jämn inblandning som möjligt uppnås. Maximalt inblandningsdjup är ca 6 m. Vanligen läggs en förbelastningsbank på ca 1 m ut efterhand som massorna stabiliseras. Förbelastningsbankens funktion är dels att utgöra en överlast för att kompaktera materialet och påskynda sättningsförloppet och dels att utgöra arbetsyta för maskinen (Holm et al. 2009).



Figur 1. Princip för utförande av masstabilisering (Bild Mikko Leppänen, Ramboll Finland)

3 REKOMMENDATION - UNDERSÖKNINGAR OCH KONTROLL

3.1 Inledning

I detta kapitel ges kortfattade rekommendationer med avseende på nödvändiga undersökningar som användare av s/s-metoden bör genomföra vid bedömning av erhållen effekt på utlakningsegenskaper, samt förslag på uppföljande kontrollundersökningar vid tillämpning av s/s-metoden. Några möjliga strategier för att utvärdera beständighet och långtidsegenskaperna hos s/s behandlade massor tas också upp. Rekommendationerna är baserade på det underlag som finns redovisat i kapitel 4-7. Observera att geotekniska aspekter på de stabiliserade massornas egenskaper tas endast upp i de sammanhang då det är relevant från ett utlakningsperspektiv.

I första hand skall europeiska standarder (EN), implementerade i Sverige, användas för tester och undersökningar. Testerna skall utföras enligt beskrivning i respektive standard. Eventuella avvikelser i utförande skall dokumenteras och dess konsekvens för resultatet bör beskrivas.

Inom ramen för den tekniska kommittéen CEN/TC 351, Construction products: Assessment of release of dangerous substances, pågår ett arbete med att utforma harmoniserade europeiska standards för bygg och anläggningsprodukter, bl.a en standard för ytutlakning vilken är avsedd att tillämpas både på monolitiska, skiva/yta, och granulära material: CEN/TC351WG1 TS-2. Denna standard bygger på den nya ytutlakningstesten för monolitiskt avfall CEN/TS 15863/4 (vilken i sin tur bygger på den holländska standarden NEN 7345) och den holländska standarden för ytutlakning av granulära material NVN 7347. När CEN/TC351WG1 TS-2 implementeras i Europa bör den användas för karakterisering av ytutlakning av oorganiska och organiska ämnen från muddermassor och stabiliserade muddermassor.

Det finns ingen standard för hur tillverkning av stabiliserade provkroppar skall utföras.

3.2 Karakterisering av muddermassor

För karakterisering av muddermassor kan ett antal olika undersökningar och metoder användas, se Tabell 1. Det finns flera olika metoder att tillgå för att bestämma halten av ämnen (spår- och huvudelement) i olika typer av fasta material, och de flesta ger inte ett mått på den *totala* halten av det analyserade ämnet i materialet. Beroende på det fasta materialets egenskaper, mineralogisk sammansättning, valet av syra samt syrans koncentration, energitillförsel (uppvärmning) och kornstorlek kommer provet att lösa sig mer eller mindre vid uppslutningen (Benz and Enell 2009). För haltbestämning av oorganiska ämnen rekommenderas metod SS-EN 13657 vilken innebär uppslutning med kungsvatten (HNO₃/HCl). För bestämning av det organiska innehållet i muddermassorna rekommenderas SS-EN 13137 *Karakterisering av avfall - Bestämning av totala mängden organiskt kol i avfall, slam och sediment*.

Halten av följande organiska ämnen bör bestämmas: PAH (16 enskilda) PCB (7 enskilda) samt TBT. För val av metod bör man rådgöra med det analyslaboratorie som anlitas.

Tabell 1. Karakterisering av muddermassor. De undersökningar som är markerade med ett kryss i högerkolumnen rekommenderas att vara ett krav.

