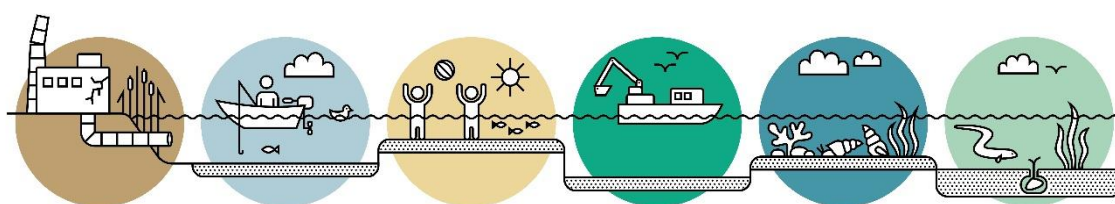
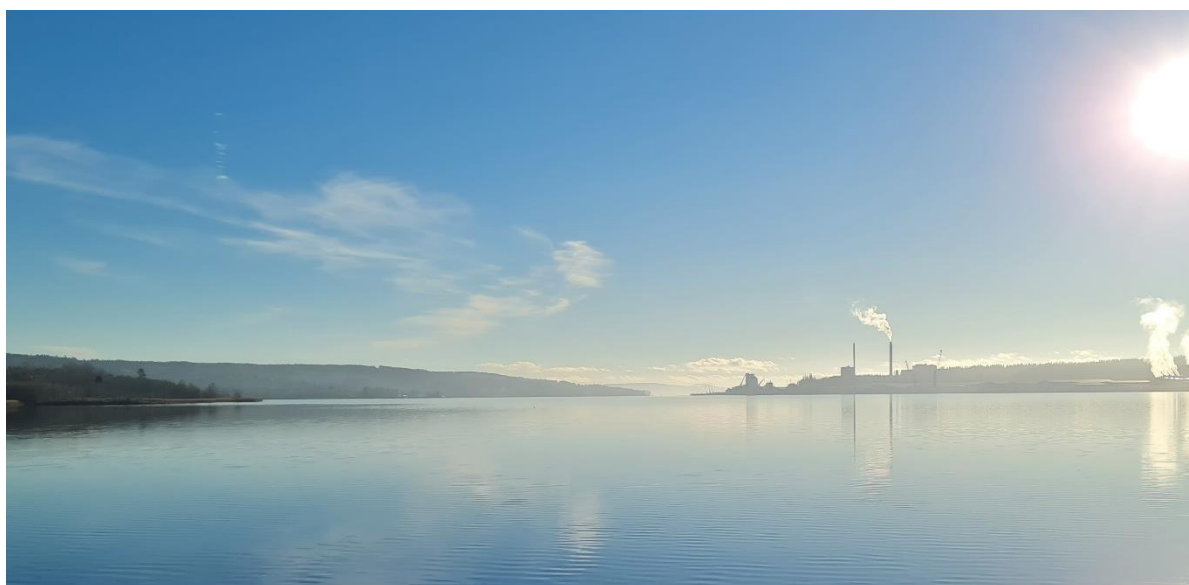


Behovsanalys och översikt av potentiellt nya åtgärdsmetoder för förorenade sediment

2025-07-07



Denna rapport har tagits fram av Structor Norr på uppdrag av SGU.

Behovsanalys och översikt av potentiellt nya åtgärdsmetoder för förorenade sediment

2025-07-07

Innehåll

1. Inledning.....	4
1.1. Bakgrund och syfte.....	4
1.4 Metod, material och avgränsningar	4
2. Översikt av förorenade sediment i Sverige	5
3. Motiv och orsak till muddring av bottensediment	7
3.1. Industriella utsläpp och gamla deponier.....	8
3.2. Hamnområden och farleder.....	8
3.3. Dagvatten och urban påverkan	9
3.4. Framtidsperspektiv	9
4. Etablerade åtgärdsmetoder i Sverige.....	10
4.1. Muddring.....	11
4.2. In-situ metoder	13
4.3. Ex situ-behandling	15
4.4. Omhändertagande av muddrade sediment.....	16
5. Problembeskrivning och behovsanalys	17
6. Metoder.....	18
6.1. In-situ metoder	18
6.1.1. Övertäckning	18
6.2. Ex-situ metoder	19
6.2.1. Muddring.....	19
Contained dredging system – CDS.....	20
Pneumatisk muddring.....	20
6.3. Avvattningsmetoder.....	21
Centrifug	21
Frysavvattning	22
Mekaniska pressar	23
Elektrokinetisk behandling.....	24
6.4. Omhändertagande av muddrade massor/kvittblivning	24
6.4.1. Deponering i havet	24
6.4.2. Kompostering	25
6.4.3. Hydrotermisk karbonatisering (HTC).....	25
6.4.4. High Performance Solidification and Stabilization (HPSS)	26
6.4.5. Pellets.....	27
6.4.6. Fraktionsavskiljande metoder	27
7. Projekt och anläggningar internationellt	28
8. Sammanfattning	29

9. Slutsats.....	30
10. Referenser.....	32

Bilageförteckning

Bilaga 1 – Sammanfattning av kapitel 6

1. INLEDNING

1.1. Bakgrund och syfte

Sedan 2013 pågår i Sverige en myndighetssamverkan för en renare vattenmiljö med temat ökad kunskap och effektiva åtgärder av förorenade sedimentområden. Samverkan inkluderar Naturvårdsverket (NV), länsstyrelserna, Sveriges geologiska undersökning (SGU), Statens geotekniska institut (SGI) och Havs- och vattenmyndigheten (HaV). Insatserna har intensifierats genom två miljömålsrådsåtgärder, regeringsuppdraget för förorenade sediment (RUFS) 2017–2023 och ytterligare ett regeringsuppdrag 2023–2025. Sedan 2023 går arbetet under namnet SESAM (sedimentsamverkan mellan myndigheter). Inom SESAM pågår flera aktiviteter för att uppnå de färdplaner och målbilder som är fastställda till och med 2027. Structor Norr har inom ramen för SESAM fått i uppdrag att göra en behovsanalys och en översikt av potentiellt nya åtgärdsmetoder för förorenade sediment. Uppdraget, som utgörs av en litteraturstudie, redovisas i denna rapport där:

- Kapitel 1-2 syftar till att ge en komprimerad överblick över förorenade sediment i Sverige.
- Kapitel 3–4 syftar till att sammanställa kunskap och beskriva nuläget för hantering av förorenade sediment och redogöra för specifik problematik relaterad till förorenade sediment.
- Kapitel 5–8 syftar till att ge en översikt över potentiella åtgärds- och behandlingstekniker och sammanfattar kända för- och nackdelar med dessa.

1.4 Metod, material och avgränsningar

Arbetet har utförts som en litteraturstudie. Underlaget till kapitel 1-4 utgörs främst av material som tagits fram inom RUFS och SESAM, exempelvis:

- Erfarenhetsåterföring från projekt med förorenade sediment, (SGU, 2022)
- Åtgärder av förorenade sediment -erfarenheter från genomförda projekt, (SGU, 2022)
- Varför riskerar sedimentprojekt att stanna av, (SGU, 2021)
- Slutredovisning av regeringsuppdrag om förbättrad kunskap för hantering av förorenade sediment, 2022

Andra rapporter och hemsidor som varit till stor användning är bland annat:

- Interstate Technology Regulatory Council (ITCR), “Contaminated Sediments Remediation – Remedy selections for Contaminated Sediments”
https://projects.itrcweb.org/contseds_remedy-selection/
- Central Dredging Associations (CEDA) hemsida där bland annat information om pilotförsök med fokus på nyttiggörande av muddrade sediment (både förorenade och rena) har erhållits (CEDA, 2025)

- Den grønne manual - Norske erfaringer av förorenade sediment – åtgärdsmetoder och sanering” finns i en svensk översättning utgiven av Länsstyrelsen i Västra Götalands län och innehåller erfarenheter, beskrivningar och sammanfattning från genomförda projekt i Norge (COWI, 2013).

Avgränsning

Metoder såsom MNR (monitored natural recovery) och fyto remediation ingår ej i denna litteraturstudie.

2. Översikt av förorenade sediment i Sverige

Sediment är en del av det akvatiska ekosystemet och utgör livsmiljö åt bottenlevande växter och djur. Förorenade sediment återfinns ofta i anslutning till samhällen eller industrier och består av sediment som förorenats direkt eller indirekt av antropogen påverkan. De kan innehålla föroreningar från både nya och historiska utsläpp liksom de kan vara påverkade av både punktkällor och/eller diffus belastning, då akvatiska miljöer genom sedimentationen binder föroreningar över tid. Punktkällor kan utgöras av avloppsvatten eller processvatten från industrier och diffus belastning kan härstamma från bil- eller fartygstrafik, dagvatten eller atmosfärisk deposition. Att fastställa föroreningarnas ursprung är ofta komplicerat, eftersom de kan härstamma från flera olika verksamheter och många källor kan vara bidragande.

Förorenade sediment kan utgöra en risk dels för bottenlevande organismer, dels för organismer längre upp i näringsväven genom bioackumulering. Bedöms området, på grund av konstaterade föroreningar, utgöra en risk för negativ påverkan på miljö eller människors hälsa ska avhjälpande åtgärder genomföras enligt 10 kap. miljöbalken (MB). Sådana insatser är en viktig del för att uppnå det nationella miljömålet *Giftfri miljö*, men bidrar även till flera andra miljömål såsom *Levande sjöar och vattendrag*, *Levande kust och skärgård* och *Hav i balans*.

Arbete med förorenade sediment

Inom Sverige har arbete med förorenad mark pågått under en lång tid och det finns en väl etablerad metodik för inventering och riskklassning, s.k. MIFO-modellen (Metod för inventering av förorenade områden) (NV, 1999). Då fokus hittills har varit på markföroreningar finns det nu ett behov av att intensifiera arbetet med inventering, undersökning och avhjälpandeåtgärder i sediment. Genom Miljömålsrådsåtgärder och regeringsuppdrag har flera kunskapssammanställningar, vägledningar och metodbeskrivningar tagits fram samtidigt som fältundersökningar, erfarenhetsåterföringar och pilotprojekt finansierats.

Vid slutredovisning av RUFS sammanfattas kort resultaten från de intervjuer och sammanställningar som ingått (NV, 2022). Sammanfattningen visar på att ansvarsutredningar, brist på fungerande verktyg och underlag för undersökning och riskbedömning ofta orsakar fördröjningar i arbetet. Intervjuerna visar att det i snitt tar 10–11 år att utreda och åtgärda förorenade sediment och att majoriteten av sedimentprojekten åtgärdas i kombination med markförorening. Generell kunskapsbrist är ett problem genom hela processen, speciellt om andra åtgärdsmetoder än schaktsanering ska tillämpas.

Det framkommer även att avsaknaden av samordnade data gör det svårt att få en nationell överblick över förorenade sedimentområden. Detta beror på informationssystemens struktur och på bristande samordning. RUFS-slutredovisning lyfter också bristen på data från pågående verksamheter som kan påverka sediment, vilket komplicerar inventering och prioritering av potentiellt förorenade sediment. Dessutom försvårar frånvaron av fastställda haltgränser för många sedimentföroreningar genomförandet av tillförlitliga riskanalyser för vattenkvalitetsbedömningar.

