

Bilaga B Sandtäckning av havsbotten – en sammanställning av metoder och sandkällor

Louise Eriander, Per-Olav Moksnes

Institutionen för marina vetenskaper, Göteborgs universitet

Innehåll

1. Introduktion	2
2. Metoder vid utläggning av sand	2
2.1 Mekanisk utläggning av sand.....	3
2.1.1 Direkt mekanisk placering	3
2.1.2 Ytsläpp med bottentömmande lastpråm eller mudderverk.....	5
2.1.3 Utspolning av sand från pråm	6
2.2 Hydraulisk utläggning av sand.....	7
2.2.1 Ytsläpp från lastpråm eller mudderverk	7
2.2.2 Hydrauliskt ytsläpp via rörledningar med spridningsanordning från pråm eller mudderverk	8
2.2.3 Sprutning från muddringsverk eller muddringspråm	9
2.2.4 Utläggning med sandspridningspråm	10
2.2.5 Spridning av sand under vattenytan	10
2.2 För och nack-delar med respektive metod	11
3. Sandkällor	13
3.1 Sand från land i Västra Götalands län	13
3.2 Sand från havet.....	15
4. Referenser	16

1. Introduktion

Leriga och lättstörda sediment som grumlar upp vid våg- och strömrörelser är ett problem som försvårar möjligheterna att restaurera ålgräs på stora områden i södra Bohuslän (Moksnes m.fl. 2018). Liknande problematik har bland annat noterats i danska vatten, särskilt inne i fjordsystem där bottensedimenten har höga halter av organiskt material som ett resultat av långvariga problem med övergödning (Oncken m.fl. 2022). För att motverka uppgrumling från botten och förbättra ljus- och sedimentförhållandena i sådana områden har sandtäckning (engelska "sand capping") föreslagits och även testats framgångsrikt både i Sverige och Danmark (Moksnes m.fl. opubl. data, Oncken m.fl. 2022).

Sandtäckning av havsbotten är en teknik som framför allt används för att täcka över kontaminerade sediment med ren sand. Denna metod används flitigt i exempelvis hamnområden eller på dumpningsplatser för att minska läckage av föroreningar från botten. En annan aktivitet där sand läggs ut på stora områden är vid strandfodring, där sand återförs till stränder som påverkats av erosion. Sanden som används kan härstamma från land eller komma från muddringsverksamheter till havs.

Då sandtäckning av havsbotten skall användas som metod för att minska grumling är det viktigt att samla in kunskap och data från området som skall sandtäckas. Detta innefattar bland annat mätningar av bottendjup, batymetri, strömmar samt vågenergi. Det är även viktigt att kartlägga aktiviteter i området som kan komma att påverkas av arbetet, så som båttrafik samt rekreation. Denna information kan även användas för att avgöra vilken metod som är lämplig att använda i ett visst område.

Nedan ges en beskrivning av olika metoder som kan användas vid sandtäckning, samt dess för- och nackdelar. Därefter lyfts sandkällor som finns tillgängliga i Västra Götalands län och är lämpliga att använda vid sandtäckning för att minska grumling. Vid beskrivningen av hur massorna betar sig när de läggs ut med de olika metoderna förutsätts användning av sandiga till grusiga sediment med låg halt av lera och silt.

2. Metoder vid utläggning av sand

Mycket av litteraturen som rör utläggning av sand på havsbotten syftar till att täcka botten med kontaminerade sediment med ett nytt lager sand eller så kallad strandfodring där sand läggs upp för att återskapa stränder som försvunnit på grund av erosion. Få studier som identifierats syftar till att lägga ut sand för att minska uppgrumling eller förbättra tillväxtförhållandena för bottenvegetation, och i dessa fall har fokus legat på de ekologiska effekterna snarare än metoder för sandutläggning. De metoder som beskrivs nedan härstammar följaktligen mestadels från tekniska beskrivningar och rapporter där täckning av kontaminerade sediment står i fokus (till exempel Bailey m.fl. 2005, Palermo m.fl. 1998b, Jarsak m.fl. 2016). Här har metoder där användning av t.ex. geotextil eller kemiska absorberare exkluderats, då de inte är relevanta för syftet med den aktuella sandtäckningen. Den typ av sandtäckning som beskrivs i rapporten omnämns i engelsktalande litteratur som "in-situ level-bottom capping" (LBC), vilket innebär att sedimentet läggs ovanpå på en ostörd botten och skapar en sedimentyta som är högre än den intilliggande ostörda botten. Andra typer av sandtäckning, där muddring först skett eller där botten modifierats tas inte upp i denna rapport.

Spridning av sand på havsbotten kan ske på många olika sätt, där metoder dessutom går att kombinera beroende på projektets mål, möjligheter och begränsningar. Precis som vid muddring kan utläggning av sand ske med mekaniska metoder där till exempel grävmaskiner används för att placera ut sanden eller med hydrauliska metoder där sand blandas med vatten och sprutas ut över havsbotten. Hur sanden lastas, förvaras och transporteras till lokalen, samt om den släpps vid ytan eller närmare botten kan variera och alternativa lösningar beskrivs nedan för både mekaniska och hydrauliska metoder.