Egenskap	Undersökningar	
Föroreningsinnehåll och geokemi	Halt av spår- och huvudelement, SS-EN 13657 (uppslutning med kungsvatten).	✗
	Halt av organiska ämnen: PAH (16 enskilda) PCB (7 enskilda) samt TBT	✗
	Skaktest SIS-EN 12457 ¹⁾	✗
	Granulärt ytutlakningstest NVN 7347 ²⁾	
	pH-statisk lakning SIS-CEN/TS 14997	✗
	Undersökning av fastläggningsmekanism genom kemiska jämviktsberäkningar (geokemisk modellering)	
	Undersökning av mineralogi och mikrostruktur ³⁾	
Organiskt material	SS-EN 13137	✗
Geotekniska egenskaper	Benämning, vattenkvot, och kornstorleksbestämning ⁴⁾	✗

¹⁾ alternativt kan ISO/TS 21268-2 användas, vilken även medger analys av organiska ämnen.

²⁾ alternativt CEN/TC351WG1 TS-2, vilken även medger analys av organiska ämnen.

³⁾ Exempel på metoder ges i kapitel 7.

⁴⁾ Kan försvåras av om massorna innehåller mycket organiskt material.

Muddermassorna består vanligen av finkornigt sediment och organiskt material, vilket gör att perkolationstest vanligtvis ej går att genomföra. De tester som är tillämpliga är skaktest: - SIS-EN 12457 alternativt ISO/TS 21268-2 som medger analys även av organiska ämnen. -Ytutlakningstest för granulära material enligt den holländska testen NVN 7347 alternativt CEN/TC351WG1 TS-2, vilken även medger analys av organiska ämnen.

Samtliga eluat och vattenprov bör analyseras med avseende på spår- och huvudelement, DIC (dissolved inorganic carbon, dvs löst oorganiskt kol), DOC (dissolved organic carbon, dvs löst organiskt kol), pH, redoxpotential och konduktivitet. Vid användning av test ISO/TS 21268-2 och CEN/TC351/WG1 TS-2 (se fotnot till tabell 1 ovan) analyseras även följande organiska föreningar i eluatet: PAH (16 enskilda) PCB (7 enskilda) samt TBT.

3.3 Lämplighetstest s/s behandling

Processen för en lämplighetstest av s/s-behandling av förorenade muddermassor bör bestå av tre delmoment: (i) Screening för val av bindemedel och bindemedelsmängd (ii) Fördjupade laboratorieförsök för verifiering av (a) geotekniska egenskaper och (b) fastläggnings effekt med avseende på föroreningar (iii) Pilotförsök i fält för verifiering av geoteknisk och miljömässig funktion hos den planerade konstruktionen där de stabiliserade massorna ingår. I kapitel 7 finns en mer ingående beskrivning av lämplighetstest. I Tabell 2 beskrivs vilka undersökningar och metoder som bör ingå i ett lämplighetstest. De undersökningar som är markerade med ett kryss i högerkolumnen rekommenderas

utgöra en miniminivå för de undersökningar som bör utföras. Övriga föreslagna undersökningar kan ge grundläggande information om hur föroreningarna är fastlagda, vilket är avgörande för att kunna göra förutsägelser om beständigheten hos s/s-behandlade massor.

Tabell 2. Ingående undersökningar i lämplighetstest. De undersökningar som är markerade med ett kryss i högerkolumnen rekommenderas vara ett krav.

Delmoment lämplighetstest	Undersökningar	
Screening för val av bindemedel och bindemedelsmängd	Skaktest SIS-EN 12457 ¹⁾	✗
Fördjupade laboratorieförsök för verifiering av effekt	Ytutlakningstest CEN/TS 15863/4 ²⁾	✗
	pH-statisk lakning SIS-CEN/TS 14997	✗
	Undersökning av fastläggningseffekt genom kemiska jämviktsberäkningar (geokemisk modellering)	
	Undersökning av mineralogi och mikrostruktur ³⁾	
Pilotförsök för verifiering av effekt under fältförhållanden.	Fastprovtagning av de stabiliserade muddermassorna genom kärnbörning.	✗
	Skaktest SIS-EN 12457 ¹⁾ (på upptagna fastprov).	✗
	Ytutlakningstest CEN/TS 15863/4 (på upptagna fastprov). ²⁾	
	pH-statisk lakning SIS-CEN/TS 14997 (på upptagna fastprov).	
	Undersökning av fastläggningseffekt genom kemiska jämviktsberäkningar (geokemisk modellering)	
	Undersökning av mineralogi och mikrostruktur (på fastprov). ³⁾	
	Provtagning av porvatten i de stabiliserade massorna	✗
	Provtagning av omgivande grund- och ytvatten och analys av vattenprover, och/eller passiva provtagare,	✗
	Enaxliga tryckförsök (på upptagna fastprov)	✗
	Permeabilitet (på upptagna fastprov)	✗