Förorenade sediment i Sverige

För att finna information om förorenade sedimentområden är EBH-stödet, Länsstyrelsernas databas över potentiellt förorenade områden, det främsta arbetsverktyget i dagsläget. I EBH-stödet kopplas ett objekt (mark eller sediment) till en branschklass baserat på vad för typ av verksamhet som bedöms ligga till grund för föroreningsskadan. Som underlag för detta finns den så kallade *branschlistan* som bygger på den inventering av förorenade områden som pågick mellan 1999-2015 och kontinuerligt uppdateras.

Andra databaser och register där information kan finnas om åtgärder som berör sediment är mark- och miljödomstolarnas register, vilket innefattar alla avgöranden som prövats av mark- och miljödomstol i första instans. Detta webbaserade verktyg är dock endast tillgängligt för behöriga handläggare. Vatteninformation Sverige (VISS) är en databas som visar klassningar och kartor över alla Sveriges större sjöar, vattendrag och grundvatten (VISS, 2025). Databasen har utvecklats av vattenmyndigheterna, länsstyrelserna och Havs- och vattenmyndigheter och den förvaltas av Länsstyrelsen i Jönköping.

På kunskapsnoden *renasediment.se* finns en sammanställning av exporterade data från EBH-stödet och VISS. I EBH-stödet finns 405 identifierade sedimentområden varav 77 har bedömts utgöra en mycket stor risk (klass 1 enligt MIFO) och cirka två femtedelar stor risk (klass 2). Nästan en tredjedel av objekten är ännu inte riskklassade (Renasediment.se, 2025). I VISS fanns under förvaltningscykel 2017-2021 totalt 873 vattenförekomster som är statusklassificerade baserat på halter i sediment, varav strax över en fjärdedel har statusklassningen ”ej god”. (Renasediment.se, 2025)

3. Motiv och orsak till muddring av bottensediment

Under hösten 2023 genomförde SGU en enkätundersökning inom branschen förorenade områden med fokusområdet sediment. Enkäten besvarades av totalt 91 personer varav 63 slutförde enkäten. De tillfrågade var personer ur yrkeskategorierna tillsynsmyndighet, statlig myndighet, problemägare, entreprenör, konsult, FoU-utförare och jurist. Resultaten finns att ta del av i rapporten *”Enkätundersökning om förorenade områden 2024 – fokusområde sediment”* (Vestin & Ladekrans, 2024).

I enkäten ingick bland annat frågor om de tillfrågade hade erfarenhet av sedimentåtgärder och vilka åtgärder som de hade arbetat med. Av 39 personer som besvarade metodfrågan så svarade 92% att de hade erfarenhet av muddring med deponering lokalt eller på annan plats. Efter muddring kom övertäckning och ”spridningsminskande åtgärder från föroreningskällor på land” som näst vanligaste metoderna, därefter kom stabilisering in situ eller på deponi. Deltagarna fick även frågan ”Vilka är enligt dig de vanligaste motiven för undersökning och åtgärd av förorenade sediment?” där deltagarna fick välja tre alternativ ur en lista, de tre alternativen med flest röster var

- I samband med utredning av förorenade markområde (40 st., 62%)
- Utbyggnad av kaj eller annan konstruktion (37 st., 57%)
- Underhållsmuddring och fördjupning av farled (32 st., 49 %)

Enligt SGU:s rapport (2022:18) och ingående utdrag ur EBH-stödet (2021-10-29) framgår att de branschklasser med flest objekt där provtagning genomförts av sediment som primär/sekundär provtagningsmedia är sediment BKL 1, vilket innebär att objektet inte gått att koppla till en specifik bransch. I denna branschklass, tillsammans med sediment BKL 2, vet man dock med säkerhet att åtgärder som planeras eller har genomförts endast gäller sediment. Inom andra branschklasser kan åtgärderna omfatta både mark och sediment. Bland övriga branschklasser var de med flest objekt kopplade till förorenade sediment (både primära och sekundära undersökningsmedium) sågverk med doppning, följt av avfallsdeponier och träimpregneringsindustrier. Dessa kommer att beskrivas kort i följande kapitel.

Vanliga föroreningar i förorenade sediment är bland annat tungmetaller, PCB, dioxin, klorerade alifater, DDT, och PAH. I rapporten *”Varför riskerar sedimentprojekt att stanna av?”* publicerad av SGU 2021 återfinns utdrag ur EBH-stödet över identifierade förorenade sedimentobjekt i åtgärdsförberedande eller pågående efterbehandlingsfas och i avslutad efterbehandlingsfas. Ur den framgår att kombinerade föroreningar förekommer ofta och tungmetaller återfinns i majoriteten av objektet.

3.1. Industriella utsläpp och gamla deponier

Sverige har en stark skogsindustriell historia både i form av hantering och sågning av timmer till virke samt papperstillverkning med tillhörande processer. Träskyddsbehandling har bedrivits under lång tid i Sverige och olika slags impregneringsmedel har gett upphov till olika föroreningar. Den vanligaste metoden var användandet av kreosot, men vattenlösliga saltmedel med krom, arsenik, koppar, fosfor, bor, fluorider och eller zink har använts sedan 1940-talet. Medel innehållandes pentaklorfenol användes från 1950-talet och fram till klorfenolförbudet 1977. Detta är ett urval av impregneringsvätskor och ofta användes flera olika vätskor inom samma verksamhet under olika tidsperioder (Länsstyrelsen Jämtlands län, 2016).

Vid många sågverk användes doppimpregnering för att skydda virket mot s.k. blånadsskador (orsakade av blånadssvamp). Denna process innebar i många fall användning av klorfenolpreparat där dioxiner förekom som en oönskad biprodukt. Detta har resulterat i att flera sågverksområden är förorenade med både dioxiner och klorfenoler och i många fall både i mark och sediment. Andra föroreningar som kan förekomma vid sågverk är metaller och kolväteföroreningar från drivmedel och maskinell utrustning.

Historiskt har utsläpp av orenat avlopps- eller processvatten från större punktkällor såsom massaindustrier, gruvverksamhet eller kemisk industri varit en stor källa till förorenade vattenförekomster och sediment. Ett exempel på detta är fiberbankar och fibersediment som består av trä- eller cellulosafibrer som följt med processvatten från pappers-, massa eller träskiveindustrier ut i närliggande recipient. Detta fiberhaltiga sediment kan innehålla PCB, kvicksilver eller DDT tillsammans med andra föroreningar beroende på vilka tillsatskemikalier som användes i processen. Användningen av fenyلكvicksilverpreparat i syfte att konservera pappersmassa är en enskilt betydande källa till kvicksilverförorenade sediment i s.k. fiberbankar. I Sverige bedömdes det år 2017 finnas totalt 383 kända områden med potentiellt fibergenererande verksamheter (SGU, 2018).

Andra industrier som bidragit till sedimentföroreningar är gasverk, garverier, gruvindustri, varvsindustri och kemitekniskindustri.

3.2. Hamnområden och farleder

Muddring i hamnområden kan initieras både som avhjälpande av föroreningsskada och underhållsmuddring för att upprätthålla befintligt vattendjup eller för expanderingsverksamhet. Vanliga föroreningar i hamnområden är exempelvis tungmetaller, TBT, PCB och PAH.

Det är svårt att få en total överblick över muddringsåtgärder i hamnar och farleder. Mark- och miljödomstolar är skyldiga att föra ett register över avgöranden som rör vattenverksamhet, vilket är tillgängligt för behöriga handläggare i ett webbaserat verktyg. År 2022 gjorde SGU:s ett utdrag ur detta register för perioden 2000-2020 vilket redovisas i rapporten *Åtgärder av förorenade sediment – erfarenheter från genomförda projekt*. Detta visade på 80 avgöranden i kategorierna "Allmänna hamnar,

far- och flottningsleder” och ”Övriga anläggningar” som innefattade muddring. Av dessa gällde fem mål rena efterbehandlingsåtgärder, 73 mål hamn- och farledsåtgärder och två mål övriga anläggningar. I 30 av dessa framgår tydligt att dispens till dumpning av muddermassor har erhållits (SGU, 2022). I flera hamnar har muddermassorna återanvänts genom solidifiering och stabilisering (s/s), bland annat i Gävle hamn, Köpings hamn, Västerås, Oxelösunds hamn och Oskarshamns hamn (Havs- och Vattenmyndigheten, 2018).

Två exempel på muddringsprojekt i hamnområden som pågår i just nu är Malmporten i Luleå och Skandiaporten i Göteborg.

- Malmporten (Luleå): Sveriges, största muddringsprojekt i modern tid, där en ny djuphamn anläggs och nya landytor skapas med hjälp av muddermassor. Föroreningshalten i sediment avgör om massorna dumpas på angiven plats med efterföljande skyddstäckning eller om massorna används i landbyggnaden. Totalt beräknas cirka 21 miljoner m³ muddermassor hanteras (Luleå hamn, 2021).
- Skandiaporten (Göteborg): Farledsfördjupning och kajförstärkning för att möta framtida sjöfartsbehov. Totalt beräknas ca 11 miljoner m³ muddras varav ca 250 000 m³ bedöms innehålla föroreningar som kräver särskild åtgärd. För övriga massor har dispens för dumpning erhållits (Sjöfartsverket, 2025).

3.3. Dagvatten och urban påverkan

Genom en växande urbanisering ökar avrinningen av metaller, näringsämnen och andra föroreningar via dagvatten till närliggande recipienter. Om dagvattenhanteringen inte är tillräckligt effektiv sker ackumulering av dessa ämnen i bottensediment, vilket på längre sikt kan föranleda muddringsåtgärder.

3.4. Framtidsperspektiv

Effekter av klimatförändringar såsom höjda havsnivåer, översvämningar orsakade av mer frekventa och kraftiga skyfall samt ökad risk för ras, skred och erosion innebär en ökad risk för spridning av föroreningar från sediment och mark till omgivande miljö. I vissa delar av landet pågår en landhöjning vilket gör att förorenade sediment på lång sikt kan exponeras för vågerosion.

Invasiva arter räknas som ett stor hot mot biologisk mångfald och i dagsläget finns det 2000 främmande arter varav drygt 400 räknas som invasiva (NV, 2025), vilket inkluderar växter, svampar, vattenlevande organismer och vattenväxter. Muddring kan i vissa fall användas för att bekämpa ett lokalt bestånd av invasiva vattenlevandeväxter genom att fysiskt avlägsna rot- och rhizomfragment.

Ökade godstransporter till sjöss leder till att fartygens storlek och djupgående tenderar att öka inom handelsflottan i en strävan efter mer kostnadseffektiva transporter. Detta skapar ett högre tryck på våra hamnar och farleder vilket skapar behov av muddring för att uppnå ökat vattendjup.

Fältundersökningar inom regeringsuppdraget RUFS visar att föroreningar i sediment är vanligt förekommande och att föroreningsbilden ofta är komplex. Genom flera samtidigt förekommande föroreningar ökar risken för kombinationseffekter.

Läkemedelsrester, klorparafiner, organofosfater och siloxaner framträder som relevanta och frekvent förekommande, men deras detektions- och rapporteringsgränser behöver sänkas för att motivera regelbunden provtagning och analys (Porsbring et al., 2024). Detta i kombination med andra riskämnen såsom PFAS, ställer nya krav på både analysmetodik och provtagningsmetoder.