Nedan följer en redogörelse för olika typer av utläggningsmetoder och utrustning som beskrivs i de tekniska rapporter som identifierats (till exempel Palermo m.fl. 1998, Bailey m.fl. 2005, Rohde Nielsen 2020, Jersak m.fl. 2016). För- och nackdelar med respektive metod tas upp och slutligen rankas respektive metod utifrån ett antal kriterier.

2.1 Mekanisk utläggning av sand

Mekanisk utläggning av sand involverar i de flesta fall sandkällor som är relativt torra. De härstammar antingen från sandtäkter på land eller från mekanisk muddring av havsbotten med exempelvis grävmaskin. Vid denna typ av utläggning släpps massor vid eller under vattenytan och gravitationen för massorna ned till botten.

2.1.1 Direkt mekanisk placering

Direkt mekanisk placering (engelska "direct mechanical placement") av sand på botten kan ske med hjälp av olika typer av grävutrustning så som gräv- eller gripskopor kopplade till grävmaskin eller kran. Om platsen som skall täckas ligger vid strandlinjen kan massorna även tippas från land.

Grävutrustningen kan vara placerade på land eller på en pråm eller plattform vid lokalen som skall sandtäckas. Räckvidden vid dessa metoder avgörs av längden på grävaggregatet och maskinen eller plattformen där maskinen befinner sig behöver därför kunna förflyttas om större ytor skall täckas med sand. Vid mekanisk placering behöver täckmassorna sannolikt transporteras på land med lastbil för avlastning vid sandtäckningslokalen eller omlastning till pråm för vidare transport till lokalen (Figur 1). Logistiska aspekter, så som framkomlighet för lastbil samt närhet till hamn eller annan lämplig omlastningslokal behöver därför undersökas. Platsen där sanden skall lastas på pråm kan även kräva etablering av arbetsbodar och uppställningsytor för maskiner.

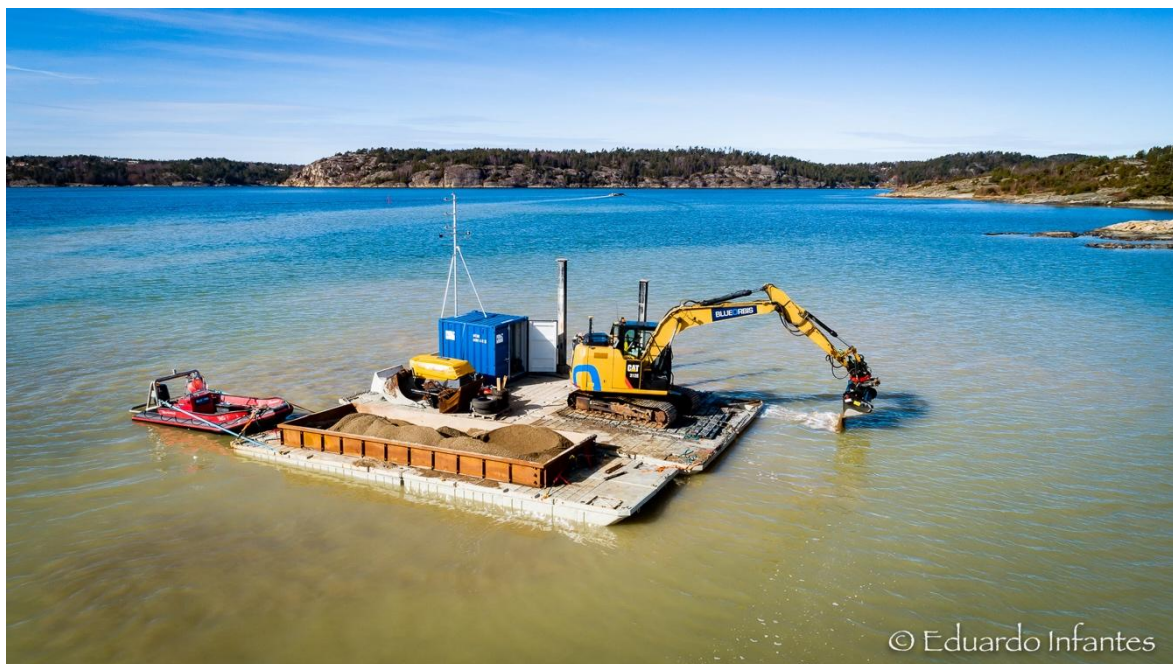


Figur 1. Transport av sandtäckningmaterial på pråm bogserad av mindre arbetsbåtar (Blue Orbis 2021).