¹⁾ alternativt kan ISO/TS 21268-2 användas, vilken även medger analys av organiska ämnen.

²⁾ alternativt CEN/TC351WG1 TS-2, vilken även medger analys av organiska ämnen.

³⁾ exempel på metoder ges i kapitel 7.

Samtliga eluat och vattenprov bör analyseras med avseende på spår- och huvudelement, DIC, DOC, pH, redoxpotential och konduktivitet.

Vi provtagning av porvatten, omgivande grund- och ytvatten och vid test ISO/TS 21268-2 och CEN/TC351WG1 TS-2 (se fotnot till tabell 2 ovan) analyseras även följande organiska föreningar: PAH (16 enskilda) PCB (7 enskilda) samt TBT.

Att använda vatten från platsen kan rekommenderas för tillverkning av provkroppar, eftersom vattenkemin kan påverka härdningsprocessen.

3.4 Kontroll och uppföljning

Baserat på laboratorie- och pilotförsöksresultaten tas ett kontroll- och uppföljningsprogram fram för kontroll av geotekniska och miljötekniska egenskaper. I Tabell 3 beskrivs vilka undersökningar och metoder som bör ingå. De undersökningar som är markerade med ett kryss i högerkolumnen rekommenderas vara ett krav.

Innan byggnation med s/s-behandlade muddermassor bör provtagning och analys av föroreningsförhållande i mark och omgivande grund- och ytvatten ske. Det är mycket viktigt att skaffat sig en god bild av föroreningssituationen i det aktuella området.

Det är också viktigt att undersöka vilka de verkliga blandningsförhållandena blir vid masstabiliseringen i fält.

Tabell 3. *Kontroll och uppföljning av geoteknisk funktion och att ingen oönskad emission sker*

Undersökningar		
	Undersökning av verkliga blandningsförhållanden i fält.	×
	Fastprovtagning av de stabiliserade muddermassorna genom kärnborring.	×
	Skaktest SIS-EN 12457 (på fastprov) ¹⁾	×
	Ytutlakningstest CEN/TS 15863/4 (på upptagna fastprov). ²⁾	
	Provtagning av porvatten	×
	Provtagning av omgivande grund- och ytvatten och analys av vattenprover (analys av minst Ca och föroreningar), och/eller passiva provtagare.	×
Geotekniska egenskaper	Enaxliga tryckförsök	×
	Permeabilitet	×

¹⁾ alternativt kan ISO/TS 21268-2 användas, vilken även medger analys av organiska ämnen.

²⁾ alternativt CEN/TC351WG1 TS-2, vilken även medger analys av organiska ämnen.