4. Etablerade åtgärdsmetoder i Sverige

Vid beslut om avhjälpande åtgärder i förorenade sediment finns ett flertal alternativa åtgärdsmetoder att tillgripa och oftast blir slutresultatet en kombination av flera. I SGU:s rapport *"Varför riskerar sedimentprojekt att stanna av?"* (2021) redovisas en nationell sammanställning över förorenade sedimentobjekt som kommit till åtgärdsförberedande fas eller längre. Där framgår att cirka två tredjedelar av saneringarna i sediment genomfördes i samband med åtgärder av förorenad mark. Den visar också att de flesta projekten har genomförts med gräv- och eller sugmuddring som åtgärdsmetod, och i enstaka projekt i kombination med exempelvis övertäckning. Avvattnings skedde oftast i sedimentationsbassänger eller geotuber och de vanligast förekommande föroreningarna var metaller, PAH:er och PCB. Även vid sedimentområden i åtgärdsförberedande eller pågående efterbehandlingsfaser var gräv- och/eller sugmuddring det vanligaste alternativet.

Nedan följer en kortfattad beskrivning av ovan nämnda, vanligaste metoderna som hittills använts i Sverige med syfte att underlätta vidareläsning tillsammans med en kort referens till projekt där metoderna använts. För ytterligare läsning om åtgärdsmetoder av förorenade sediment rekommenderas webbsidan Åtgärdsportalen (SGF), Naturvårdsverkets rapport *"Efterbehandling av förorenade sediment"* (2003), Nordiska Ministerrådets rapport *"Contaminated sediments: review of solutions for protecting aquatic environments"* (2019) och Havs- och Vattenmyndighetens rapport *"Muddring och hantering av muddermassor"* (2018).

4.1. Muddring

Muddring är den vanligaste metoden för åtgärder i sediment för behandling ex-situ och det är framför allt två metoder som används; mekanisk eller hydraulisk muddring.

Mekanisk muddring

Mekanisk muddring innebär att man gräver upp sediment med hjälp av ett grävaggregat vilket antingen är placerat på land eller på en pråm. Grävmaskinen kan vara utrustad med en skopa, två skopor eller flerskopeverk (s.k Pater Nosterverk) där skoporna drivs av ett ändlöst kedjeband. Särskilda skopor finns framtagna för att minska spill och grumling samt för att öka precisionen (exempelvis gripskopa och s.k. miljöskopa). Vid grävuddring bibehålls sedimentens ursprungliga vattenhalt i högre utsträckning än vid exempelvis sugmuddring. Tekniken innebär också att fasta föremål och hinder kan hanteras under grävning och det finns ett urval av gripverktyg och skopor för detta ändamål. Utförande under kalla förhållanden (minusgrader) är möjligt men innebär ökade arbetsmiljörisker. För vidare hantering av muddermassorna utanför strandnära områden krävs transport in till land vilket vanligtvis sker med pråm. I Tabell 1 nedan följer ett urval av efterbehandlingsprojekt där mekanisk muddring har använts.

Tabell 1. Exempel på projekt där mekanisk muddring genomförts

Objekt	Huvudman	Kommun	Status/tidsperiod
Fagerviks f.d. sulfitmasefabrik	Timrå kommun	Timrå	2008-2012
Stenborgskanalen	Gävle kommun	Gävle	2009-2010
Stugsundsudden	Söderhamns kommun	Söderhamn	Slutfört, 2012
Åsbro impregnering	SGU	Askersund	Slutfört, 2025
Järpen f.d. massafabrik	SGU	Åre	Slutfört, 2024

Frysmuddring

Ytterligare en variant av mekanisk muddring är frysmuddring. Vid frysmuddring fryses sedimenten ned i sammanhängande flak/block och därefter lyfts de upp på land. Detta görs antingen genom att en fryscell med vertikala rör pressas ned i sedimenten eller genom att en flat fryscell placeras på botten. En fryscell med vertikala rör används främst för att nå ett djupare muddringsdjup, dock är metoden känslig för eventuella föremål eller grövre material. Den flata cellen är lämpad för grundare muddringsdjup. Frysmuddring är tids- och energikrävande och därmed också en relativt kostsam metod. Metoden orsakar dock lite grumling, har en hög precision och kan bidra till att sedimentens torrsubstanshalt ökar väsentligt vid upptining genom att materialet varit utsatt för så pass låga temperaturer vilket gör att även cellbundet vatten kan avgå. I Tabell 2 nedan visas projekt där frysmuddring använts.

Tabell 2. Visar projekt där frysmuddring har genomförts

Objekt	Huvudman	Kommun	Status/tidsperiod
Hälleviks hamn	Sölvesborgs kommun	Sölvesborg	2012
Akzo Nobel	Akzo Nobel	Sundsvall	2008
Vassijaure pilotförsök	Samarbete mellan Banverket och LTU	Gällivare	2002

Hydraulisk muddring

Hydraulisk muddring innebär att man suger upp sediment och använder vattnet för att förflytta sedimenten i form av en slurry i ett slutet system. Detta ger en låg spridning av partiklar och växtdelar i jämförelse med exempelvis grävuddring. Transport från mudderverket sker genom pumpning via pumpledning till land. Genom att vattnet utnyttjas som transportmedel medför detta en ökad volym sediment med en högre vattenkvot i jämförelse med grävuddring, därför krävs avvattning och vid behov behandling av rejektvattnet.

Metoden är känslig för fasta föremål på botten, såsom timmer, större sten/block och skrot. Dessa behöver separat hantering för att inte hindra framdriften. Val av flödes hastighet och dimension på pumpledning avgör hur grovt material som kan transporteras. Vid hårdare material kan ett skärande muddringsaggregat användas.

Det är möjligt att sugmuddra med högt eller lågt flöde, högt flöde är det vanligaste. Lågflödesmuddring är en teknik under utveckling och används främst i insjöar med problem med övergödning där syftet är att skonsamt suga upp det översta lagret av fosforberikade sediment. Försök pågår där detta material avvattnas och kan användas som gödsel på åkermark. Exempel på platser där lågflödesmuddring använts är sjön Öljaren (Katrineholms kommun), Malmfjärden (Kalmar kommun) och även i ett pilotförsök i Ala Lombolo (Kiruna kommun). I Malmfjärden har lågflödesmuddring använts för att komma till rätta med näringsrikt sediment som även innehöll kadmium och bly. I Ala Lombolo har ett pilotförsök genomförts 2019 där en fjärrstyrd flotte har utfört densitetsstyrd lågflödesmuddring i områden där OXA (oexploderad ammunition) funnits på sjöbotten.

Exempel på efterbehandlingsprojekt där ”traditionell” sugmuddring har utförts under senaste åren redovisas i Tabell 3.

Tabell 3. Urval av projekt där "traditionell " sugmuddring använts

Objekt	Huvudman	Kommun	Status/tidsperiod
Håstaholmen f.d. sågverk (etapp 2)	Hudiksvalls kommun	Hudiksvall	2018-2023
Svartsjöarna	SGU	Hultsfreds	1995-2011
Karlshäll träsliperi	Luleå kommun	Luleå	2005-pågående
Åsbro impregnering	SGU	Askersund	2006-2025

4.2. In-situ metoder

Övertäckning och inneslutning

Syftet med täckning och inneslutning är att minska risken för vidare spridning till omgivande miljö och exponeringsrisken för bottenlevande djur och växter. SGI's serie ”*In-situ övertäckning av förorenade sediment, publikation 30*” presenterar i flera rapporter olika övertäckningsalternativ vilka rekommenderas för fördjupande läsning då metoderna endast beskrivs kortfattat i denna rapport.

Täckning kan göras på flera olika sätt där största skillnaderna ligger i val av täckmaterial (reaktivt eller konventionellt) och materialets tjocklek. De två tillvägagångssätten är isolationstäckning och tunnskiktstäckning. Syftet med isolationstäckning är att genom fysisk isolering av de förorenade sedimenten hindra exponering av de förorenade sedimenten för bottenlevande organismer. Väljs ett reaktivt material för täckningen så tillkommer kemisk isolering vilket hindrar föroreningar från att vandra i materialet. Utöver detta så består metoden vanligen av fysisk täckning och stabilisering för att hindra eventuell erosionspåverkan, detta innebär att täckningen byggs upp i flera olika ”lager”.

Vid tunnskiktstäckning används inte s.k. ”lager-på-lager” -uppbyggnad utan utformning och mäktighet på täckningen avgörs i stället av materialets reaktivitet och förväntat bioturbationsdjup.

I Tabell 4 redovisas projekt har övertäckning/isolationstäckning använts som metod, ensam eller i kombination med muddring.

Tabell 4. Projekt där övertäckning/isolationstäckning har använts som metod, ensam eller i kombination med muddring.

Objekt	Huvudman	Kommun	Status/tidsperiod
Oskarshamns hamnbassäng	Oskarshamns kommun	Oskarshamn	1999-2025
Södra hamnen	Helsingborgs stad	Helsingborgsstad	pågående
Turingen	Nykvarns kommun	Nykvarn	1995-2004
Tollaren	Bonava Sverige AB, NCC	Nacka	2007-2019
Åsbro impregnering	SGU	Askersund	2006-2025
Fagervik f.d. sulfitmassafabrik	Timrå kommun	Timrå	2008-2012

Stabilisering/solidifiering (s/s)

Stabilisering och solidifiering (s/s) är en metod som syftar till att omvandla sedimentens kemiska och fysikaliska egenskaper så att riskerna för exponering och spridning av föroreningarna elimineras. Detta sker antingen genom kemisk omvandling för att minska föroreningarnas mobilitet och biotillgänglighet eller genom tillsats av bindemedel fysikaliskt förändra massornas egenskaper. Stabilisering och solidifiering kan både ske på plats in-situ och efter att materialet muddrats och hanteras på land (ex-situ). Vidare läsning om s/s metoden kan göras i rapporterna ”Vägledning för nyttiggörande av muddermassor i hamn- och anläggningskonstruktioner” (SGI, 2011) och ”Stabilisering och solidifiering av förorenade jord och muddermassor” (NV, 2007).

I Tabell 5 visas exempel på projekt där denna metod har använts.

Tabell 5. Projekt där stabilisering/solidifiering har använts

Objekt	Huvudman	Kommun	Status/tidsperiod
Gävle hamns farled	Gävle	Gävle	avslutad
Sickla kaj	Stockholms stad	Stockholms stad	2000-2002
Biorefinery Östrand	SCA	Timrå	pågående

4.3. Ex situ-behandling

Efter att sedimenten muddrats krävs det ofta behandling på land i form av avvattning innan vidare hantering. Beroende på vilken teknik som använts ser behovet olika ut. Exempelvis vattenhalten i sedimenten skiljer sig kraftigt åt vid grävuddring och suguddring. Det går att översiktligt dela in metoderna för avvattning i tre kategorier:

- Aktiv avvattning
- Passiv avvattning
- S.k. halvpassiv avvattning

Aktiv avvattning utnyttjar maskinell utrustning såsom exempelvis silbandspressar och centrifuger. Metoden kräver energi och kan, beroende på val av teknik, ha begränsningar utifrån material som ska behandlas samt kapaciteten i förhållande till muddringens framdrift.

Frysavvattning är en typ av aktiv avvattning och det innebär att material tas upp på land, homogeniseras och därefter fryses ned. Fördelen med frysavvattning är att det kan ge en stor avvattningseffekt vilket medför en stor volymreduktion muddrat sediment, minskat behov av transporter och mindre mängd sediment för kvittblivning.

Passiv avvattning sker vanligtvis genom sedimentering i en anlagd bassäng/laguner. Vattnet kan därefter ledas vidare via överfall eller dräneras till omgivningen. Passiv avvattning är en enkel och billig metod som passar ett stort spann av olika typer av material. Metoden är dock tidskrävande och kräver tillgänglig yta för anläggandet av sedimentationsbassäng. Processen kan även påskyndas genom inblandning av stabiliserande tillsatser, t e x aska eller absorptionsmedel, i syfte att förbättra konsistensen inför borttransport.