Då sandtäckningslokalen befinner sig utom räckvidd från land behöver grävmaskinen vara placerad på en arbetspråm eller plattform. En så kallad stödbenspråm kan användas, där stödben sänks ned och förankrar pråmen i rätt position. Vid förflyttning över sandtäckningsytan kan stödbenen vinschas upp och pråmens position ändras. Denna typ av pråm användes vid sandutläggning av 1 hektar havsbotten på Lilla Askerön 2021 (Figur 2) och under inspektionen av den färdigställda sandtäckningen kunde konstateras att stödbenen endast orsakar begränsade skador/avtryck i sedimentytan (Moksnes opublicerat).

Precisionen vid mekanisk placering av sand varierar beroende på vilken typ av skopa och teknisk utrustning som används. Hög precision kan fås genom att använda grävmaskin med GPS, vilket möjliggör för maskinisten att hålla rätt position på pråm och skopa. En sandspridarskopa som matar ut sanden jämnt kan användas för att få en mer kontrollerad tömning av skopan. Denna typ av utrustning användes vid sandtäckningen på Lilla Askerön 2021 och visade på mycket hög precision både gällande sandens placering och sandlagrets tjocklek (10 centimeter $\pm$ 2 centimeter; Moksnes opublicerat).

En liknande metod användes i Odensefjorden 2018 då två bottenytor på 1,0 och 1,4 hektar täcktes med ett 10 centimeter tjockt lager sand (Oncken m.fl. 2022). Sandutläggningen utfördes av Odense Hamn (Odense port authorities), genom att använda en ankringsbar, flytande plattform med en grävmaskin på som lade ut sand från en pråm. Skopan som användes var 2 meter bred och tippade ungefär 1 kubikmeter sand i taget över en 5 meter lång sträcka. Efter 4 skopor flyttades plattformen 5 meter. Metoden fungerade väl och hela ytan täcktes utan 'skarvar' med en precision på mellan 7–13 centimeter (Oncken m.fl. 2022).



Figur 2. Sandtäckning genom ytsläpp med grävmaskin från pråm. Bilderna är tagna vid den 1 hektar stora sandtäckningen som gjordes vid Lilla Askerön 2021 (Moksnes m.fl. opublicerat). En liknande metod användes i Odensefjorden i Danmark 2017 (Flindt m.fl. 2022). Foto Eduardo Infantes.

Fördelen med denna metod är att pråmarna gör det möjligt att jobba i mycket grunda (till 1,5 meter djup beroende på utrustning och skopans räckvidd) områden utan risk för grundstötning. Eftersom relativt torra massor används blir grumlingen vid utläggning begränsad och grumlingsbegränsande åtgärder så som siltgardin är sannolikt inte nödvändigt. Metoden involverar dock många moment som kräver flera typer av arbetsmaskiner och möjligen fler än en entreprenör om täckmaterialet först skall transporteras och lastas på land. Då lastutrymmet på pråmen är begränsat kan det krävas en hel del transporter mellan omlastningsplats och sandtäckningsyta vilket medför mycket fartygsrörelser i området och även problem med buller. Detta är även något som gör denna metod långsammare än sandtäckning från större muddringsfartyg med ett större lastutrymme. Något som kan påverka tiden är också väderförhållandena och vid starkare vindar på över 6-7 meter/sekund går arbetet långsammare och skador från stödben riskerar att bli större (Blue Orbis 2021). Fördelen är att inga stora fartyg och mudderverk behöver användas vilket gör utläggning med denna typ av metod intressant för mindre projekt.

2.1.2 Ytsläpp med bottentömmande lastpråm eller mudderverk

Ytsläpp av torra eller avvattnade sandmassor kan ske med bottentömmande lastpråmar eller mudderverk (engelska "surface release from barge or Hopper dredge"). Dessa kan transportera stora mängder sand åt gången (100-500 m³) och är därför en fördelaktig metod då stora ytor eller tjocka lager av sand skall läggas ut. Massorna faller snabbt ned mot botten, med relativt lite grumling i jämförelse med då hydrauliskt muddrade massor används med samma teknik (Bailey m.fl. 2005). För att denna metod skall kunna användas till att täcka ett större område med tunna lager sand behöver öppningen och rörelsen av pråmen kontrolleras eller kompletteras med någon

typ av utrustning som gör det möjligt att släppa massorna gradvis och på ett kontrollerat sätt. Exempelvis finns bottentömmande pråmar där sanden separeras i fack och där man genom att gradvis öppna botten sakta kan strö ut massorna på botten medan pråmen förflyttas över ytan med hjälp av bogserbåt (Figur 3). Även om man genom olika tekniker kan öka precisionen för denna metod är den sannolikt lägre än för mekanisk utläggning med skopa. Metoden är inte lämplig att använda vid vattendjup grundare än 3,5 meter då bottenluckorna måste kunna öppnas (Vägverket 1987). Om bogserbåt används kan propellerrörelser även orsaka uppgumling på grundare djup. Beroende på lastkapaciteten kan pråmen behöva fyllas med material flera gånger vilket kräver transport till omlastningsområde.



Figur 3. Exempel på sandtäckning med bottentömmande pråm dragen av bogserbåt (bild från Bailey m.fl. 2005).