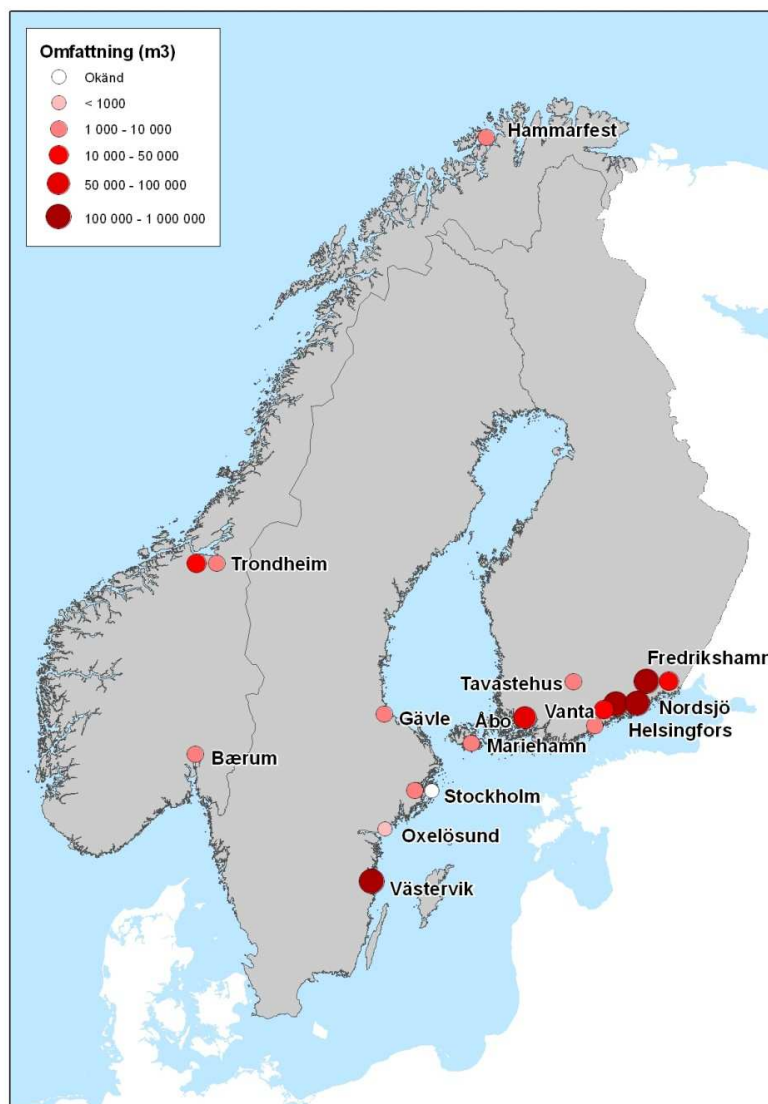
Samtliga eluat och vattenprov bör analyseras med avseende på spår- och huvudelement, DIC, DOC, pH, redoxpotential och konduktivitet.

Vi provtagning av porvatten, omgivande grund- och ytvatten och vid test ISO/TS 21268-2 och CEN/TC351WG1 TS-2 (se fotnot till tabell 2 ovan) analyseras även följande organiska föreningar: PAH (16 enskilda) PCB (7 enskilda) samt TBT.

