



STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT
SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE



Undersökningar i strandnära områden

- Mätning av topografi och batymetri
- Tillämpning för erosion och släntstabilitet

BENGT RYDELL
OLA ARVIDSLUND
JAN FALLSVIK

Varia 573

LINKÖPING 2007



STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT
SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE

Varia **573**

Undersökningar i strandnära områden

- Mätning av topografi och batymetri
- Tillämpning för erosion och släntstabilitet

BENGT RYDELL
OLA ARVIDSLUND
JAN FALLSVIK

Varia	Statens geotekniska institut (SGI) 581 93 Linköping
Beställning	SGI – Informationstjänsten Tel: 013–20 18 04 Fax: 013–20 19 09 E-post: info@swedgeo.se Internet: www.swedgeo.se
ISSN	1100-6692
ISRN	SGI-VARIA--07/573--SE
Dnr SGI	1-0604-0267
Proj.nr. SGI	12828

FÖRORD

Statens geotekniska institut (SGI) har på regeringens uppdrag ett samordningsansvar för stranderosion i Sverige. I detta arbete ingår att göra sammanställning av kunskap som finns i samhället inom olika delområden avseende stranderosion. Resultaten från dessa kunskapssammanställningar görs allmänt tillgängliga för myndigheter, kommuner, konsulter, entreprenörer och allmänheten.

Många kommuner längs kuster och vattendrag har problem med att stranderosionen successivt för bort material som medför skador på värdefulla markområden, anläggningar och byggnader. Under årens lopp har olika tekniker använts för att skapa skydd mot sådan erosion med varierande framgång; tekniskt och ekonomiskt. Nya synsätt och nya metoder har på senare tid vuxit fram som på ett bättre sätt tar hänsyn till naturens egna processer och som på ett kostnadseffektivt sätt och med hänsyn till olika miljöaspekter.

För att få underlag till bedömning av erosions- och stabilitetsförhållandena behövs mätserier som visar förändringar över längre tid. Denna kunskapssammanställning avser att vara vägledning för sådana bedömningar. Rapporten är främst framtagen för SGI:s arbete men förhoppningen är att den ska komma till användning även i andra sammanhang.

Rapporten har sammanställts av Bengt Rydell (projektledare), Ola Arvidslund och Jan Fallsvik vid SGI. Inledningsvis har också Håkan Rosqvist deltagit och värdefulla synpunkter har lämnats av Carina Hultén.

Linköping i juni 2007

Författarna

Undersökningar i strandnära områden

Mätning av topografi och batymetri

Tillämpning för erosion och släntstabilitet

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Förord.....	3
Sammanfattning	6
1 Bakgrund och syfte	7
2 Strategier och principer för mätningar i strandnära områden	8
2.1 Underlag för bedömning av risker och val av strategier.....	8
2.2 Utgångspunkter för mätning i strandnära områden	10
2.3 Generellt innehåll i mätprogram.....	10
2.4 Genomförande av mätningar	11
3 Undersökningsmetoder.....	13
4 Fjärranalys och flygbaserade metoder	14
4.1 Flygfoto	14
4.2 Satellitbilder.....	14
4.3 Laserskanning.....	16
4.4 Interferometric Synthetic Aperture Radar (SAR).....	20
4.5 Multispektrala mätningar.....	23
5 Fartygbaserade metoder	24
5.1 Handlodning	24
5.2 Ramning.....	25
5.3 Ekolod, enkelstråligt.....	26
5.4 Multistråleekolod (Multibeam).....	28
5.5 Sidotittande sonar	30
5.6 Sediment ekolod	33
6 Markbaserade metoder.....	35
6.1 Mätstav och totalstation.....	35
6.2 Markbaserad LIDAR	35
6.3 Mätställning/mätstav på hjul (CRAB).....	36
6.4 Fixerade observationer/videoövervakning	38
7 Tillstånd för mätningar	41
Referenser.....	42

Mer att läsa

SAMMANFATTNING

Ett viktigt planerings- och beslutsunderlag inom strandnära områden är att ha tillförlitliga uppgifter om förhållandena på stränder och havsbottnar. Många kuster hotas av erosion och översvämning och vid flera vattendrag finns risk för ras och skred i slänter. För att få underlag till bedömning av erosions- och stabilitetsförhållandena behövs mätserier som visar förändringar över längre tid av omfattning av den kustnära sedimenttransporten, var erosion respektive ackumulation förekommer. Det kan också gälla slänters stabilitet, i synnerhet där släntens geometri under vatten är avgörande för stabiliteten.

I denna rapport har gjorts en sammanställning av olika metoder för att mäta de topografiska och batymetriska förhållandena (nivåer på land respektive havsbottnar) i kustområden. Sammanställningen utgår från svenska förhållanden och för de olika metoderna beskrivs användningsområden, möjligheter och begränsningar, vilken noggrannhet som uppnås och kostnader för mätning. Undersökningarna har indelats i fjärranalysmetoder, fartygsbaserade metoder och markbaserade metoder.

Inledningsvis beskrivs vilka strategier och principer för mätningar i strandnära områden som kan tillämpas utifrån vilka värden som kan vara i riskzonen. Det krävs särskilda tillstånd att samla och lagra geografisk information och detta beskrivs också i rapporten. I en bilaga beskrivs kortfattat olika processer i kustområden och vilka faktorer som påverkar stranderosion.

För fördjupade studier finns en referenslista och en lista med hänvisning till rapporter och webb-sidor på Internet.