2.1.3 Utspolning av sand från pråm

En mindre vanlig metod som kan användas för att sprida ut torra sandmassor går ut på att massorna spolas ned i vattnet med högtrycksspruta (Figur 4; engelska "Hydraulic washing of coarse sand"). Sandmassorna placeras i en stor hög på platta arbetspråmar varifrån de sprejas överbord ned i vattnet. Detta leder till en gradvis uppbyggnad av sand genom att tunna lager faller till botten. Denna typ av plattform kan användas på grundare djup än bottentömmande pråmar (grundare än 3 meter; Bailey 2005), men sedimentlagrets tjocklek kan vara svår att kontrollera. Grumlingen kan förväntas bli betydande då massorna sprejas ut med hjälp av högtrycksspruta och då detta sker i tunna lager kan metoden vara tidskrävande om stora områden av botten ska täckas.



Figur 4. Sandtäckning av havsbotten genom utspolning av torr sand lastad på arbetspråmar (figur från Bailey m.fl. 2005).

2.2 Hydraulisk utläggning av sand

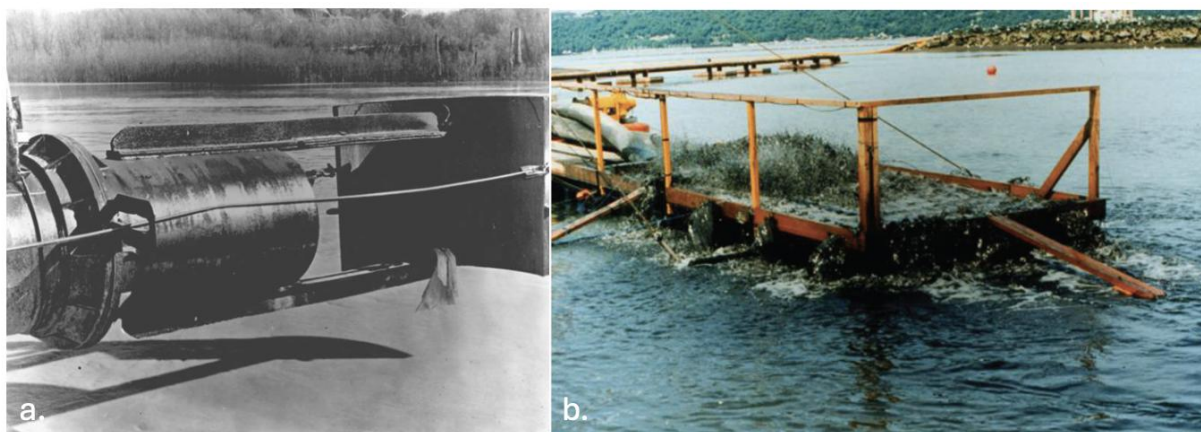
Vid hydraulisk utläggning har sanden först blandats med vatten. Sanden kan härstamma från täkter på land, från mekanisk muddring eller hydraulisk muddring då sanden sugas upp från havsbotten och en naturlig inblandning av vatten sker. Sörjan av vatten och sand kan därefter spridas ut på eller under havsytan med olika metoder.

2.2.1 Ytsläpp från lastpråm eller mudderverk

Precis som metoden där fasta massor släpps med bottentömmande pråm kan vattenblandade massor släppas från bottentömmande pråmar eller direkt från bottentömmande mudderverk (engelska "surface release from barge or hopper dredge"). Eftersom fartygen är stora fungerar metoden bäst på djupare vatten och där stora mängder massor skall läggas på ett och samma ställe. Om massorna skall spridas i tunnare lager över en större yta och med högre precision krävs som tidigare nämns att skrovet endast öppnas en bit och att mudderverket rör sig sakta över ytan som skall sandtäckas. Till skillnad från då torra massor används kan det dock vara svårare att kontrollera utsläppet av sand när den befinner sig i en vattenblandning, även om öppningen på pråmen kan styras. Olika varianter med spridning från bottentömmande mudderverk har visat på att metoden fungerar men att den täckta ytan riskerar att bli ojämn (Bailey m.fl. 2005). Då massorna befinner sig i flytande form faller de inte till botten lika snabbt som då torra eller avvattnade massor används, vilket sannolikt också leder till mer grumling under utläggningsarbetet.

2.2.2 Hydrauliskt ytsläpp via rörledningar med spridningsanordning från pråm eller mudderverk

Material som tagits upp med hydraulisk muddring har en flytande form och kan därför transporteras via rörledningar och sprutas ut på ytan, antingen direkt från mudderverket eller från massor som transporterats till sandtäckningsytan på pråm. För att täckningen av botten skall bli jämnare kan olika energiavledande anordningar som sprider den vattenbandade sanden monteras på röret. Exempel på sådana anordningar är en så kallad 'baffle plate' eller 'sand box'. En Baffle plate består av en platta som monteras en bit ifrån öppningen på röret. När vattenstrålen träffar plattan saktas hastigheten på strålen ned och vattnet sprutas vertikalt ned mot vattenytan (Figur 5a). En sand box har en liknande funktion med plattor på sidorna som saktar ned vattenstrålen. Själva boxen är försedd med hål eller galler i botten för att massorna skall falla ned så jämnt som möjligt över sandtäckningsytan (Figur 5b).