Avvattning i geotuber är en metod som främst används i kombination med suguddring. Principen bygger på att bottensediment sugs upp i form av en slurry och pumpas genom en ledning in till en geotub på land. Geotuben består av geotextil och i tuben bildas ett övertryck som gör att vattnet pressas ut genom geotextilen och sedimenten kvarhålls i själva tuben. Polymer kan tillsättas för att förbättra separationen av fastfas från vatten genom flockning. Detta kräver dock att valet av polymer i kombination med geotextil har optimerats för det projektspecifika sedimentet. Vid stor variation inom samma projekt av sedimentens egenskaper kan det finnas behov av att skifta polymer under arbetets gång. Geotuber kan staplas på varandra i lager vilken kan effektivisera den landyta som krävs för lagring och avvattning av sedimentet.

Rejektvattnet som uppkommer från geotuberna kan beroende på föroreningsgrad samlas upp för vidare rening eller släppas tillbaka direkt till recipient. Geotuberna kan efter avslutad muddring ligga kvar och avvattnas ytterligare innan vidare hantering av massorna sker, såsom exempelvis deponering. Infrysning och efterföljande upptining över en vintercykel bidrar effektivt till ett torrare sediment genom ökad dränering av sedimentmaterialet i geotuben.

Exempel på åtgärdsprojekt där geotuber har använts för avvattning av muddrade sediment visas i Tabell 6.

Tabell 6. Ett urval av projekt där avvattning i geotuber använts

Objekt	Huvudman	Kommun	Status/tidsperiod
Håstaholmen f.d. sågverk (etapp 2)	Hudiksvalls kommun	Hudiksvalls kommun	2009-2023
Svartsjöarna	Hultsfreds kommun	Hultsfreds kommun	1995-2011
Karlshäll träsliperi	Luleå kommun	Luleå kommun	2006- pågående
Åsbro impregnering	SGU	Askersunds kommun	Slutfört 2025
Svärträsk gruvan	SGU	Storumans kommun	pågående

4.4. Omhändertagande av muddrade sediment

Vid hamn- och farledsprojekt är dumpning av massor till havs ett vanligt tillvägagångssätt, detta kräver dock dispens från förbudet mot dumpning 15 kap. 27 § miljöbalken. Vid avvattning på land krävs ett slutligt omhändertagande/kvittblivning. Det vanligaste alternativet för saneringsmuddringar är deponering vid mottagningsanläggning. I många fall innehåller sedimenten en förhöjd halt av organiskt material vilket är begränsande för vilka mottagningsanläggningar som kan ta emot materialet.

5. PROBLEMBESKRIVNING OCH BEHOVSANALYS

I SGI:s enkätundersökning (2024) fick deltagarna frågan om eventuella efterbehandlingsmetoder som de ansåg har potential att användas i större utsträckning i Sverige. Av de 91 enkätdeltagarna valde 24 att svara och flera personer lyfte att tekniker exempelvis frysmuddring behöver utvecklas liksom in situ lösningar såsom nedbrytning av organiska föroreningar, fastläggningsmetoder, naturlig självrening och fyto Remediering. I slutredovisningen av RUFS sammanfattas resultaten från de olika delprojekten, och där sammanfattas kort slutsatserna från intervjuerna att utförda i *"Varför riskerar sedimentprojekt att stanna av?"* och *"Erfarenhetsåterföring från projekt med förorenade sediment"*. Mycket av det som tas upp i rapporterna såsom förbättrad hantering av miljödata, informationsinsatser och fortsatt utveckling av vägledande dokument är aktiviteter som ingår i nu pågående regeringsuppdrag.

Utöver de punkter som finns med i rapporter ovan listas här andra områden där utmaningar kring arbete med förorenade sediment kan uppstå:

- Tillstånd för vattenarbeten från mark- och miljödomstol krävs för alla större efterbehandlingsprojekt avseende botten sediment. Vanligen innebär hanteringen av sedimenten också en miljöfarlig verksamhet. Tillståndprocessen kräver grundliga utredningar avseende potentiell miljöpåverkan under genomförandet och behovet av skyddsåtgärder. Vanligen krävs försök i pilotskala för att utreda effekterna från avvattning och behovet av vattenrening.
- I de flesta muddringsprojekt är en av utmaningarna de stora vattenmängderna som följer med muddermassorna, särskilt vid hydraulisk muddring. Många av de brukbara metoderna kräver stora ytor för avvattning och tekniska lösningar kan krävas för återföring av rektvatten/avvattning. Ett behov av nya tekniker som kan minska mängden vatten som behöver hanteras alternativt minska mängden massor ses.
- Stor andel av de svenska förorenade sedimentprojekten står inför utmaningar förknippade med fiberbankar då de förekommer i stora delar av landet och utgör en utmaning på grund av dess höga vattenhalt, låga stabilitet och hög andel organiskt innehåll. Alternativ till deponering och nya behandlingar av sediment likt detta behövs.

6. METODER

Följande kapitel syftar till att redovisa ett urval av åtgärdsmetoder som prövats i andra länder men ännu inte använts i Sverige och nya potentiella åtgärds- och behandlingsmetoder som prövats i mindre skala antingen internationellt och nationellt. Underlaget har inhämtats genom en internationell utblick i litteraturen och nedan följer en kortare beskrivning av några av de större rapporterna som använts i detta kapitel.

För djupare läsning om skillnaderna mellan de nordiska länderna rekommenderas Nordiska ministerrådets rapport *Contaminated sediments: Review of solutions for protecting aquatic environments* vilken ger en översikt av hur de nordiska länderna hanterar förorenade sediment och även erfarenheter från pilotförsök (Nordic Council of Ministers, 2019). Ytterligare litteratur är *Contaminated Sediments Remediation* utgiven av The Interstate Technology & Regulatory Council Contaminated Sediments Team (2014). Rapporten är framställd med syfte att vara ett praktiskt verktyg och vägledning för utvärdering och val av lämpliga tekniker och strategier för sanering av förorenade sediment. I Bilaga A finns ett antal referenser på fallstudier från perioden 1986 – 2013. Rapporten finns även digitaliserad på följande hemsida https://projects.itrcweb.org/contseds_remedy-selection/. Information om fler pilotförsök finns också på Central Dredging Associations (CEDA) hemsida där fokus är nyttiggörande av muddrade sediment (både förorenade och rena sediment) (CEDA, 2025). ”Den gröna manualen - Norska erfarenheter av förorenade sediment – åtgärdsmetoder och sanering” finns i en svensk översättning utgiven av Länsstyrelsen i Västra Götalands län och innehåller erfarenheter, beskrivningar och sammanfattning från genomförda projekt i Norge (COWI, 2013).

6.1. In-situ metoder

6.1.1. Övertäckning

In-situ övertäckningar är en internationellt erkänd och accepterad teknik för efterbehandling av förorenade sediment. I Sverige har det skett en svag ökning men metoden används ofta i kombination med ex-situ insatser, exempelvis att restföroreningar övertäcks efter avslutad muddring. Att använda övertäckning med ett reaktivt material är dock fortfarande ovanligt i Sverige. I tabell 3.1 i rapporten ”In-situ övertäckning av förorenade sediment – Metodöversikt” finns exempel på internationellt välkända och använda produkter med reaktiva material som kan användas för övertäckning (SGI, 2016). På ITRC (Interstate Technology Regulatory Council) finns en sammanfattning över material som är beprövade i fullskala och projekt där material enbart använts i labbskaleförsök inklusive referenser (<https://sd-1.itrcweb.org/>).

I regeringsuppdraget RUFs ingick fyra pilotprojekt där ett av projekten ”Biokolbaserad reaktiv barriär för täckning av förorenade sediment” syftade till att undersöka användningen av biokolbaserade reaktiv barriär för att övertäcka sediment förorenade med PAH:er och metaller. Projektet genomfördes som ett samarbete mellan Luleå universitet och Norges Geotekniska Institut och resultaten från labb- och fältförsök visade på att täckningen minskar föroreningars migration från sedimentmatrisen till vattnet, dock krävs längre mätperioder för att kunna se och utvärdera resultaten på långsikt. Men en reduktion av PAH-föroreningar på 80–100 % uppmättes ett år efter täcklagret installerades (Maurice, et al., 2022).

En fördel med tunnskiktmetoden (reaktiva material) är att den är applicerbar på ytor där muddring inte är möjlig, exempelvis på grund av tekniska begränsningar. En annan fördel är att tunnskiktstäckning kräver mindre material än traditionell täckning. Biokol kan dock ha negativ effekt på bottenfauna enligt erfarenheter från norska projekt, se Bilaga 1 i rapport ”*Biochar based capping of polluted sediment*” (Maurice, et al., 2022). En risk finns också för att bottenfauna genom bioturbation perforerar täckningen vilket möjliggör migrering av föroreningar. I sediment med gasbildning på grund av anaerob nedbrytning av organiskt material finns risk att gasbubblor kan tränga igenom täckningen och störa den.

Ytterligare ett projekt pågår där biokolbaserad reaktiv barriär används för täckning av sediment förorenade med flamskyddsmedel. Projektet startade under hösten 2023 och beräknas pågå fram till våren 2026. Projektet leds av Luleå tekniska universitet i samarbete med Norges Geotekniska Institut (NGI).

6.2. Ex-situ metoder

6.2.1. Muddring

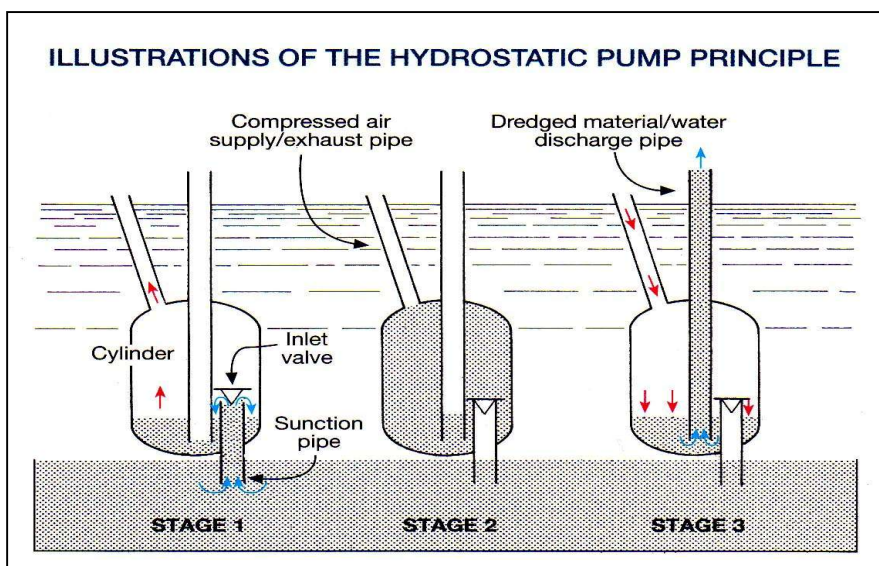
Inom muddringsbranschen finns tre huvudtyper av muddring; anläggnings-, underhålls- och miljömuddring. Anläggningsmuddring innebär ofta omplacering av stora mängder massor som i många fall är kompakta ostörda sedimentlager. Ofta krävs stora och i vissa fall specialiserade mudderverk för att kunna upprätthålla en hög framdrift och hantera stora mängder massor. Underhållsmuddringar är ofta regelbundna och förebyggande med syfte att regelbundet avlägsna naturligt ackumulerande sediment för att bibehålla befintligt djup och bredd i farleder och hamnområden. Vid miljömuddring är syftet att avlägsna sediment som utgör en risk för omgivningen på grund av sitt föroreningsinnehåll. Detta kan innebära att det rör sig om mindre mängd massor med höga föroreningshalter, större utmaningar när det kommer till förebyggande åtgärder för spridning till omgivningen under åtgärd. Oftast kan det röra sig om tunna lager av lösa massor som ska muddras vilket gör att större noggrannhet krävs. I detta kapitel beskrivs kortfattat två muddringsmetoder som ännu inte använts i Sverige; *contained dredged system* (CDS) och pneumatisk muddring. Båda metoder kan användas vid tre ovan beskrivna typer av muddring.