4 NORDISKA ERFARENHETER

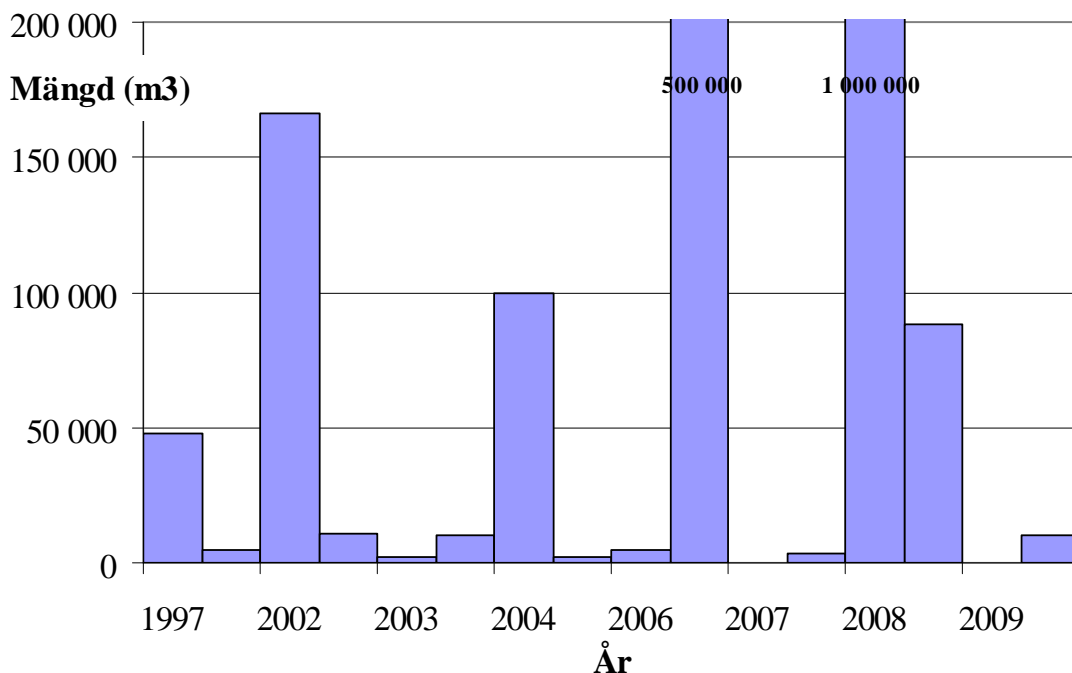
4.1 Översikt

Stabilisering/solidifiering har använts i ett antal fälttillämpningar och storskaliga projekt i Sverige, Norge och Finland. Inom ramen för kunskapsprogrammet *Hållbar sanering* genomfördes en studie av olika s/s-metoder. Studien finns redovisad i rapport 5696 *Stabilisering och solidifiering av förorenad jord och muddermassor* (Holm et al. 2007). I rapport 5696 redovisas ett antal exempel på när s/s-metoder har använts. Omfattande forsknings- och utvecklingsarbete har bedrivits under senare år i Norden inom bl.a. Eureka-projektet STABCON (Stabilisering/solidifiering av förorenade sediment och muddermassor) och inom det pågående Baltic Sea Region projektet SMOCS (Sustainable Management of Contaminated Sediments in the Baltic Sea).



Figur 2. Platser där s/s metoden tillämpats för förorenade muddermassor i Norden. Omfattningen på projekten är uttryckt som stabiliserad mängd (m^3) massor.

De nordiska projekt där s/s-metoden använts för att behandla förorenade muddermassor har sammanfattats i Bilaga 1. Arton projekt har identifierats inom Norden. Omfattningen av dessa projekt och deras geografiska placering illustreras i Figur 2. Mängden muddermassor varierar från mindre pilotprojekt upp till 0.5 miljon kubikmeter i hamnkonstruktionen för Vuosaari /Nordsjö hamn i Helsingfors och 1 miljon kubikmeter i tillståndet för muddring i Hamina hamn, Finland (Figur 3). De vanliga föroreningarna är en blandning av tungmetaller, tributyltenn (TBT), PAH och PCB i muddermassorna, vilket redovisas i bilaga 1.



Figur 3. Ungefärlig ålder och omfattning (m³) av stabiliseringen i de nordiska projekten. Varje stapel representerar ett projekt (se Bilaga 1).

Inom Eureka-projektet STABCON har omfattande laboratorieförsök gjorts avseende stabilisering/solidifiering av förorenade muddermassor från fyra svenska hamnar. Inom projektet har även ett fältförsök utförts i Oxelösund (se Bilaga 1) där en ny hamn vid Stegeludden planeras. De muddrade massorna placerades vid strandkanten i en bassäng omgiven av sprängstenvallar.

Inom SMOCS-projektet pågår för närvarande ett stort fältförsök i Gävle hamn med stabilisering/solidifiering av förorenade muddermassor innehållande metaller, PAH och PCB. Bindemedlet består av cement, Merit 5000 och flygaska. De behandlade muddermassorna kommer att användas för utfyllnad för hamnytor bakom kajer. Även Oxelösunds Hamn AB har fått tillstånd genom domslut i miljööverdomstolen att använda s/s-metoden för omhändertagande och återvinning av muddermassor.

Hammarby Sjöstad och Örserumsviken är två projekt i Sverige med stabilisering/solidifiering av förorenade muddermassor i Östersjön. I Hammarby Sjöstad var sedimenten förorenade med metaller och stabiliserades med cement och Merit 5000. I

Örserumsviken stabiliserades/solidifierades muddermassor förorenade med PCB, kvicksilver och PAH med cement.