Figur 5. Hydrauliskt ytsläpp av sand via rörledningar med två olika anordningar som syftar till att avleda energi samt sprida sanden under utläggningen. a) visar en så kallad Baffle plate och b) en sand box (Bilder från Bailey m.fl. 2005).

Båda dessa metoder lämpar sig för att lägga ut tunna lager sand över stora ytor. Metoden skulle även kunna användas på grundare vatten om massorna lastas på mindre mudderpråmar. Muddringspråmen kan då bogseras till platsen för utläggning, och sanden pumpas och sprutas ut över området. Genom att komma närmare kan man öka precisionen hos utläggningen även om den sannolikt inte blir lika hög som vid mekanisk utläggning av sand. Det finns även lösningar där flytslang används och där en mindre båt manövrerar slangen och utläggningen av sanden vilket kan förbättra noggrannheten och göra att man kan lägga ut sand på grunda djup (1,5-2 meter; Rohde Nielsen 2020). Enligt denna metod skulle det ta uppskattningsvis 3-4 veckor att täcka 5 hektar botten med ett sandlager på 0.2-0.5 meter (Personlig kommunikation Christopher Rohde, Rhode Nielsen).

Som tidigare nämnts medför det begränsade lastutrymmet på mudderpråmar att det sannolikt krävs en del fartygstransporter för att fylla på nya massor från ett mudderverk eller större lastpråm som befinner sig på djupare vatten. Hydraulisk pumpning medför också buller, men då metoden är snabbare än mekanisk utläggning pågår bullret under en kortare period. Hydraulisk utläggning kan vara svårt att använda om sedimentet innehåller olika kornstorlek (t.ex. 0-8 milli meter som användes vid sandutläggningen vid Lilla Askerön) då det finns risk att sedimentet sorteras i processen vilket kan medföra att endast det fina sedimentet kommer ut först (personlig kommunikation Bengt Mårlind, Undeko AB).

2.2.3 Sprutning från muddringsverk eller muddringspråm

Sand- och vattenblandningen kan sprutas ut med en typ av sandkanon från mudderverk eller muddringspråm. Denna metod kallas ofta 'rainbowing' i litteraturen då vattenstrålen bildar en regnbågsform med en räckvidd på 50-60 meter (Rode Nielsen 2020: Figur 6). Denna metod används ofta vid strandfodringar då räckvidden är så pass hög att fartyget kan ligga på djupare vatten och ändå nå fram till land med strålen. Ett mudderverk med eget lastutrymme har en mycket stor lastkapacitet vilket skulle göra arbetet mycket snabbt och innebära få fartygsrörelser, vilket är en anledning till att denna metod många gånger är billigare att använda jämfört med direkt mekanisk placering med grävmaskin (Langseth m.fl. 2015). Exempelvis uppges att 1 hektar havsbotten skulle kunna täckas med ett 10 centimeter tjockt lager sand på runt en timma (enligt anbud som inkom från Rohde Nielsen AB i samband med sandtäckningen av Lilla Askerön 2021; Moksnes m.fl. opublicerat). Däremot är fartyget begränsat av djupet på lokalen, vilket trots räckvidden på strålen kan begränsa användningen av denna metod, samt minska precisionen vid utläggningen då sanden måste sprutas ut från håll. Det finns dock exempel på större fartyg med en lastkapacitet på >1000 m³ som kan framföras på djup av 3,8 meter fullastade (Rohde Nielsen 2020).

Då vattenblandad sand sprutas ut med stor kraft blir turbiditeten i vattnet hög och det kan krävas åtgärder för att minska spridning av grumligt vatten, exempelvis genom användning av siltgardin. Det är även viktigt att grumligheten i vattnet övervakas under arbetets gång för att säkerställa att känsliga miljöer i närheten inte riskerar att ta skada. Det finns även en risk att metoden kan orsaka erosion på den befintliga botten när vattendjupet är lågt och sedimentet är finkornigt.



Figur 6. Strandfodring med rainbowing-metod där sand blandat med vatten sprutas från mudderverket (Bild från Rohde Nielsen 2020).

2.2.4 Utläggning med sandspridningspråm

Det finns olika typer av muddringspråmar som är specialbyggda för att sprida ut sand på havsbotten (eng. "Automated hydraulic capping barge"). Dessa sandspridningspråmar utvecklades först i Holland för att kunna sprida tunna lager sand över förorenade bottenar med lösa sediment (Bailey m.fl. 2005; Figur 7). Spridningspråmen är kopplad till en pump som suger sandtäckningsmassorna från ett mudderverk eller mudderpråm. Med denna metod kan utläggningen ske automatiserat genom att spridaren följer ett förprogrammerat spår och där tjockleken på lagret kan kontrolleras genom att justera mängden massor som släpps samt hastigheten på sandspridaren. Denna metod har hög precision och massorna kan snabbt läggas ut i jämna lager om 0,3-0,7 meter med volymer på 1500 m³ per timme beroende på storleken hos spridningspråmen.