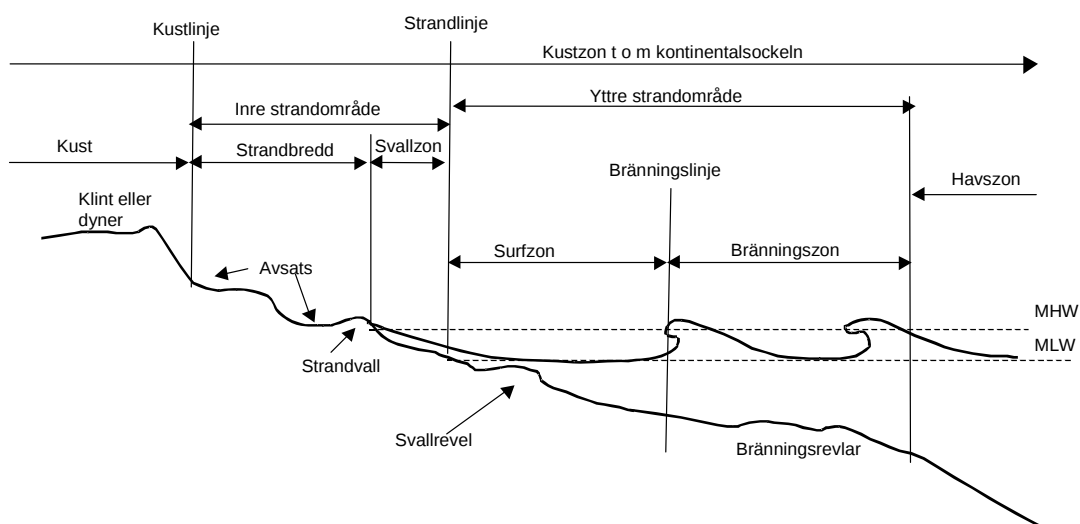
1 BAKGRUND OCH SYFTE

Ett viktigt planerings- och beslutsunderlag inom strandnära områden är att ha tillförlitliga uppgifter om förhållandena på stränder och havsbottnar. Det kan gälla t.ex. flora, fauna, vattenbeskaffenhet och nivåförhållanden. Många kuster hotas av erosion och översvämning och vid flera vattendrag finns risk för ras och skred i slänter. För att få underlag till bedömning av erosions- och stabilitetsförhållandena behövs mätserier som visar förändringar över längre tid av omfattning av den kustnära sedimenttransporten, var erosion respektive ackumulation förekommer. Det kan också gälla slänters stabilitet, i synnerhet där släntens geometri under vatten är avgörande för stabiliteten.

Det finns flera olika metoder för att mäta de topografiska och batymetriska förhållandena (nivåer på land respektive havsbottnar) i kustområden. För att kartlägga vilka mätmetoder som finns samt hur och när de kan användas har denna kunskapssammanställning genomförts. Här redovisas med en genomgång av ett antal olika undersökningstekniker/mätmetoder och mätinstrument, användningsområden, möjligheter och begränsningar, vilken noggrannhet som uppnås och kostnader för mätning.

Det finns ett flertal undersökningstekniker som används i olika delar av världen men i denna sammanställning ligger fokus på tillämpningar för svenska förhållanden. Redovisningen baseras på inventering av litteratur, kontakter med företag som utför mätningar samt egna erfarenheter från praktiska mätningar.

Strandnära områden används i rapporten som begrepp för de områden som omfattar kustens inre del med klitter eller dyner, det inre och yttre strandområdet enligt Figur 1-1. För vattendrag avser strandnära områden själva vattendraget och angränsande slänter.



Figur 1-1. Definitioner av kustzonen (Rankka, 2003).

Syftet med denna kunskapssammanställning är att beskriva metoder för topografiska och batymetriska undersökningar i strandnära områden. Rapporten ska kunna användas bland annat vid val av undersökningsmetod för bestämning av t.ex. stranderosion och släntstabilitet.

2 STRATEGIER OCH PRINCIPER FÖR MÄTNINGAR I STRANDNÄRA OMRÅDEN

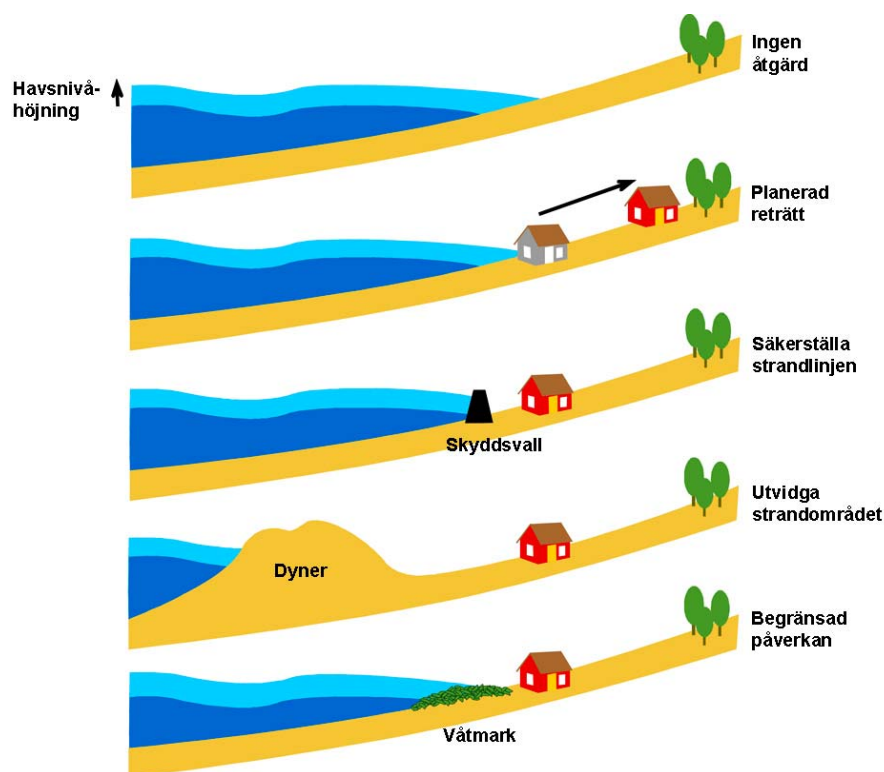
2.1 Underlag för bedömning av risker och val av strategier

Mätningar i strandnära områden måste alltid baseras på den aktuella planerings- eller beslutssituationen. Vad behöver man veta? Vilka problem finns eller kan förväntas i framtiden? Det kan t.ex. handla om befintlig bebyggelse eller infrastruktur som är hotad av erosion eller översvämning idag eller som kan komma att vara i riskzonen till följd av framtida klimatförändringar. Stabiliteten för slänter i anslutning till vattendrag kan vara otillfredsställande. Det kan också vara aktuellt att i den fysiska planeringen klargöra förutsättningar för lokalisering av bebyggelse och annan markanvändning. Exempel på vanliga problemställningar i strandnära områden visas i Figur 2-1.