I Finland finns erfarenheter sedan snart 15 år tillbaka av s/s-behandlade muddermassor. De finska projekten har genomförts i hamnar i Östersjön. I Sörnäs strand i Helsingfors genomfördes s/s av muddermassor förorenade med tungmetaller och PCB under år 2000. De behandlade muddermassorna placerades mellan befintlig strandlinje och en sprängstensvall (stödbank) mot havet. Muddermassorna bestod främst av lerig gyttja. I ett annat stort projekt, Nordsjö hamn i Helsingfors, användes s/s-metoden för att behandla muddermassor (lös lera) förorenade med TBT, PCB och metaller. Det senaste finska projektet är i Åbo hamn från 2008. I detta projekt användes processtabilisering. Muddermassorna var kraftigt förorenade med främst TBT och bestod främst av lös lera och lerig gyttja. Bindemedlet bestod av cement, masugnsslagg och flygaska. De stabiliserade muddermassorna placerades innanför sprängstensvallar som avgränsar mot havet.

I Hammerfest, Norge genomfördes ett projekt under 2006 där stabiliserade/solidifierade förorenade muddermassor användes i en konstruktion i anslutning till hamnen. Muddermassorna var förorenade med organiska ämnen och tungmetaller. Bindemedlet var cement. Det senaste norska stabiliseringsprojektet utfördes i Baerum, Oslo, vintern 2008/2009. De förorenade sedimenten muddrades upp och placerades innanför en spontvägg av betong. Bindemedlet bestod av cement och Merit 5000. De stabiliserade muddermassorna utgör grunden för den nya strandpromenaden och gästbryggan.

4.2 Bindemedel

I samtliga projekt i Norden (Bilaga 1) har cement används som bindemedel. Olika cementtyper har testats i laborietester, som t ex snabbcement, industricement eller sulfatresistiv cement. Cementen har ofta kombinerats med mald granulerad masugnsslagg som t ex Merit. Detta rapporteras i många fall ge en bättre fastläggning och högre stabilitet. En annan vanlig kombination var cement med flygaska, eller cement, Merit och flygaska (från förbränning av kol eller biomassa). Vid stabiliseringen i Trondheims hamn ledde inblandningen av flygaska i fas I till tekniska problem, varför den inte användes i fas II (Grini 2006). I några fall tillsattes (bränd eller släckt) kalk.

Kalk

Bränd eller osläckt kalk, CaO, uppstår när kalksten upphettas så att koldioxiden avgår, och kalciumoxid blir kvar. Släckt kalk, Ca(OH)₂, fås när den osläckta kalken kommer i kontakt med vatten och hydratiseras. Både bränd och släckt kalk används inom markstabilisering.

Det optimala förhållandet mellan cement, slagg och flygaska har provats fram i laborieförsök och varierade betydligt mellan de olika projekten.

4.3 Tester på laborietillverkade provkroppar

Vid laborietillverkning av provkroppar har fler bindemedel än cement, masugnsslagg, flygaska och kalk testats, men dessa har ej använts i fältförsök. På provkropparna

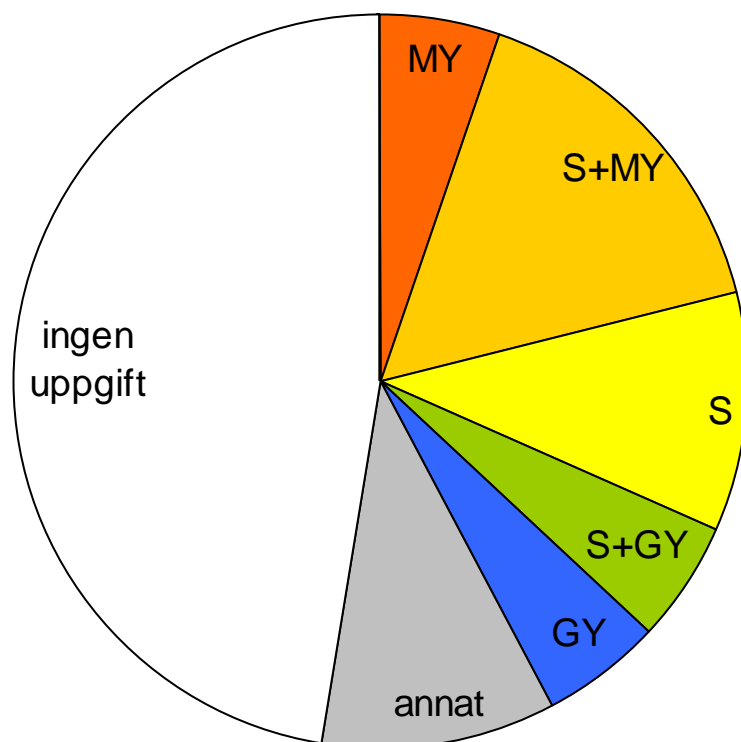
har vanligtvis tryckhållfastheten efter 28 dagar bestämts och i många fall även permeabiliteten. I Baerum gjordes också frys-tö tester och studier där inflytande av vatteninnehåll och temperatur på styrkan hos de stabiliserade massorna undersöktes (Maijala et al. 2009).