Figur 7. Automatiserad sandspridningspråm (bild från Bailey m.fl. 2005).

2.2.5 Spridning av sand under vattenytan

De metoder som hittills nämnts innebär alla att sanden släpps över eller strax under havsytan. Om man vill minska sedimentspridningen i samband med sandutläggning kan istället metoder där sanden placeras ut nära havsbotten användas. Dessa metoder kan exempelvis vara aktuella när hög precision krävs eller då man vill minimera spridningen av sediment i vattenpelaren. Släpp nära havsbotten innebär bättre kontroll på massornas placering och åtgången av täckmaterial kan potentiellt minskas med dessa metoder.

Det finns flera olika metoder för sandutläggning nära botten, men alla som har identifierats i litteraturen innebär att materialet förs ned via rör. Rören kan till exempel monteras i ett låst läge vertikalt från pråmen eller i en vinkel där röret kan svinga från sida till sida för att kunna täcka en större yta med sand när pråmen rör sig framåt. Spridare kan monteras i änden av röret vilket möjliggör en mer kontrollerad spridning av sanden över botten. Sanden släpps cirka 1-3 meter

över havsbotten, vilket gör att denna metod framförallt är fördelaktig vid sandtäckning av bottnar på större djup där man vill undvika att material sprids på väg ned till havsbotten. Likt övriga hydrauliska metoder kan massorna transporteras till sandtäckningslokalen i exempelvis mudderverk eller mudderpråm. Sanden kan matas ut genom röret passivt genom att nyttja gravitationen eller aktivt genom att massorna pumpas ned (Bailey 2005).

2.2 För och nack-delar med respektive metod

Vilken metod, eller kombination av metoder som lämpar sig bäst att använda är oftast beroende av förhållandena vid lokalen som skall sandtäckas. Bland annat påverkas beslutet av vattendjupet, våg- och strömförhållanden, sedimentets stabilitet, bottentopografi samt båttrafik i området. Utläggning via rör, eller bottentömmande pråmar lämpar sig bäst i öppna områden, så som hamnar och farleder. I områden som är trängre eller närmre land kan utläggning från land eller grundgående pråmar övervägas (Jarsek m.fl. 2016). I tabell 1 sammanställs och poängsätts olika sandtäckningsmetoder baserat på ett antal faktorer kopplade till sandutläggning. Tabellen utgör en bedömning baserat på information som har hittats i litteraturen. I de fall där exakta siffror har kunnat hittas anges dessa. Dock kan vissa faktorer väga tyngre när lämpliga metoder skall användas. Till exempel är många områden som behöver sandtäckas för att minska grumling relativt grunda (< 3 meter), varför vissa metoder inte är aktuella.

Tabell 1. Sammanställning och poängsättning av ett antal faktorer kopplade till sandtäckning med de olika metoderna som lyfts i denna rapport. Ett plus (+) betyder 'stämmer inte alls', två plus (++) betyder 'stämmer bra' och tre plus (+++) betyder 'stämmer mycket bra'. I de fall exakta siffror har hittats i litteraturen eller genom tidigare anbud anges dessa. Med "hög tillgång" syftas på tillgången på utrustning och entreprenörer som kan utföra sandtäckning enligt en specifik metod, med "få arbetsmaskiner" menas att få maskiner/fordon/fartyg är involverade i utläggningen.

	Metod	Grund- gående	Låg grumling	Hög precision	Kort tid	Låg kostnad	Lite buller	Hög tillgång	Få maskiner
2.1	Mekanisk utläggning av sand								
2.1.1	Direkt mekanisk placering	+++ (1,5 m)	+++	+++ (±2 cm)	+ (0,5-2 månad/ha)*	+ (2-3 miljoner kr/ha)*	++	+++	+
2.1.2	Ytsläpp med bottentömmande pråm	+ (3,5 m)	++	++	+++	+++	+++	++	+++
2.1.3	Utspolning av sand från pråm	++ (<3 m)	+	++	+	++	++	+	++
2.2	Hydraulisk utläggning av sand								
2.2.1	Ytsläpp från mudderverk/lastfartyg	+	++	++	+++	+++	+++	++	+++
2.2.2	Ytsläpp via rörledning/slang från mudderverk/lastfartyg	+++ (1,5-2 m)	++	++ (±15 cm)	++ (<1vecka/ ha)*	+ (2,5 miljoner kr/ha)*	++	++	++
2.1.2.3	Rainbowing från mudderverk/lastfartyg	+ (3,8 m)	+	+	+++ (1h/ha)*	+++ (0,5 miljoner kr/ha)*	++	++	+++
2.2.4	Sandspridningspråm	+++	+	+++	++	+	++	+	++

*Enligt tidigare anbud samt kommunikation med entreprenörer. Dessa siffror är bara exempel och kan variera beroende på faktorer så som aktuell lokal, sandkälla med mera.