Contained dredging system – CDS

Hydrex är ett internationellt företag som arbetar med undervattenstjänster. De har tagit fram en metod vid namn CDS (contained dredging system). Metoden går ut på att sugmuddringen sker i en container fylld med komprimerad luft. Detta minskar risken för att orsaka grumling och bidrar till att hålla nere mängden vatten som följer med upp på land. Genom att erhålla torrare muddermassor minskar behovet av hantering av rejektvatten. I containern/lådan finns även en kamera vilket gör att det går att övervaka muddringen i realtid. Containern går att installera på en vanlig grävmaskin. Metoden har prövats på sandiga sediment och ett pilotförsök pågår just nu där metoden ska användas för att muddra i Essviks fiberbank i Sundsvalls kommun, Västernorrlands län. Projektet är ett samarbete mellan Sundsvalls kommun, SGI och Hydrex och titeln är ”Pilottest av CDS-metoden på fibersediment” och kommer att pågå mellan 2025-2029 (SGI, 2025).

Pneumatisk muddring

Pneumatisk muddring är en metod som använder statiskt vattentryck och komprimerad luft inuti cylindrar. Mudderhuvudet består av två eller tre tryckcylindrar som fungerar som kolvpumpar. Var och en av de tre cylindrarna fylls med slam på grund av mottryck som uppstår från en hydrostatisk pelare och ett inducerat vakuum. När cylindern är fylld fungerar den komprimerade luften som en kolv och sedimenten pressas då till pumpledningen. För att upprätthålla ett jämt flöde används tre cylindrar. Pumpen har inga roterande delar eller mekanismer i kontakt med sedimenten vilket minimerar risken för grumling.



Figur 1. Illustration över principen vid pneumatisk muddring. (Pneuma IT, u.d.)

Metoden finns i olika storlekar på muddringshuvud med flödeshastigheter från 80–1 800 m³/h. Fördelar med metoden är främst att risken för grumling är låg, ingen resuspension, hög TS-halt (upp till 70%) i sedimentslurryn och att metoden klarar stora muddringsdjup (upp till 100 m). Systemets begränsningar är bland annat att den inte är

lämpligt för muddring av grus, kompakt lera och bergmaterial och att metoden är känslig för skrot/skräp på botten.

Pneumatisk muddring har använts bland annat i Collingwood hamn (1993) där 8 000 m³ förorenade sediment muddrades som en del i ett projekt där nya saneringsmetoder prövades och utvärderades i rapporten ”*Sediment remediation case studies*” (International Joint Commission Great Lakes Water Quality Board, 1997). Metoden fungerade väl och efter muddringen användes pumpsystemet för att leverera fyllnads- och täckningsmaterial till den *contained disposal facility* (CDF) som konstruerades. Även för det ändamålet uppges metoden fungera bra (International Joint Commission Great Lakes Water Quality Board, 1997). I ett pilotprojekt i Sandefjord (2001-2003) användes pneumatisk muddring tillsammans med två sugmudderverk för en jämförelse. Det visade att pneumatisk muddring var känslig för skrot på botten vilket ledde till täta driftstopp, dock gav metoden en TS-halt på 15–25 % vilket möjliggjorde deponering utan avvattning i geotuber (NIVA, 2005).

6.3. Avvattningsmetoder

I muddringsprojekt är en av de stora utmaningarna vattenmängderna som följer med muddermassorna, speciellt vid hydraulisk muddring. För vidare omhändertagande av muddermassorna på land genom deponering eller annan behandling krävs därför en effektiv avvattning. Traditionella metoder som sedimentering ger ökad TS-halt men massorna har fortfarande ett relativt högt vatteninnehåll. Genom att uppnå en effektiv avvattning kan en betydande minskning av materialets volym ske, vilket skapar förutsättningar för ett mer kostnadseffektivt omhändertagande av restmaterialet.

I följande kapitel beskrivs centrifugering, frysavvattning och mekaniska pressar.

Centrifug

Centrifugering är en mekanisk metod som utnyttjar centrifugalkraften för att separera solida partiklar från en vätskefas. Metoden används ofta inom avloppsreningsverk, vattenrening och inom industrin där man behöver urskilja slam/partiklar från vätskor.

Fördelar med metoden är hög avvattningsgrad, kontinuerlig drift, och relativt kompakt utrustning. Dess nackdelar är bland annat energiförbrukningen, då den kräver mer energi än exempelvis gravitationsbetingande processer såsom sedimentationstankar. Metoden är också mer komplex än till exempel passiva metoder.

”DESET”

Ett slovakiskt bolag vid namn ProGroup har utvecklat en metod vid namn ”DESET” för att kunna använda centrifugering i kombination med sugmuddring för avvattning av muddermassor. Systemuppbyggnaden består av ett mudderverk som sugmuddrar och pumpar sedimenten till arbetsområdet där materialet får passera över vibrerande skärmar för en avskiljning av grövre material. Därefter följer homogenisering av det kvarvarande materialet. Efter homogenisering tillsätts en flockningspolymer och slurryn pumpas in i en dekantercentrifug. Från centrifugen faller fasta partiklar ut och

rejektvatten. Vid behov kan ytterligare behandling av rejektvatten läggas till för att fånga upp eventuella lösta föroreningar.



Foto 1. Foto över uppställning av DESET (Foto: ProGroup).

Fördelar med DESET är:

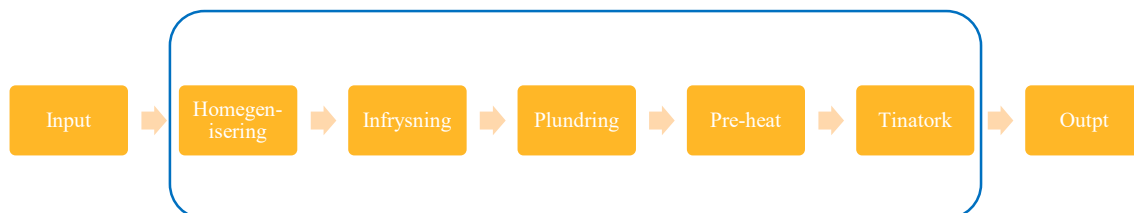
- Att metoden minskar mängden massor genom att avskilja grovt material.
- Enkel att skala upp/ned beroende på projektets behov (från 100-400 m³/h)
- Kan köra bort massor löpande vid behov.

Centrifugalkraften används även i så kallad hydrocykloner, även kallat cyklonfilter. De är en centrifugalseparatator som separerar fasta partiklar från vätskan genom att vätskan roteras snabbt, vilket får de tyngre partiklarna att falla ned på grund av gravitation och centrifugalkraft. Denna metod används i flera större stationära anläggningar såsom METHA och AMORAS i Antwerpen och Hamburg för sandavskiljning, se kapitel 7 för beskrivning av de specifika anläggningarna.

Frysavvattning

Luleå kommun genomförde tillsammans med WSP Sverige AB ett pilotprojekt inom regeringsuppdraget för förorenade sediment (RUFS). Pilotprojektet omfattade frysavvattning av fibersediment och genomfördes i anslutning till det saneringsprojekt som pågått i Karlshäll i Notviken i Luleå älv. Resultaten redovisas i slutrapporten *"Frysavvattning av fibersediment- Pilotprojekt nr 4 inom RUFS, regeringsuppdrag om ökad kunskap för åtgärder av förorenade sediment"* (2022).

Frysavvattnings som metod innebär att först frysa ned och därefter tina upp sedimenten och genom denna process kunna avskilja vatten i sedimentmatrisen som inte avskiljs vid traditionella metoder. Det är en aktiv avvattningsmetod som drivs med elektrisk energi. I pilotprojektet såg uppställningen av den utrustning som nyttjades ut enligt Figur 2, där den blå markering visar vilka processteg som skedde i en container. Input innebär muddringen av själva sedimenten (WSP, 2022).



Figur 2. Flödesschema över processtegen i avvattningsanläggningen, figuren är hämtad från slutrapport för pilotprojektet (WSP, 2022) . Blå rektangel markerar steg som är integrerad i container.

Resultaten från pilotprojektet tyder på att frysavvattnings är en tillämpbar metod för att effektivt avvattna kvicksilverförorenade fibersediment och uppnå en mycket hög torrsustanshalt (81–82 %). Energiförbrukningen under pilotförsöket låg på mellan 43–45 kWh/ton processat material och i projektet processades 0,5 ton per dygn. Större delen av energiförbrukningen skedde vid infrysningen, vilket genererade spillvärme som kunde användas vid *pre-heat* och *tina-tork* stegen (se Figur 1). Den TS-halt som uppnåddes med frysavvattnings innebär att förbränning av förorenade sediment med hög organisk halt kan bli ett kostnadsmässigt intressant alternativ. Dock medförde den höga TS-halten problem med damning varför det i slutsatserna föreslås att torkningen skulle kunna avbrytas vid en lägre TS-halt. Möjligheter att föravvattna sedimenten genom antingen sedimentation eller avvattnings i geotub innan frysavvattnings nämns i rapporten som ett intressant alternativ. Metoden genererade en liten mängd rejecktatten, dock kan ytterligare rening i form av partikelavskiljning krävas innan utsläpp till recipient.

Sammanfattningsvis visar pilotprojektet att frysavvattnings är en lovande teknik för effektiv avvattnings av förorenade fibersediment, vilket leder till betydande volymreduktion och potential för kostnadseffektiva omhändertagande. Vidare utveckling och optimering är dock nödvändiga för att maximera metodens potential för tillämpningar i fullskala.

Mekaniska pressar

Muddrade massor med hög vattenhalt kan utgöra utmaningar i avseende på kvittblivning och omhändertagande. Silbandspressar, filterbandpress och membranfilterpress är olika typer av mekaniska pressar som kan användas vid avvattnings av sediment. Gemensamt är att de kräver elenergi för drift, flertalet av metoderna kräver någon form av förbehandling (avskiljning av grövre material exempelvis eller tillsats av flockningspolymer). Se kapitel 7 för exempel där pressar används i stationära avvattningsanläggningar.

Elektrokinetisk behandling

Elektroosmos innebär att en likström induceras mellan en anod och katod och genom detta uppkommer en elektrisk potential i matrisen vilket ger effekten elektroosmos (vätskor i rörelse i ett elektriskt fält genom ett poröst material). Metoden används på jord förorenade av tungmetaller och vissa organiska föroreningar, tester har även utförts på PFAS-förorenad jord.