Figur 2-1. Problemställningar i strandnära områden.

Med utgångspunkt från riskbilden krävs ett beslut om vilken **strategi** för skydd av stränder som ska tillämpas. Det finns i princip fem olika grundläggande strategier som kan tillämpas enligt Figur 2-2.



Figur 2-2. Generella strategier för kustskydd (Eurosion, 2004).

I alla dessa situationer erfordras ett tillförlitligt planerings- och beslutsunderlag, grundat på fakta och väl underbyggda prognoser för framtida förhållanden. För värdering av åtgärder i strandnära områden är mark- och vattenförhållandena viktiga och framförallt:

- vattennivåer - nuvarande och förväntade framtida medel- och högvatten
- vågförhållanden - höjd, frekvens och riktning
- vindförhållanden - exponering och intensitet
- geologi - på land och havsbotten
- topografi - höjder på stränder, dyner, slänter och bakomliggande områden
- batymetri - nivåförhållanden och lutningar på botten i hav och vattendrag

Utöver dessa uppgifter finns behov av uppgifter om flera andra förhållanden som kan vara hotade t.ex. avseende miljöförhållanden, naturvård, sjöfart och fiske.

Uppgifter om dessa förhållanden kan finnas på kartor hos kommuner och myndigheter. Ofta är emellertid mätdata begränsade och mätningarna utförda på platser med stort avstånd från den aktuella platsen. Det kan också finnas historiska data från platsen, både mätningar men också andra observationer. I många fall behöver dessa uppgifter bestämmas genom kompletterande mätningar.

Utifrån data om förhållandena på platsen kan bedömning göras av påverkan på strandnära områden och konsekvenser för befintlig bebyggd miljö och planerad markanvändning.

2.2 Utgångspunkter för mätning i strandnära områden

Mätningar bör utföras med utgångspunkt från vilka problem som har identifierats och vilka hotbilder som kan finnas, en så kallad **riskbaserad mätstrategi**. Denna utgår från principen att först etablera en översiktlig beskrivning av förhållanden i det aktuella området och därefter utföra detaljerade mätningar inom de områden som bedöms ha de största riskerna.

Prioriteringen baseras på följande förhållanden:

- planerings- och beslutssituation
- strategi för skydd av stränder
- hydrauliska förhållanden (vattennivåer, vågor och vind)
- sårbarhet för erosion och översvämning
- morfologi och geologi (erosionsbenägenhet)
- befintliga skydd längs stränder

Det aktuella strandområdet analyseras utifrån dessa förhållanden och indelas i olika delområden utifrån den bedömda risksituationen för dagens och framtida förhållanden.

Eftersom processer vid kuster och vattendrag påverkas av vatten och vind varierar förändringarna i sedimenttransport under året och mellan åren. För att få ett tillförlitligt underlag behöver därför mätningar utföras under lång tid för att kunna bedöma både säsongsvisa variationer och mer långsiktiga trender.

I Sverige finns begränsade erfarenheter av mer långsiktiga mätprogram, analyser av sedimentförändringar och erosionsförhållanden. Ibland kan finnas enstaka mätningar av specifika förhållanden. Den inriktning av mätningar som anges här baseras därför på internationella erfarenheter och främst utifrån det europeiska projektet Messina (Messina, 2006).

Övervakningssystem

Alla mätdata behöver insamlas i en geodetisk infrastruktur inom fastställt koordinatsystem och lagras på enhetligt sätt i en databas. Mätssystemet bör vara integrerat med övriga mätningar som utförs inom exempelvis en kommun. All databehandling förutsätts vara digital och anpassad till efterbearbetning med t.ex. GIS-system.

Det är väsentligt att beslut om mätprogram har en långsiktig inriktning och att organisationen för insamling och lagring av data ansvarsmässigt säkerställs så att mätprogrammet inte är beroende av en enstaka person.

2.3 Generellt innehåll i mätprogram

Erfarenheterna visar att mätningar i kustområden bör utföras enligt en riskbaserad mätstrategi enligt avsnitt 2.2. Följande generella strategi bör tillämpas:

Basmätning

En heltäckande mätning av topografi och batymetri för hela det aktuella området bör finnas som utgångspunkt och referens för kommande årliga mätningar. Mätningar bör

utföras yttäckande och omfatta så stora områden på land att dynområden eller släntröner och bakomliggande områdens topografi bestäms. I vattenområden bör mätningarna utsträckas till det så kallade förändringsdjupet (det djup då vågor inte påverkar botten i havet), motsvarande ca 6 – 8 m i Östersjön respektive det område som kan behöva studeras i vattendrag.

Denna basmätning utförs inledningsvis och därefter med 5 – 10 års intervall.

Årliga mätningar

Mellan basmätningarna görs årliga mätningar i profiler vinkelrätt mot strandlinjen och med samma utsträckning på land och i vatten som vid basmätningen. Avståndet mellan profilerna bestäms av risksituationen.

Mätningarna bör lokaliseras till områden där ett eller flera förhållanden förekommer:

- Stora ekonomiska värden med risk för erosion, ras/skred eller översvämning
- Bebyggelse bakom dyner med risk för genombrott och lågt belägna områden
- Smal strand och låga dyner
- Konstaterad erosion
- Rörelser i slänter

I kustområden bör mätningarna utföras två gånger per år, en på våren och en på hösten innan höststormarna, för att värdera de säsongsvisa variationerna.