3. Sandkällor

Den typ av material som framgångsrikt använts vid sandtäckning för ålgräs tidigare i Bohuslän bestod av fraktioner från fin sand upp till 8 millimeter grus. Om syftet med sandtäckningen är att förbättra tillväxtförhållandena för ålgräs är detta något som behöver vägas in vid val av sandkälla samt val av kornstorlek hos massorna. Det finns i dagsläget inga studier som har jämfört tillväxten hos ålgräs på sand från land med sand från muddring till havs. Däremot visade ålgräset på mycket hög tillväxt i det naturgrus (0-8 millimeter) som användes vid sandtäckningen av 1 hektar botten på Lilla Askerön 2021.

Då grumlingsproblematiken i det studieområdet kom av höga halter lera och silt i sedimentet vill man undvika för stor halt av detta finpartikulära material hos sandtäckningsmassorna.

Vid sandtäckningsprojekt är en viktig del att identifiera potentiella sandkällor som kan användas i projektet. Sanden behöver vara ren från föroreningar och främmande arter och kan härstamma antingen från täkter på land eller från muddringar till havs. Det finns i huvudsak tre typer av sandkällor tillgängliga; Täkter på land, täkter till havs och muddringar till havs som genomförs för att öka djupet i exempelvis en hamn. Nedan följer en genomgång av dessa sandkällor samt dess för- och nackdelar.

3.1 Sand från land i Västra Götalands län

I Sverige finns en hög tillgång på aktiva sand- och grustäkter på land. Transportavståndet från täktplatsen till sandtäckningsområdet har stor betydelse för kostnaden och är därför en viktig aspekt vid val av täktplats. En genomgång av Länsstyrelsens aktiva sand- och naturgrustäkter i Sverige via NikITa visar att det enbart Västra Götaland finns 53 täkter i drift (Fig. 8). Här finns även information om täktens kapacitet samt täkttyp. Majoriteten av täkterna tillhandahåller naturgrus, medan 4 täkter i kommunerna Mark, Hjo, Härryda och Tidaholm tillhandahåller sand.

Naturgrus finns oftast tillgänglig i två storleksklasser, gjutsand 0-8 millimeter och mursand 0-2 millimeter. Gjutsand är den typ av täckmaterial som använts framgångsrikt vid sandtäckningen i Lilla Askerön 2021. De större gruskornen (0-8 millimeter) som användes vid Lilla Askerön tycks också utgöra en lämplig botten för blåmusslor, vilka satte sig och tillväxte på en del av sandtäckningsytan där ålgräs inte etablerat sig. Ingen konkurrens mellan musslorna och ålgräset kunde ses vid provtagning i Lilla Askerön 2024, men denna möjlighet bör has i åtanke vid val av material.

Analysen av kornstorlek visade att materialet hade en relativt jämn fördelning av fraktioner från fin sand (125–250 μm) till grus (2–8 millimeter), medan fraktionen av mycket fin sand till lera (<125 μm) endast utgjorde <2%. Användning av finare sand, så kallad mursand, har ännu inte utvärderats som metod vid sandtäckning. Möjligen skulle finare sandpartiklar lättare kunna erodera i ett område som påverkas av vågor och strömmar, men skulle sannolikt utgöra ett bra substrat för ålgräset att växa i. Kostnaden för naturgrus ligger på 135-140 kronor per ton (2024) enligt uppgifter från den grustäkt som användes vid sandtäckningen av Lilla Askerön.



Figur 8. Sand- och naturgrustäkter i drift i Västra Götaland (källa: NiklTa 2024).

Om sandkällan härstammar från täkt på land innebär det att sedimenten är torra och med fördel kan släppas vid ytan med mekaniska utläggningsmetoder. Om hydrauliska metoder skall användas behöver massorna först blandas med vatten. Fördelar med att använda sandtäckningmaterial från land är att ler- och siltfraktionen sannolikt är lägre jämfört med massor som muddras upp från havsbotten. Detta i sin tur leder till mindre grumling i samband med utläggningen av sanden. En annan fördel kan vara att tillgången på material är större på land vilket innebär att fler alternativ finns tillgängliga och fraktsträckorna kan bli kortare. Sanden från landtäkter är också fri från föroreningar och invasiva arter, vilket annars kan vara ett problem då marina sediment används.

Kostnaden för sand per volym är i allmänhet högre från täkter på land än till havs. Kostnaden för mobilisering av sandmassor från landtäkter är lägre än till havs och dessutom mindre väderberoende. Däremot kan kostnaden vid transport av massor med lastbil på land vara större och det är viktigt att undersöka miljömässiga såväl som logistiska aspekter vid transport. Även kapaciteten hos täkter på land kan vara lägre och naturgrus (likt det som användes vid sandtäckningen vid Lilla Askerön) är en begränsad resurs som kan vara reserverad till andra verksamheter på land, vilket gör att sand från land lämpar sig bäst för mindre projekt (SGU 2020).