Vid ett samarbete mellan Lahti universitet och Helsingfors universitet har denna metod applicerats på marina sediment i kombination med geotuber (Kostia, et al., 2012). Sedimenten var förorenade med organiska tennföroreningar, metaller och PAH:er. Försöket var gjort i labbskala där s.k. "hangingbags" i geotextil fyllda med sediment med en hög lerhalt kopplades till elektroder och likström applicerades. Anoden placerades i sedimentlurryn och katoden placerades utanför geotextilen. Försöket visade på att en sju timmar lång behandling gav samma resultat som 72 timmars kontrollbehandling. Sedimentvolymen minskade med upp till 32% till skillnad från kontrollprovet som minskade 14 % efter 189 timmar. Studien sammanfattas med att elektroosmos kan vara en effektiv metod för att öka avvattningen av muddrade sediment i geotuber (Kostia, et al., 2012). Elektrokinetisk behandling ger dock upphov till pH-förändringar vilket i sin tur kan påverka löslighet och laddningen för vissa föroreningar.

6.4. Omhändertagande av muddrade massor/kvittblivning

6.4.1. Deponering i havet

Kvittblivning av muddermassor till havs är en vanlig metod i Sverige främst vid större farledsmuddringar eller hamnexploateringar. Vid avhjälpande åtgärder på grund av föroreningar är det inte en lika vanlig metod, internationellt är så dock inte fallet. Det går att dela upp dumpning i dumpning till havs och dumpning i strandzonen (även kallad CDF – confined disposal facility). Dumpning i strandzonen används främst när det finns ett behov av landvinning och utrymmen att skapa dessa. Denna metod är väl använd internationellt, se rapporten "Den gröna manualen" för lista på ett tjugotal amerikanska projekt där CDF-använts. Även i Norge har metod använts bland annat vid ett muddringsprojekt vid Haakonssvern örlogsstation, Trondheim hamn och även i Mosjoen hamn. En gigantisk CDF är lokaliserad i sjön Ketelmeer i Nederländerna. Sjön ligger vid floden IJssels mynning och tar emot stora mängder sediment från flodens avrinningsområde. Sjön har ett vattendjup om < 3 m där det översta 0,3-0,6 m var kraftigt förorenat. Under 1990-talet togs ett beslut om att åtgärda sjön och en CFD anlades där de förorenade sedimenten placerades. CDF blev en konstgjord ö vid namn IJsseloog och har en kapacitet på 20 miljoner m³ (IADC, 2019).

I tidigare nämnda projekt i Sandefjorden (Norge) användes geotuber för deponering undervattnet (NIVA, 2005). I ett projekt i Aker Stord verft (Norge) placerades muddrade massor i geotuber i en strandzonsdeponi (COWI, 2013). Liknande kan ses internationellt där geotuber (med rent material) placeras för att skydda strandnära miljö mot erosion och även som vågbrytare.

I Sverige ökar användningen av metoden CDF, men främst i kombination med STSO för att bygga nya landytor. Fördelar med metoden är att de kan ta emot stora mängder material, flexibel lösning och i vissa fall kan ytan omdanas till landområde. Nackdelar är bland annat hög anläggningskostnad, kräver mark-/vattenområde, påverkan på bentiska faunan, finns risk för läckage och kräver långsiktigt underhåll och tillsyn.

CAD – contained aquatic disposal innebär att muddrade sediment placeras i en naturlig eller konstruerad sänka/bottenfördjupning och därefter sker en övertäckning. Metoden kallas även undervattensdeponering. Denna metod är vanlig i USA, ofta i kombination med andra metoder. Även i Norden har metoden använts bland annat i Oslofjorden 2006–2011 där 440 000 m³ förorenade massor muddrades och placerades i en djupvattensdeponi (ca 70 m) och övertäcktes med 40 cm ren sand (COWI, 2013). Fördelar med denna metod är bland annat minimal markanvändning då konstruktionen anläggs på sjö- eller havsbotten, snabbare genomförande tid i jämförelse med en CDF som kan vara i drift under flera år. Nackdelar med metoden är att det kan finnas begränsat urval av lämpliga platser, svårare att övervaka i jämförelse med en CDF och en permanent påverkan på bottenmiljön (NFESC, 2005).

6.4.2. Kompostering

I Sverige finns stora mängder fiberbankar och fiberrika sediment både längs kusten och i älvar och sjöar. Ofta är de förorenade med metaller och långlivade organiska föroreningar såsom PCB, PAH och klorerade bekämpningsmedel. På grund av materialets höga organiska halt kan problem uppstå vid kvittblivning av muddrat material då sedimenten överskrider mottagningsanläggningarnas gräns för TOC-halt (total organic carbon). Mittuniversitetet (MIUN) genomför just nu ett projekt (Fiber2Comp) som ingår i SGI:s externa forsknings- och teknikutvecklingsprogram TUFFO som syftar till att ta fram en ny applikation av bioremediering för en etablerad teknik: industriell kompostering i behållare. Projektplanen är först att genomföra försök i laboratorieskala som därefter valideras i pilotskala. Projektet pågår mellan 2023–2026. Projektet är ett samarbete mellan MIUN och bland annat företaget Structor Norr AB.

6.4.3. Hydrotermisk karbonatisering (HTC)

Hydrotermisk karbonatisering (HTC) är en teknik där våt biomassa kan omvandlas till en fast kolanrikad produkt (hydrokol) genom uppvärmning under högt tryck och syrefria förhållanden men med vattennärvarande. Fyra olika hydrotermiska metoder har testat på material från fiberbankar i projektet TERMOSAN (Termokemisk sanering och produktion av kommersialiserbara produkter av fiberbanksmaterial). TERMOSAN är ett av delprojektet som genomfördes inom regeringsuppdraget RUFS. Projektet genomfördes av Mittuniversitetet i samarbete med Järven Ecotec. De olika metoderna var HTC, hydrotermisk förvätskning (HTL), pyrolys och förgasning. Försöken gjordes i laboratorieskala visade på att det är möjligt att producera gas, olja och kol genom HTL, HTC och långsam pyrolys även med ett fiberbanksmaterial med hög halt mineraliskt sediment som råmaterial, dock krävs fler studier för att en kunna skapa rena slutprodukter (NV, 2022).

Metoden OxyPower HTC™ bygger på HTC i kombination med våtoxidering och är framtagen av C-Green som sedan 2019 har en fullskalig demonstrationsanläggning hos Stora Enso (Finland) med syfte att omvandla brukets bioslam till ett mer fördelaktigt bränsle till brukets energipanna. Metoden OxyPower HTC™ har prövats i projektet FIB-GREEN på fiberbankar inom SGI:s externa forsknings- och teknikutvecklingsprogram. Projektet har varit ett samarbete mellan Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala universitet och företaget C-Green och har pågått under perioden 2021-2024. Resultaten visade att samtliga testade sedimentsorter (tre olika) kunde omvandlas till hydrokol (kol bildad genom hydrotermisk karbonisering) i labbskala. Metoden som använts är OxyPower HTCTM teknik. Hydrokolen hade ett högt energivärde och en mindre volym (70-88%) samt högre densitet jämfört med det ursprungliga fibersedimenten. Detta gör att hydrokolet lättare kan förbrännas i en avfallsklassad anläggning till skillnad från enbart avvattnat sediment. Genom volymreduktionen minskar också behovet av transporter och förenklar hanteringen av materialet. Studien visar att det finns potential att omvandla fibersediment till hydrokol med OxyPower HTC™ tekniken. För närmare beskrivning av processen se rapporten "Omvandla fibersediment till hydrokol" (Dahlberg, et al., 2024).

6.4.4. High Performance Solidification and Stabilization (HPSS)

HPSS står för High Performance Solidification and Stabilization och är en variant av STSO (stabilization and solidification). Till skillnad från traditionell STSO (som ofta använder restprodukter från industrin så använder HPSS specifikt anpassade och/eller kommersiella produkter. Metoden lämpar sig för metaller och organiska föroreningar. I Venedig genomfördes ett fullskaligt projekt där 8 000 m³ metallförorenade sediment behandlades med HPSS-metoden (COWI, 2013). Uppställningen såg i Venedig ut som följande:

- Muddrade sediment transporteras till mellanlagringen för lätt avvattnings
- Massorna skiktas och större föremål/objekt avskiljs
- Siktade massor transporteras till en blandstation där specifikt anpassat bindemedel tillsätts.
- Därefter går blandningen till en roterande mixerskiva i vilken kulformade granulat produceras i storleken (4-20 mm). Granulatet är nu fritt från finpartiklar (< 2 mm).
- Stabilisering av granulatet sker vid rumstemperatur.
- Vid behov kan destillation av granulatet utföras. Genom detta avlägsnas alla oönskade organiska föroreningar. (COWI, 2013)
- Det slutliga granulatet kan användas för olika byggnadsändamål.

Fördelar som lyfts med metoden är att den är lämplig för flera olika föroreningar, applicerbar på stora volymer och ger ett högt återanvändningsvärde för sedimenten. Nackdelar är att metoden kräver relativt stor yta för mellanlagring av massor, att den är bulleralstrande och kräver cement och elenergi.

6.4.5. Pellets

Länsstyrelsen i Jönköpings län genomförde under åren 2014–2022 två projekt tillsammans med Länsstyrelserna i Kalmar och Östergötland. Projekten byggde på varandra och var finansierad av Havs- och Vattenmyndigheten för att utreda möjligheterna att använda näringsrikt ytsediment från övergödda sjöar som gödning på odlingar på land. I projekten prövades flertal olika nya metoder bland annat att ”hyvla” av de översta 10 cm av bottensedimenten för vidare pumpning till avvattningsytan men även att pressa de avvattnade muddermassorna till pellets. För att kunna transportera, lagra och sprida sedimenten på ett enkelt sätt undersöktes möjligheten att pressa sedimenten till pellets, för att det ska vara fysiskt möjligt krävs en torrsubstanshalt på minst 65–70% (Länsstyrelsen i Jönköpings län, 2022). Detta uppnåddes inte vid avvattningen utan i stället blandades benmjöl i förhållandet 9/1, in i massorna för att uppnå önskad torrhalt. Totalt pressades 20 ton pellets i projektet.

6.4.6. Fraktionsavskiljande metoder

SOLINDUS (ERDF projekt) var ett belgiskt pilotprojekt som undersökte metoder för att behandla och återvinna muddrade sediment och pågick mellan 2008–2015. Projektet främsta mål var att separera föroreningar, såsom tungmetaller och organiska ämnen, i den finaste fraktionen genom att applicera tekniker från mineralbearbetning. Metoderna som användes var våtsikt, hydrocykloner, gravimetrisk separation, skumflotation, dekantering och filterpress. Resultaten visade på att tungmetallföroreningen koncentrerades i den finaste fraktionen (vilket utgjorde 40% av sedimenten). Ungefär 40 % av sedimenten (huvudsakligen mellan 63–15 µm) kunde användas som icke-förorenat sediment, såsom fyllnadsmaterial (utifrån föroreningsinnehåll). Studien bekräftade potentialen i att använda fraktionsklassificering och våttekniker för att separera och nyttiggöra fraktioner av muddrade sediment, samtidigt som volymen som kräver kvittblivning minskar (Central Dredging Association, 2025).

I Bilaga 1 visas en sammanställning över de metoder och tekniker som beskrivits under kapitel 6.

7. PROJEKT OCH ANLÄGGNINGAR INTERNATIONELLT

Många av världens hamnar är lokaliserade i och intill flodmynningar vilket kan medföra återkommande problem med tillkommande sediment i farleden. Detta kräver underhållsmuddring och vid behov efterbehandling av muddermassorna och kvittblivning. Följande kapitel beskriver hur två europeiska hamnar har löst detta genom att anlägga stationära anläggningar.