Övriga mätningar

Det kan också vara värdefullt att mäta direkt efter stormtillfällen, stora vattenflöden eller höga vattennivåer för att bedöma de kortvariga effekterna på erosionen i slänter och på bottnar.

I de fall det finns historiska data bör även dessa sammanställas.

Presentation av resultat

Redovisning av mätresultat kan göras på olika sätt beroende på hur informationen ska användas. Det finns några olika sätt för redovisning, t.ex.:

- Årliga förändringar av profiler
- Årlig översikt av förändring av sedimentvolym
- Förändring av profiler och sedimentvolym över tiden
- Utvecklingstrender för strandprofiler

Hur resultaten ska redovisas bör bestämmas i samråd med de som ska använda resultaten.

2.4 Genomförande av mätningar

Insamling av topografiska och batymetriska data kan göras på flera olika sätt. Mätningar kan göras med flygburna eller fartygsburna metoder, markbaserade mätningar eller genom analys av satellit- och flygbilder. Metoderna beskrivs närmare i efterföljande avsnitt.

Mätningarna kan genomföras i egen regi om kompetensen finns inom en organisation eller så kan mätjänster upphandlas. Behandling av mätdata kan på samma sätt utföras

inom organisationen eller köpas in. Utvärdering av data behöver normalt göras med särskild kompetens som inte finns inom organisationen.

Samverkan i mätinsatser

Innan mätningar påbörjas bör undersökas om det finns andra behov av mätningar än för skydd av stränder och om flera avnämare kan behöva motsvarande data. Det finns då stora möjligheter att minska kostnaderna för mätningarna.

Exempel på sådana mätningar kan vara uppgifter för miljöskydd och naturvård, sjöfart eller den marina miljön. Uppgifter om sådana förhållanden kan efterfrågas av flera förvaltningar i en kommun, hos andra närliggande kommuner, hos länsstyrelsen eller centrala myndigheter.

3 UNDERSÖKNINGSMETODER

Föreliggande avsnitt behandlar undersökningsmetoder som kan användas vid mätning av topografi och batymetri för bedömning av erosion, ackumulation, sedimenttransport och släntstabilitet i strandnära områden. De metoder som beskrivs har främst valts utifrån svenska förhållanden.

Undersökningsmetoderna har indelats enligt följande:

- Fjärranalyser (t.ex. flygbaserade tekniker, satelliter etc.)
- Fartygsbaserade metoder (t.ex. akustiska/geofysiska undersökningar etc.)
- Markbaserade metoder (indelad i topografiska/batymetriska tekniker och fixerade tekniker)

Utöver dessa finns ett antal andra metoder som kan användas för bedömning av geotekniska och miljögeotekniska förhållanden (SGF, 1996 och SGF, 2004). Metoder för undersökning av vind, vågor, vattenstånd liksom fysikaliska/matematiska metoder för beräkning av sedimentförflyttningar behandlas inte i denna sammanställning.

4 FJÄRRANALYS OCH FLYGBASERADE METODER/

4.1 Flygfoto

Metod

Flygfotografering är en vanlig metod som tillämpas vid övervakning av markrörelser och slänter och vid kustområden för tolkning av geomorfologiska förändringar samt bedömning av erosion och ackumulation av sediment (Messina, 2006).

Användningsområden

Vanliga användningsområden är:

- Visuell tolkning i stereobilder av erosions- eller ackumulationsprocesser samt förändring av strandlinjer
- Fotogrammetrisk inmätning på stereobilder för
 - framställning av detaljerade kartor
 - upprättande av sektioner längs stranden
- Framställning av ortofoton

Möjligheter och begränsningar

Flygbilder är användbara för studier av hur stranden förändras med tiden särskilt för att bedöma förändringar över längre tidsperioder, exempelvis mellan olika årtider eller under flera år. Kortvariga förändringars storlek är dock svåra att bestämma enbart med hjälp av flygbilder. Längs sandkuster kan förändringar ske snabbt. Detta förhållande kan även försämra noggrannheten hos de kartor som baseras på flygbilder om flygbilderna har tagits vid olika tillfällen. Fotogrammetrisk inmätning kan enbart användas för höjd-förhållandena ovanför vattenlinjen.

Kostnad

Fotogrammetrisk inmätning med 0,1 m noggrannhet kostar överslagsmässigt 3000 – 4000 kr/km², förutsatt att den totala karterade ytan är större än 100 km².

Detaljeringsnivå

Vid arbete med flygbilder är flygbildsskalor runt 1:10 000 optimala, varvid tillräckligt många detaljer framträder utan att överblicken blir för begränsad.

Svenska erfarenheter

Flygbildstolkning med hjälp av stereoinstrument (geobildtolkning) är en etablerad metod för att indikera förekomster av erosion och skredärr i skredkänsliga områden. Vid produktion av topografiska kartor i olika skalor används fotogrammetrisk inmätning på stereoflygbilder för framställning av höjdkurvor.

4.2 Satellitbilder

Metod

Satelliter är i konstant omlopp, och till skillnad mot flygbilder uppdateras satellitbilder av ett specifikt geografiskt område regelbundet och med relativt korta tidsintervall (Messina, 2006). Satellitbilder kan därför beställas från specifika tidpunkter exempelvis före och efter en storm. Satelliter kan vara utrustade med såväl moderat- som högupplösande sensorer beroende på vad som är avsikten med mätningen. Satelliter kan även

registrera olika våglängder av den reflekterade strålningen från jordytan och på detta vis kan exempelvis detekteras olika typer av vegetation på sjöbotten vilka ger specifika strålningsmönster.

Användningsområden

Möjliga användningsområden kan vara att visuellt tolka erosions- eller ackumulationsprocesser samt förändring av strandlinjer. Även markrörelser t.ex. i slänter kan identifieras förutsatt att de har sådan omfattning att det kan observeras i satellitbilder.