I Figur 4 redovisas vilka metoder som använts för att undersöka utlakningsegenskaperna hos de stabiliserade muddermassorna i de rapporterade projekten i Norden (Bilaga 1). Utlakningen av föroreningar har oftast testats på krossade provkroppar. I de norska fallen och inom de svenska STABCON-delprojekten användes skaktest (EN12457). I de finska fallen användes även diffusionstest för granulära material (NVN7347) och inom de Svenska STABCON-delprojekten också ytutlakningstest för monolitiska material enligt holländsk standard (NEN 7347), och även enligt förslag till ny europeisk standard (CEN/TS 15863). Vid skaktest skakas provet så att alla ytor kommer i kontakt med lösningen. Vid ytutlakningstest läggs prov och vatten i en behållare som står stilla under testet. Lakvätskan byts ut vid bestämda tidpunkter och analyseras m a p lösta ämnen. Utlakningshastigheten beror i detta fall av reaktionskinetik och diffusion.

Utlakningstester genomfördes i de flesta fall med kranvatten eller avjoniserat vatten som lakvätska. Avjoniserat vatten är förfarandet enligt standard. I Trondheim och Gävle genomfördes/planeras också tester med saltvatten, för att efterlikna lokala fältförhållanden.

Härdningsprocessen kräver vatten (se kapitel 5.2) och såvitt det går att bedöma har provkroppar i de flesta fall tillverkats med det vatten som fanns i muddermassorna. Att använda vatten från platsen kan rekommenderas för tillverkning av provkroppar, eftersom vattenkemin kan påverka härdningsprocessen.

Där finns ingen standard hur tillverkning av provkroppar skall utföras vilket sannolikt medför stor spridning i resultat mellan olika laboratorier.



Figur 4. Utförda laboratorietester i de nordiska projekten (n=18, se Bilaga 1) för att undersöka utlakningsegenskaperna hos de stabiliserade muddermassorna. MY=monolitisk ytutlakningstest NEN7345; S=skaktest EN12457; GY=granulär ytutlakningstest NVN7347.

4.4 Kontroll under utförandet

Det tekniska utförandet är mycket viktigt för kvaliteten på den slutliga stabiliserade produkten (Fleri and Whetstone 2007). I det material som funnits till förfogande (se referenser i bilaga 1) framgår att vanligtvis kontrollerades vattenhalten på de ingående muddermassorna och mängden ingående bindemedel vid utförandet. I några fall har prover tagits ut efter det att bindemedel har blandats in för att verifiera att rätt mängd bindemedel tillsatts.

Under processen var det också vanligt med kontroll av påverkan på recipienten, genom t.ex turbiditetsmätningar och provtagning med passiva provtagare för att kontrollera spridningen av föroreningar. Oftast sker mycket av föroreningstransporten bundet till partiklar och turbiditeten anses därför vara ett enkelt mått på föroreningstransport. Passiva provtagare (DGT för metaller och SPMD för organiska föroreningar) ackumulerar föroreningar från vattnet under en längre period och medger därför detektion av låga koncentrationer av föroreningar. Med passiva provtagare får man dock ingen information om den partikelbundna och kolloidalt bundna föroreningstransporten.