3.2 Sand från havet

I Sverige är sandsugning i Öresund förbjudet sedan 1982, och endast ett tillstånd för utvinning av marin sand och grus finns i svenska vatten. Denna plats är Sandhammar bank, söder om Ystad (SGU 2017). Det är därför sannolikt inte möjligt att köpa marin sand från tåkt till havs i Sverige och om detta alternativ är aktuellt behöver sand köpas från t.ex. Danmark, Tyskland eller Polen.

Ett annat alternativ är att använda material som uppkommer i samband med muddringsverksamheter till havs. Ofta sker denna typ av muddring för att bibehålla djup i hamnar och inseglingrännor. I Danmark, muddras regelbundet stora mängder sand för att bibehålla djupet i farleder inne i estuarier. Denna sand har föreslagits som en lämplig källa till sandtäckning i områden där bottenarna består av höga halter lera och organiskt material (Flindt m.fl. 2022). Denna typ av massorna kan dock eventuellt vara förorenade. Marina sediment som muddras från grunda områden längs med kusten kan innehålla höga halter av tennorganiska föreningar, metaller och PAH'er (Moksnes m.fl. 2019). Detta gör att många sediment inte är aktuella att använda som sandtäckningsmaterial. Gränsen för vad som anses vara förorenat skiljer sig mellan Sverige och dess grannländer. Om sand från marina täkter skall köpas från andra länder behöver därför föroreningsgraden kontrolleras mot svenska föreskrifter. Då marina sediment flyttas från ett område till ett annat finns det risk att man även sprider organismer och sjukdomar mellan områdena. Detta är en viktig aspekt att ha i åtanke och ett skäl till att undvika att använda havssand från andra länder.

Dessutom ligger många hamnar i ett vågskyddat läge vilket gör att massorna ofta innehåller höga halter silt och lera, vilket inte lämpar sig som sandtäckningsmaterial. Längs Bohuskusten hittas få rena sandbottenar och massor från muddringsverksamheter består i hög grad av lera och silt som är mindre lämpligt att använda till sandtäckning. Lämpliga muddermassor i Sverige kommer sannolikt från muddringsprojekt i mer vågexponerade områden i Skåne och Hallands län.

Om sanden muddras från en lämplig lokal och transporteras direkt till sandtäckningsytan, kan detta innebära att färre aktörer behöver involveras jämfört med om massor skall transporteras och lastas från land. Detta kan därför vara ett billigare alternativ jämfört med sand från land.

4. Referenser

Bailey, S. E., & Palermo, M. R. (2005). Equipment and placement techniques for subaqueous capping.

Blue Orbis (2021) Slutrapport utförande av sandutläggning, Askeröfjorden, Västra Götalands län 2021.

Flindt, M. R., Oncken, N. S., Kuusemäe, K., Lange, T., Aaskoven, N., Winter, S., ... & Kristensen, E. (2022). Sand-capping stabilizes muddy sediment and improves benthic light conditions in eutrophic estuaries: Laboratory verification and the potential for recovery of eelgrass (*Zostera marina*). *Journal of Sea Research*, 181, 102177.

Jersak, J., Göransson, G., Ohlsson, Y., Larsson, L., Flyhammar, P., & Lindh, P. (2016). In-situ övertäckning av förorenade sediment. Metodöversikt.

Langseth, J., Luger, D., Jacobs, W., Sisson, R., Sittoni, L., Hedblom, E., & Greenleaf, T. (2015). Placement of caps on soft and fluid tailings.

Moksnes, P. O., Eriander, L., Infantes, E., & Holmer, M. (2018). Local regime shifts prevent natural recovery and restoration of lost eelgrass beds along the Swedish west coast. *Estuaries and coasts*, 41, 1712-1731.

Moksnes P-O, Eriander L, Hansen J, Albertsson J, Andersson M, Bergström U, Carlström J, Egardt J, Fredriksson R, Granhag L, Lindgren F, Nordberg K, Wendt I, Wikström S, Ytreberg E. 2019. Fritidsbåtars påverkan på grunda kustekosystem i Sverige. Havsmiljöinstitutets Rapport nr 2019:3.

Oncken, N. S., Lange, T., Kristensen, E., Quintana, C. O., Steinfurth, R. C., & Flindt, M. R. (2022). Sand-capping—A large-scale approach to restore organic-enriched estuarine sediments. *Marine Environmental Research*, 173, 105534.

Palermo, M. R., Clausner, J. E., Rollings, M. P., Williams, G. L., Myers, T. E., Fredette, T. J., & Randall, R. E. (1998). Guidance for subaqueous dredged material capping.

Rohde Nielsen (2020) Sandutläggning på havsbotten Askeröfjorden Tjörns kommun. RN_AG_LÄN_V01.

SGU 2017, Förutsättningar för utvinning av marin sand och grus i Sverige. Diarienummer: 21-2973/2015

SGU 2020. Grus, sand och krossberg. Statistics of the swedish aggregate production 2020. ISSN 0283-2038

Vägverket 1987 Utförande av erosionskydd i vatten vid brobyggnad. VV Publ. nr 1987:91