Möjligheter och begränsningar

En fördel med satellitbilder är att man kan täcka relativt stora områden till en liten kostnad. Fjärranalysteknik är vanligen den mest kostnadseffektiva metoden för att få en överblick av områden som är otillgängliga eller för stora för att mäta med traditionella markbundna metoder. Olika satelliter är utrustade så att de antingen kan ta emot reflekterat solljus från jordytan, eller så sänds strålning (radar) ut från satelliten och reflekteras av jordytan.

Satelliten IKONOS ger högupplösta svartvita bilder med 1 m upplösning eller färgbilder med 4 m upplösning med kapaciteten 2000 kvadratkilometer per minut. Satelliten rör sig ett varv runt jorden på 98 minuter vilket ger ca 15 varv per dygn. Detta medför att nästan alla platser på jorden täcks dagligen. Satelliten SPOT 5 ger högupplösta svartvita bilder med 2,5 m upplösning eller färgbilder med 10 m upplösning.

Strandlinjer är ofta svåra att detektera eftersom strålning som passerat genom vatten ofta har en karakteristisk prägel som liknar strålning som reflekterats från land. Vidare är sjöbottens utseende och föremål i vattnet svåra att detektera om det finns mycket sediment i vattnet. Dessutom täcks ofta kuster av moln.

Kostnad

Satellitbilder från SPOT 5 som ger 2,5 – 5 m upplösning kostar överslagsmässigt 50 – 80 kr/km², medan satellitbilder från IKONOS som ger 1 m upplösning kostar överslagsmässigt 100-130 kr/km²

Detaljeringsnivå

Nya satelliter med högupplösande sensorer kan utskilja objekt ned till ca 1 m storlek. Sådana data är normalt inte fullt tillgängliga av sekretess- och licensskäl.

Svenska erfarenheter

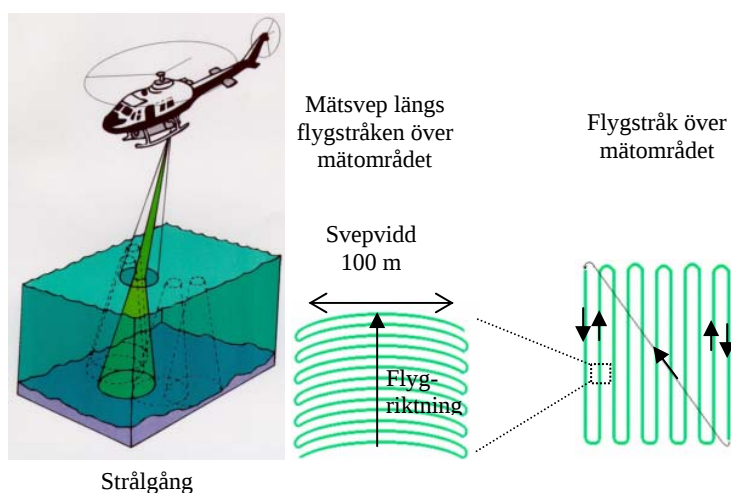
Användningen av satellitbilder för värdering av topografi och batymetri är relativt begränsad i Sverige. Andra tillämpningar i strandnära områden visar dock att det finns möjlighet att vidareutveckla användningen även för sådana analyser. Mer information finns i avsnittet ”Mer att läsa”.

4.3 Laserskanning

Metod

Laserskanning eller LIDAR (Light Detection and Ranging) är ett flygburet system (helikopter eller flygplan) för "remote sensing" som producerar miljontals koordinatpunkter som beskriver markytans topografi eller botten i vattenområden i plan och höjd. Laserpulser sänds ut mot ett mål och genom att mäta tiden som går åt för att pulsen ska återkomma kan målets position bestämmas. Laserskanning kan ge underlag för bland annat översvämningsrisk längs sjöar och vattendrag, släntstabilitetskartering, inmätning av kusterosion etc..

Under mätningen flyger man längs ett antal stråk över mätområdet. Svepvidden under mätningen är 100 m och flygstråken läggs så tätt att successiv överlappning erhålls både i sidled och längsled. Flyghöjden varierar mellan 150 och 300 m beroende på bland annat krav på mätnoggrannhet, förekomst av moln etc.. Principen framgår av Figur 4-1.



Figur 4-1. Principer för laserbatymetri.

I Figur 4-2 innehåller behållaren under flygmaskinerna laserutrustningen med sändare och mottagare, skannerspeglar och gyrosystem. Inne i flygplanet/helikoptern finns styr dator för lasern, GPS-mottagare samt laserelektronik.

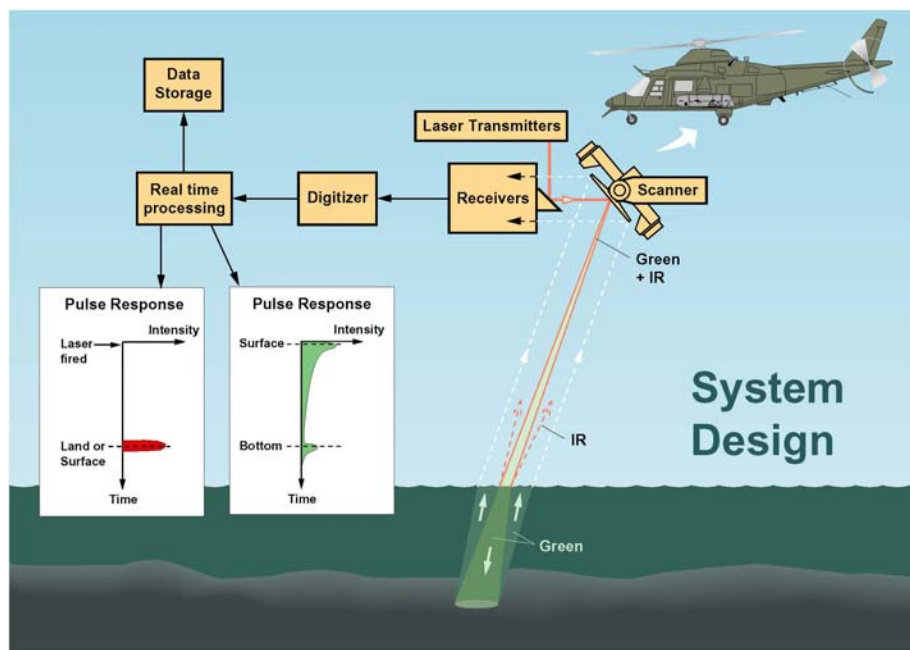
Skannerspegeln är utrustad med en s.k. kodomvandlare, som ger mycket exakta värden för ljusstrålarnas lutningsvinklar. Dessa lutningsvinklar används för att beräkna laserstrålarnas position i förhållande till helikoptern. Ett s.k. IRS-system är anslutet till laser spegeln för att stabilisera skannerspegelns position i förhållande till helikopterns rörelser. Själva helikopterns position bestäms med DGPS.