AMORAS, Antwerpens hamn

Antwerpens hamn i Belgien är Europas näst största hamn och en viktig del i den globala handeln. Hamnen är lokaliserad i floden Schelde 8 mil uppströms från kustbandet. På grund av den mängd sediment som floden för med sig finns ett årligt behov av underhållsmuddring om ca 500 000 ton torrsubstans, vilket genererar ett stort behov av omhändertagande av muddermassor. Tidigare har förfarandet varit muddring med efterföljande deponering på land, dumpning till havs alternativt undervattensdeponier beroende på föroreningsinnehållet. På grund av bristande kapacitet att ta hand om mer muddermassor i kombination med brist på utrymme beslutade den flamländska regeringen tillsammans med Antwerpens hamn att ta fram en långsiktigt hållbar lösning. Projektet gick under namnet AMORAS (Antwerpen mechanical dewatering, recycling and application of sediments) och består av en mekanisk avvattningsanläggning för hantering av muddrade massor. Mellan år 2008–2011 byggdes anläggningen med en kapacitet om 600 000 ton torrsubstans per år. Anläggningen består av ett system i flera steg: tillfällig lagring i en undervattencell, siktning och sandavskiljning, transport via en rörledning till ett ca 15 ha stort område för avvattning samt slutligen filtrering och lagring av det torra slammet som pressats till s.k ”filterkakor” med minst 60 % TS. Processvattnet renas i en separat biologisk reningsanläggning och återförs därefter till hamnen (Vlander, 2024).

METHA, Hamburg

En liknande anläggning finns även i Hamburg och går under namnet METHA (Mechanical Treatment of Harbour Sediments). Anläggningen har en kapacitet för att behandla 0,9 miljoner m³ sediment årligen och har varit i drift sedan 1993. I början av processen avskiljs material större än 10 mm, såsom stenar och skräp, med hjälp av en trumsikt. Därefter separeras fraktionen <63 µm med hjälp av hydrocykloner. I hydrocyklonerna rör sig finkornigt silt uppåt under centrifugalkrafter och grövre partiklar såsom sand rör sig nedåt genom gravitationskraften. Sanden med en kvarvarande siltfraktion övergår därefter till en ”uppströmssorterare” för att avskilja sanden som därefter leds till en avvattningssikt. Siltfraktionen från den första

separationsenheten leds till mindre hydrocykloner där silt och sand är separerade från varandra (partikelstorlek $>20\ \mu\text{m}$). De återstående organiska komponenterna som kolpartiklar och växtrester separeras i en spiralseparator och förs vidare till ett förtjockningssteg. Den avskilda sanden avvattnas med hjälp av vakuumband och återanvänds. Avvattningen av den flockade siltsuspensionen utförs i två steg med hjälp av en filterbandpress och en högtryckspress och slutligen membrankammar filter. Avvattningen uppnår skjuvhållfasthet som säkerställer tillräcklig stabilitet för siltprodukt som byggmaterial (The International Association of Dredging Companies, 2004).

Rejektvatten från processen behandlas för att minska mängden suspenderat material och därigenom också mängden tungmetaller och ammonium som annars skulle gå tillbaka till floden.

8. SAMMANFATTNING

Denna litteraturstudie belyser komplexiteten i hantering av förorenade sediment. Vissa länder, framför allt USA och Nederländerna men även Norge, har kommit längre än Sverige i sitt arbete med förorenade sediment och möjlighet finns att dra lärdomar från deras erfarenheter.

Kapitel 6 visar på:

- Att det finns sugmuddringsmetoder som ger ett upphov till mindre mängd rejektvatten som har potential för svenska förhållanden.
- Metoder som övertäckning och inneslutning med reaktiva material används internationellt och har potential att användas i större omfattning även i Sverige.
- En stor fråga internationellt är att försöka finna en användning för muddermassorna. Detta kan till exempel möjliggöras genom en fraktionsavskiljande åtgärd för att på så sätt avskilja den förorenade fraktionen och möjliggöra att exempelvis sand eller grövre material kan återanvändas om dessa fraktioner är blandade.
- Att arbete pågår med att utforma nya metoder som kan möta dagens teknikbehov men att vägen från labbskaleförsök till full produktion är lång. Därav vikten att dra lärdom från internationella projekt även om förutsättningarna kan skilja sig åt.

9. SLUTSATS

Denna samlade analys understryker att fortsatt innovation, pilotstudier och ett förbättrat nationellt informationsunderlag är avgörande steg framåt i arbetet med förorenade sediment. I dagsläget finns tekniker som vore möjliga att applicera i svenska projekt för att förbättra avvattningen och reducera volymmängden muddrade sediment.

Avslutningsvis följer Structor Norr AB's reflektioner efter arbetet med denna rapport.

Muddring

Det finns en potential i appliceringen av pneumatisk muddring i Sverige. Fördelarna gentemot hydraulisk sugmuddring och grävuddring såsom låg grumlighet, hög TS-halt på muddermassorna och även att den klarar av att muddra på stora djup (upp till 100 m) gör att författarna ser en möjlighet att pröva metoden i stor skala under svenska förhållanden, särskilt fiberbankar vore intressanta pilotobjekt.

Avvattning

Att minska mängden rejektivatten vore en stor fördel för många muddringsprojekt i Sverige. Den internationella utblicken har gett flera exempel där en kombination av tekniker har använts för att effektivt avvattna muddermassorna, såsom METHA, AMORAS men även DESET. Författarna ser potential att pröva DESET under svenska förhållanden, avvattningen kräver mindre yta i anspråk gentemot geotuber och kontinuerlig kvittblivning av muddermassorna under framdrift möjliggörs genom dess höga TS-halt efter behandling.

Även frysavvattning vore intressant att pröva i stor skala, då det liksom DESET leder till betydande volymreduktion och potential för kostnadseffektiva omhändertaganden. Frysavvattning ses som en lämplig metod på material med hög organisk halt såsom fibersediment och fiberbankar.

Kvittblivning

Alternativ till deponering på land är intressant då metoden ofta kräver omfattande transporter som genererar både stora kostnader och betydande utsläpp. Kombinationen av CDF och STSO bedöms som en användbar metod (och används redan i stor utsträckning) där muddermassor kan komma till användning för landbyggnad.

En intressant möjlighet är att använda geotuber för dumpning/undervattensdeponering. Genom detta skulle miljöriskerna och risken för spridning av förorenade sediment vid dumpningsplatsen minska.

Kompostering av bioslam från industrier och reningsverk är en beprövad metod. Att därför utreda om metoden är applicerbar på sediment med hög organisk halt ses som ett steg i rätt riktning.

Behovet av nya åtgärdsmetoder omfattar utveckling av sedimentsspecifika tekniker, förbättrade avvattningslösningar, alternativ för kvittblivning och innovativa in-situ metoder. Dessa åtgärder är nödvändiga för att bättre kunna hantera de komplexa miljöutmaningarna med förorenade sediment, vilket inte bara är viktigt för att nå målet om en giftfri miljö utan även för att skydda det akvatiska ekosystemet över tid.

10. REFERENSER

CEDA, 2025. *Understanding dredging - Beneficial use of sediments : Case studies*. [Online]

Available at: <https://dredging.org/resources/ceda-publications-online/beneficial-use-of-sediments-case-studies>

[Använd 09 04 2025].

Central Dredging Association, 2025. *Understanding Dredging - Experimental platform for the treatments of dredged sediments*. [Online]

Available at:

https://dredging.org/media/ceda/org/documents/case_studies/r1a_2008_be_solindus_-_experimental_pilot_platform_for_the_treatment_of_dredged_sediments_by_mineral_processing_techniques.pdf

[Använd 02 04 2025].

COWI, 2013. *Svensk översättning av "Den grönnare manual - norska erfarenheter av förorenade sediment - åtgärdsmetoder och sanering" 2013:26*, u.o.: Hav möter land, Länsstyrelsen i Västra Götalands län.

Dahlberg, A.-K., Lehoux, A. & Axegård, P., 2024. *Omvandla fibersediment till hydrokol, En ny teknik för att eliminera deponering och utvinna energi vid sanering av fiberbankar*. Tuffo 2024-3, Linköping: Statens geotekniska institut.

Hamburg Port Authority, u.d. *How metha works*. [Online]

Available at: <https://www.hamburg-port-authority.de/en/themenseiten/metha>

[Använd 28 03 2025].

Havs- och Vattenmyndigheten, 2018. *Muddring och hantering av muddermassor 2018:19*, Göteborg: Havs- och Vattenmyndigheten.

IADC, 2019. *FACTS ABOUT - Confined disposal facilities*, u.o.: International Association of Dredging Companies.

International Joint Commission Great Lakes Water Quality Board, 1997. *Sedimente remediation Case Studies*, u.o.: Great Lakes Water Quality Board.

Katrineholms kommun, 2024. *Att ta bort fosforrikt sediment från sjön Öljaren och återanvända det som gödningsmedel i jordbruket*, Katrineholm: Katrineholms kommun.

Kostia, S., Tuomi, J. & Romantschuk, M., 2012. *Improving the dewatering of marine sediment using a combination of geotextile and electrokinetic treatment*. Kalmar, Linnaeus Eco-Tech 2012.

LKAB, 2025. *Underlag för samråd enligt miljöbalken - avseende ansökan om avhjälpan av föroreningsskada genom muddring av sediment i sjön Ala Lombolo*, Kiruna: LKAB.

Luleå hamn, 2021. *Malmporten*. [Online]
Available at: <https://malmporten.se/>
[Använd 20 04 2025].

Länsstyrelsen i Jönköpings län, 2022. *Återföring av näringsrika ytsediment till produktionsmark - Erfarenhet av muddring, pelletsproduktion samt testodling 2022:09*. Jönköping: Länsstyrelsen i Jönköpings län.

Länsstyrelsen Jämtlands län, 2016. *Föroreningar vid olika branscher - Träimpregnering*, Östersund: Länsstyrelsen Jämtlands län.

Maurice, C., Adli, G., Eek, E. & Cornelissen, G., 2022. *Pilot project - Biochar based capping of polluted sediment*, Luleå: Luleå tekniska universitet.

NFESC, 2005. *Implementation guide for assessing and managing contaminated sediment at navy facilities*, Washington: Naval Facilities Engineering Command.

NIVA, 2005. *Erfaringsnotat miljömuddring i Kamfjordkilen, Sandefjord - Rapport LNR5059/2005*, Oslo: Nork institutt for vannforskning.

Nordic Council of Ministers, 2019. *Contaminated Sediments: Review of solutions for protecting aquatic environments*, Copenhagen: Nordic Council of Ministers.

NV, 1999. *Metodik för inventering av förorenade områden - rapport 4918*, Stockholm: Naturvårdsverket.

NV, 2022. *Slutredovisning av regeringsuppdrag inom förbättrad kunskap för hantering av förorenade sediment*, Stockholm: Naturvårdsverket.

NV, 2025. *Invasiva arter - definition*. [Online]
Available at: naturvardsverket.se/amnesomraden/invasiva-frammande-arter/vad-ar-ifa/definition/
[Använd 27 02 2025].

Pneuma IT, u.d. *Pneuma S.r.l.*. [Online]
Available at: <http://www.pneuma.it/>
[Använd 08 04 2025].

Porsbring, T., Wemming, A. & Neuschütz, C., 2024. *Kartläggning av föroreningar i sediment i svenska vattendrag, sjöar och kustområden - Resultatredovisning från fältundersökningar utförda inom regeringsuppdrag om förorenade sediment (M2019/01427/Ke)*, Göteborg: Havs- och Vattenmyndigheten.