Figur 4-2. Helikopter och flygplan med utrustning för laserskanning.

Topografisk LIDAR, som endast kan mäta topografin på land, baseras på en laser där IR-ljus används.

Med laserbatymetri kan mätas såväl topografin (höjder på land) som batymetrin (nivåer på havsbottnar). Vid mätningar med laserbatymetri består laserdjupet av 80 % infrarött ljus och 20 % grönt ljus. Laserstrålen sänds via ett spegelsystem till en skannerspegel, som sänder laserpulser ned till vattenytan. Det infraröda ljuset reflekteras mot vattenytan direkt tillbaka till flygmaskinen, medan det gröna ljuset tränger igenom vattnet och reflekteras av botten, se Figur 4-3.



Figur 4-3. Illustration av laserljusets väg vid laserbatymetrisk mätning.
(Illustration: ACSAB)

De reflekterade pulserna digitaliseras och tidsavståndet mellan IR-pulsen och ”den gröna pulsen” mäts. Vattendjupet beräknas baserat på detta tidsavstånd. Djupet bestäms med hjälp av tidsskillnaden mellan den reflekterande ytreflexen och den reflekterande bottenreflexen. Mer information finns i avsnittet ”Mer att läsa”.

Möjligheter/Begränsningar

Vid *topografisk LIDAR* (på land) används en smalare laserstråle än vid laserbatymetri och detta innebär en högre noggrannhet vid mätning på land. Topografisk LIDAR kan dock inte användas för mätning av bottennivåer under vatten eftersom det IR-ljus som lasern använder inte kan tränga ned i vatten.

Siktdjupet varierar med vattnets grumlighet och avgör möjligheterna till *laserbatymetri*. Siktdjupet för det mänskliga ögat, det så kallade secchi-djupet, kan bestämmas med en vit s.k. secchiskiva, Ø300 mm, som sänks ned till botten med ett mätband. ”Siktdjupet”, penetrationsdjupet, med laserstrålen är 2,5 till 3 gånger större än secchi-djupet. Detta innebär att mätningar kan utföras till mellan 20 och 35 m djup i Östersjön och till mellan 30 och 60 m djup i Nordsjön. Penetrationsdjupet är lägre invid kusten på grund av vattnets större grumlighet nära land. I sjöar och vattendrag kan vattnet vara så grumligt att siktdjupet inte blir tillräckligt stort. Exempelvis är i Göta älv siktdjupet endast 0,5 m, varför mätning med laserbatymetri blir begränsat till ca 1,5 m.

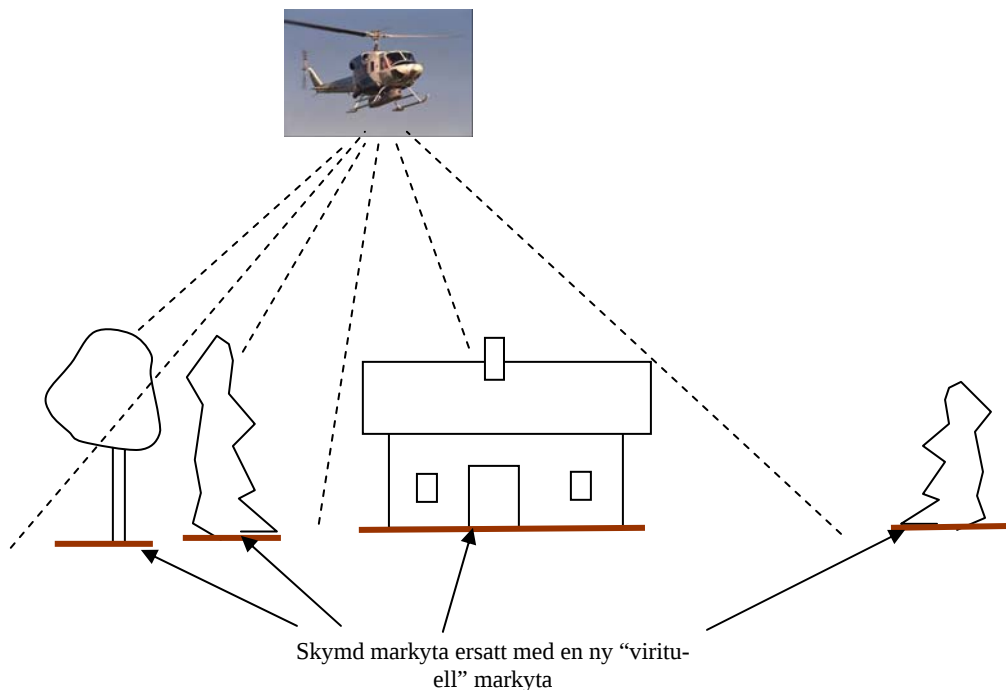
Kostnad

Erfarenhetsmässigt är flygmaskinsburen laserskanning billigare än helikopterburen vid mätning av större sammanhängande områden. Kostnaden för laserbatymetri är ca 10 000 kr per km². Till detta tillkommer en etableringskostnad på 50 000 – 100 000 kr beroende på mätplatsens läge.

Kostnaderna för topografisk LIDAR beror på om syftet är att översiktligt skanna större markområden eller att detaljerat mät markområden med högupplöst LIDAR. Vid skanning av mycket stora områden är kostnaden 2 000 – 3 000 kr per km² för datainsamling, vartill ytterligare ca 400 – 600 kr per km² tillkommer för framtagning av en terrängmodell. Detta motsvarar 1 – 2 inmätta punkter per m² och en noggrannhet i höjd som varierar mellan 30 och 50 cm. För framställning av terrängmodeller med högt krav på punkttäthet och en noggrannhet ner mot 5 cm ligger priset runt 6 000 – 9 000 per km². Etablering ingår i de angivna kostnaderna.

Detaljeringsnivå

Vid mätningarna erhålls så kallade rådata. Dessa rådata måste bearbetas med hjälp av bland annat GPS-data, tidsåtgång och vågform för varje återkommande laserpuls. Detta ger en noggrann information om läget, i koordinatform, för varje mätpunkt.



Figur 4-4. Bestämning av markyta vid hinder av träd, buskar, hus etc., som skymmer markytan.

Under mätningen erhålls en successiv överlappning erhålls både i sidled och längsled längs flygmaskinens kurs. Denna överlappning medför normalt att markytor mäts flera gånger och vanligen kan därmed alltid någon laserpuls tränga igenom grenverk och nå markytan. Med hjälp av en GIS-algoritm som känner igen strukturer kan sedan laser-ekon från vegetation och byggnader identifieras. Därefter kan dessa strukturer "neutraliseras" så att nivån för den verkliga markytan framträder, Figur 4-4.

Vid laserbatymetri bestäms djupet med s.k. kinematisk GPS relativt vattenytan. Parallellt utförs mätning av markytan längs stranden, vilket medger en bestämning av vattnets topografi, dvs. vattenståndet (vattenytans läge) och vågutseendet vid måttillfället

samt en omräkning av vattenytan till en ”plan yta”. Laserbatymetrisystemet kompenserar således för vågorna. Brytande vågor och skum kan dock orsaka försämrade skärpa.

Pixlarna har ca 2 m diameter och mätnoggrannheten är:

På land:	X- och Y-led	± 1 dm
	Z-led	± 2 dm
På botten under vatten:	X- och Y-led	± 5 dm
	Z-led	± 3 dm

Svenska erfarenheter

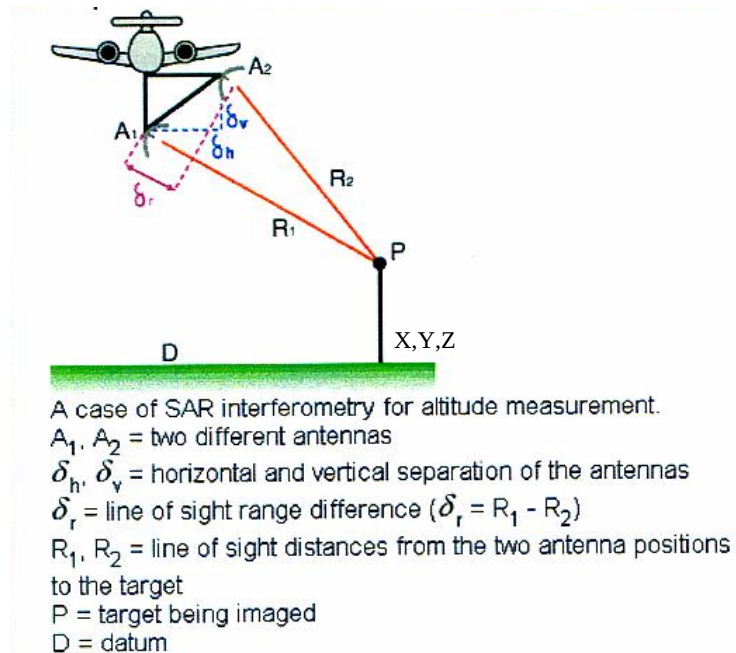
Topografisk LIDAR har använts i flera sammanhang för bestämning av höjdförhållandena. Tillämpningar för släntstabilitet och erosion är emellertid begränsade. Några exempel är laserskanning i stället för användning av den ekonomiska kartans höjdkurvor för utförande av GIS-baserad översiktlig stabilitets- och översvämningskartering. Mätningar har utförts längs Eskilstunaån från Hjälmarén till Mälaren och i ett annat fall för bestämning av slänters stabilitet vid Göta Älv vid Lilla Edet (Fallsvik et al., 2005 och Fallsvik, 2006).

Laserbatymetri har utförts i mindre omfattning men en pilotstudie har utförts för bestämning av bottennivåer längs Skånes sydkust vid Ystad Sandskog och Löderups strandbad (Rydell och Nyberg, 2006).