Renasediment.se, 2025. *Förorenade sediment i Sverige*. [Online]
Available at: <https://www.renasediment.se/om-fororenade-sediment/fororenade-sediment-i-sverige/>

SGI, 2016. *In-situ övertäckning av förorenade sediment - Metodöversikt SGI publikation 31-1*, Linköping: Statens geotekniska institut.

SGI, 2025. *Muddringsmetod för förorenade fibersediment*. [Online]
Available at: <https://www.sgi.se/sv/Forskning--larande/var-forskning/renare-mark/muddringsmetod-for-fororenade-sediment/>
[Använd 07 04 2025].

SGU, 2018. *Förorenade fibersediment i svenska hav och sjöar*, u.o.: Sveriges geologiska undersökning.

SGU, 2021. *SGU-rapport 2021:24. Varför riskerar sedimentprojekt att stanna av?*, Uppsala: Sveriges geologiska undersökning.

SGU, 2022. *SGU 2022:18 Åtgärder av förorenade sediment - erfarenheter från genomförda projekt*, Uppsala: Sveriges geologiska undersökning.

Sjöfartsverket, 2025. *Skandiaporten*. [Online]
Available at: <https://www.sjofartsverket.se/sv/farledsprojekt/skandiaporten/>
[Använd 12 04 2025].

The International Association of Dredging Companies, 2004. Dredged Material management in Hamburg. *Terra et Aqua - number 96*, September, pp. 3-13.

Vestin, J. & Ladekrans, T., 2024. *Enkätundersökning om förorenade områden 2024 - fokusområde förorenade sediment*, Linköping: Statens geotekniska institut.

VISS, 2025. *VISS-Vatteninformationssystem Sverige*. [Online]
Available at: <https://viss.lansstyrelsen.se/>
[Använd 02 06 2025].

Vlaanderen, 2024. *Departement Mobiliteit en openbare werken*. [Online]
Available at: <https://www.vlaanderen.be/departement-mobiliteit-en-openbare-werken/maritieme-toegang/havenprojecten/amoras>
[Använd 18 03 2025].

WSP, 2022. *Frysavvattning av fibersediment – Pilotprojekt nr 4 inom RUFS, Regeringsuppdrag om ökad kunskap för åtgärder av förorenade sediment*, Stockholm: WSP.

Metod	Beskrivning	Användning av kemikalier	Fördelar	Nackdelar	Bedömd TLR*	Referenser
CDS (contained dredging system)	En typ av sugmuddring där muddringar sker i en container placerad på botten fylld med komprimerad luft.	Nej	Låg grumling, kameraövervakning i containern ger en direkt uppföljning/kontroll över muddrhuvudet.	Ej beprövad i större skala. Pilotprojekt pågår vid 2024-2029 Essviks fiberbank, Sundsvalls kommun.	5	https://press.sgi.se/posts/pressreleases/sgi-testar-ny-muddringsmetod-for-fororenade-f ; https://www.renaremark.se/event/contained-dredging-system-an-effective-solution-for-removing-contaminated-sediment-in-swedish-conditions-renare-mark-vattensediment/
Tunnsläckning	In-situ metod för att minska och/eller eliminera den biologiska exponering och bioackumuleringen från förorenade sediment vilket innebär att övertäckningslagret är tjockare än bioturbationsdjupet.	Ja	Beprövad och använd metod internationellt	Negativ påverkan på bentiska faunan, ej lämplig på alla typer av botten.	9	SGI, 2016. <i>In-situ övertäckning av förorenade sediment - Metodöversikt SGI publikation 31-I</i> , Linköping: Statens geotekniska institut.
Pneumatisk muddring	Muddring med hjälp av tryckluft.	Nej	Låg grumling, kan muddra på stora djup. Låg vatteninblandning.	Känslig mot skrot och skräp, ej lämplig för grövre kornfraktioner	9	Pneuma IT, u.d. Pneuma S.r.l. [Online] Available at: http://www.pneuma.it/ [Använd 08 04 2025]
DESET	System för fraktionsavskiljning och avvattnig	Ja	Volymreducering/avvattnig inför kvittblivning, enkel att skala upp/ned beroende på behov. Platseffektiv, kräver relativt liten yta genom möjligheten att köra bort avvattnade massor löpande. Går att skala upp/ned beroende på behov. Grövre material kan avskiljas och om möjligt återanvändas.	Energikrävande till skillnad från passiva metoder. Dyrare etablering i jämförelse med vissa passiva metoder	9	Material från referensprojekt, ProGroup (https://progroupe.net/)
Frysavvattnig	Avvattnig genom nedfrysning och därefter upptining och torkning under kontrollerade former	Ja	Avvattnig inför kvittblivning, enkel att skala upp/ned beroende på behov. Platseffektiv, kräver relativt liten yta genom möjligheten att köra bort avvattnade massor löpande. Relativt energieffektiv då spillvärmen från infrysningen kunde användas till andra steg i processen. Går att skala upp/ned beroende på behov.	Ej beprövad i fulldrift/stor skala.	7	WSP, 2022. Frysavvattnig av fibersediment – Pilotprojekt nr 4 inom RUFS, Regeringsuppdrag om ökad kunskap för åtgärder av förorenade sediment, Stockholm: WSP.
Elektrokinetisk behandling	Avvattnig med hjälp av elektroosmos	Ja/Nej	Befintlig teknik som i dagsläget används på jord.	Enbart använd i labbskala på sediment. Energikrävande, kan ge upphov till pH-förändringar vilket kan påverka vissa föroreningars löslighet.	3/4	Kostia, S., Tuomi, J. & Romantschuk, M., 2012. Improving the dewatering of marine sediment using a combination of geotextile and electrokinetic treatment. Kalmar, Linnaeus Eco-Tech 2012.

Metod	Beskrivning	Användning av kemikalier	Fördelar	Nackdelar	Bedömd TLR*	Referenser
Mekaniska pressar	Metod som med hjälp av mekanisk kraft pressar ut vattnet ur sedimenten.	Ja/Nej	Avvattning inför kvittblivning. Befintlig teknik som används i industrier. Hög torrhalt, relativt kompakt system, kontrollerad drift.	Kräver i viss mån förbehandling såsom avskiljning av grövre material eller tillsats av flockningspolymer. Energikrävande till skillnad från passiva metoder. Större startkostnad, större krav på homogeniserat material.	9	CEDA. (2025). Production of raw material. Retrieved from Central Dredging Association: https://www.dredging.org/resources/ceda-publications-online/beneficial-use-of-sediments-case-studies/23/Production%20of%20raw%20material
Centrifug eller cyklonseparator	Metod som utnyttjar centrifugalkraften för avvattning.	Ja/Nej	Befintlig teknik som används i industrier. Hög avvattningsgrad, kontinuerlig drift och kompakt utrustning. Möjligt att köra bort avvattnat material kontinuerligt.	Energikrävande och kräver övervakning till skillnad från passiva metoder. Känsligare för typ av muddrat material, känsligare för lägre arbetstemperaturer (under 0°).	9	ProGroup, DESET. CEDA. (2025). Production of raw material. Retrieved from Central Dredging Association: https://www.dredging.org/resources/ceda-publications-online/beneficial-use-of-sediments-case-studies/23/Production%20of%20raw%20material
Confined Disposal Facility (CDF)	Kvittblivning genom att massorna placeras i en konstuerad anläggning strandnära.	Ja/Nej (beroende på täckmaterial)	En väl etablerad metod internationellt, möjligt att skapa nytt landområde.	Kräver långsiktig övervakning och underhåll. Påverkan på bentiska samhällen. Föroreningar destrueras inte utan finns kvar, risk för läckage.	9	IADC, 2019. FACTS ABOUT - Confined disposal facilities, u.o.: International Association of Dredging Companies.
Contained Aquatic Disposal (CAD)	Kvittblivning genom att massorna placeras i en naturlig sänka alternativt anlagd djuphåla och därefter övertäcks.	Ja/Nej (beroende på täckmaterial)	Kontrollerad placering och förslutning av de förorenade sediment. Naturliga försänkningar kan utnyttjas vilket kan vara effektivt för att hantera en stor volym sediment. Väl etablerad metod internationellt.	Föroreningarna destrueras inte, beroende på vattendjup kan täckningen medföra utmaningar. Kräver långsiktig övervakning. Negativ påverkan på den bentiska faunan.	9	NFESC, 2005. Implementation guide for assessing and managing contaminated sediment at navy facilities, Washington: Naval Facilities Engineering Command.
Kompostering	Pågående forskningsprojekt där industriell kompostering i behållare ska appliceras på fiberbankar och fiberrika sediment.	Ja	Potentiell metod för att sanera sedimenten från organiska föroreningar och samtidigt skapa en slutprodukt som går att använda.	Pågående forskningsprojekt.		MIUN, 2025. Fiber2Comp. [Online] Available at: https://www.miun.se/Forskning/forskningsprojekt/pagaende-forskningsprojekt/fiber2comp_-fran-fororenade-sediment-till-jordforbattare-kompostering-av-fiberbankar-for-hallbar-sanering-och-resursatervinning-/
HTC	Hydrotermisk karbonatisering är en process som omvandlar våt biomassa till fast biokol.	Ja	HTC i kombination med vätoxiderna är en beprövad metod för användning på bioslam. Potentiell metod för muddringsmassor där halten organiskt material skapar problem vid deponering.	Energikrävande	4	Dahlberg, A.-K., Lehoux, A. & Axegård, P., 2024. Omvandla fibersediment till hydrokol, En ny teknik för att eliminera deponering och utvinna energi vid sanering av fiberbankar. Tuffo 2024-3, Linköping: Statens geotekniska institut. NV, 2022. Slutredovisning av regeringsuppdrag inom förbättrad kunskap för hantering av förorenade sediment, Stockholm: Naturvårdsverket.

Metod	Beskrivning	Användning av kemikalier	Fördelar	Nackdelar	Bedömd TLR*	Referenser
HPSS-teknik	Variant av stabilisering och solidifiering	Ja	Applicerbar på stora volymer och kan möjliggöra återanvändning av sedimenten.	Buller, kräver yta för mellanlagring, energikrävande	7	COWI, 2013. Svensk översättning av "Den gröna manual - norska erfarenheter av förorenade sediment - åtgärdsmetoder och sanering" 2013:26, u.o.: Hav möter land, Länsstyrelsen i Västra Götalands län.
Pellets	Bottensediment pressas till pellets för att underlätta transport och hantering	Ja	Befintlig teknik (pellets)	Krävde hög inblandning av benmjöl för att nå önskad vattenhalt.	5	Länsstyrelsen i Jönköpings län, 2022. Återföring av näringsrika ytsediment till produktionsmark - Erfarenhet av muddring, pelletsproduktion samt testodling 2022:09. Jönköping: Länsstyrelsen i Jönköpings län.
Fraktionsavskiljande metoder	Separerar den finaste fraktionerna genom att applicera teknik från mineralbearbetning med syfte att gånga upp majoriteten av föroreningarna.	Ja/Nej	Möjliggör återanvändning av det grövre materialet, volymreducering inför kvittblivning av förorenade massor, minskade transport och minskade kostnader.	Stor etablering, kan kräva förbehandling av sedimenten	9	CEDA. (2015). SOLINDUS - Experimental pilot platform for the treatment of dredged sediments by mineral processing techniques. Central dredging association.

*Technology Readiness Levels (TRLs) är indikatorer på mognadsgraden av en viss teknologi. Mätssystemet och skalan ger en gemensam referensram för att förstå vilken nivå en teknisk lösning har utifrån hela innovationskedjan. Det finns nio graderingar på skalan, TRL 1 är lägst och TRL 9 är högst.