4.4 Interferometric Synthetic Aperture Radar (SAR)

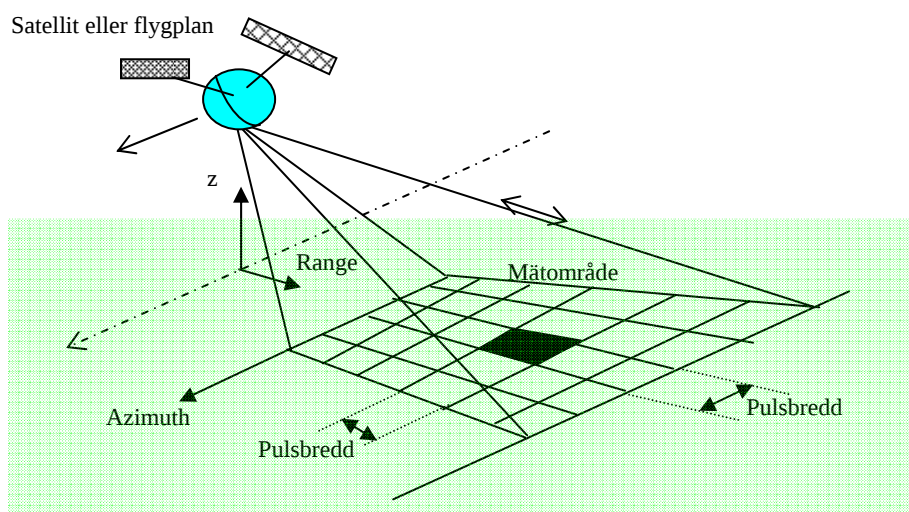
Metod

Interferometric Synthetic Aperture Radar (SAR) är en flyg- eller satellitburen sensor konstruerad för att mäta markytans nivåer för att skapa bilder över topografin. Radar-pulserna riktas mot målen på markytan och den reflekterade signalen tas emot av antenner monterade på flygplanet/satelliten, Figur 4-5. Systemet levererar nivåer (Z) som är relaterade till specifika koordinatpunkter på markytan (X, Y). Mer information finns i avsnittet ”Mer att läsa”.



Figur 4-5. Princip för radarinterferometri, SAR, för marknivåmätningar.

Flygplans- eller satellitburen SAR-mätning, som utförs i sidled längs färdriktningen enligt Figur 4-6, producerar en tvådimensionell bild av markytan. Den ena dimensionen, som mäts tvärs färdriktningen, benämns "range" ("tvärsmätning"). I SAR utförs mätningen i "range"-mätningen enligt samma metod och har samma upplösning som vid vanlig radarmätning. "Range"-mätningen erhålls således genom registrering av tidsåtgången för radarekott, det vill säga tidsåtgången för radarpulsen att gå fram till och tillbaka från målet. I den enklaste formen av SAR är mätningens "range"-upplösning beroende av pulsbredden på så vis att smala pulser ger hög upplösning.



Figur 4-6. Mätprincip för Synthetic Aperture Radar (SAR), efter Sandia (2007).

Den andra dimensionen vid SAR-mätning kallas "azimuth" ("längsmätning"), som utförs längs färdriktningen, det vill säga vinkelrätt mot "range"-mätningen (Sandia, 2007).

Det är förmågan att utföra en relativt sett hög azimuthupplösning som skiljer SAR från andra typer av radar. För att erhålla hög azimuthupplösning krävs en lång antenn för att möjliggöra att den utsända och mottagna energin i radarpulsen blir fokuserad till en skarp stråle. Strålens skärpa definierar azimuthupplösningen. (På samma sätt kräver optiska system, exempelvis astronomiska teleskop, stora linser och speglar för att skapa en hög upplösning. Spegelarna och linserna är härvid analoga med radarantennen.)

Eftersom SAR arbetar med mycket lägre frekvens än optiska system krävs redan för en moderat SAR-upplösning en antenn, som är mycket längre än att den praktiskt skall kunna monteras på ett flygplan eller en satellit. (Antennen skulle behöva ha en längd som är större än 100 m.) Eftersom data insamlas hela tiden som flygplanet eller satelliten passerar över mätområdet kan dock de mottagna radarpulserna datorbearbetas så att man simulerar en lång "syntetisk" antenn. En smal syntetisk strålvidd erhålls med hjälp av en lång syntetiskt datorskapad antenn (Synthetic Aperture), vilket ger högre upplösning än vad som skulle vara möjligt med en kortare "fysisk" antenn.

För att skapa ytterligare förbättring av upplösningen kopplas resultaten samman från "range"- och azimuthmätningarna, vilket förbättrar datorbearbetningen (Sandia, 2007) .

Användningsmöjligheter

SAR-metodens främsta fördel är möjligheten att mäta förändringar i marktopografin i realtid eller i nära realtid. En möjlig tillämpning är mätning av förändringar av en kustlinje.

Möjligheter och begränsningar

Jämfört med laserskanning (som baseras på ljus) är SAR (som baseras på radar) mindre känslig vid mätningar i dåligt väder.

SAR-systemet har begränsningar när det gäller inmätning av marktopografin under tät vegetation. Atmosfäriska effekter kan påverka mätningarna speciellt vid mätning från satellit. Jämfört med laserskanning ger SAR sämre noggrannhet vid vertikal mätning av absolut marknivå men bättre noggrannhet vid mätning av markdeformationer.

Detaljeringsnivå

Vid satellitbaserad SAR-mätning erhålls en noggrannhet som motsvarar några få meter (med nuvarande satelliter) i den erhållna digitala höjdmodellen (DEM). Vid upprepade mätningar vid olika passager av satelliten för att upptäcka markdeformationer dvs. rörelser hos ett objekt, erhålls en betydligt bättre noggrannhet. Noggrannheten är därvid beroende av antalet mätningar, tidsavståndet mellan mätningarna och det geometriska eller "rumsliga" förhållandet mellan olika satellitpassager, dvs. avstånden mellan de olika lägen som satelliten haft vid respektive passage (den så kallade baslinjen).

Noggrannheten för enskilda mätningar av markrörelser blir cirka 1 cm på grund av lokala atmosfäriska störningsförhållanden. Noggrannheten förbättras emellertid proportionellt med antalet ytterligare mätningar samt tidsavståndet mellan den första och sista mätningen. Vid exempelvis en tidsram på 10 år är det möjligt att nå ca 1 mm noggrannhet.

Kostnad

Kostnaden för att mäta markrörelser/-deformationer och framställa en kartredovisning uppgår exempelvis för ett 5 km² stort område till ca 50.000 – 100.000 kr (Leadwith, 2007).

4.5 Multispektrala mätningar**Metod**

Vid multispektrala mätningar, som utförs från flygplan, används ett antal kameror, som registrerar olika våglängdsområden av den reflekterade elektromagnetiska strålningen från jordytan. Läget för de avbildade områdena på markytan bestäms med hög precision med hjälp av GPS. Kamerorna kan samla in information för återgivning i stereo svart/vit, färg kompletterat med infrarött eller i verklig färg med hög precision och upplösning. Position och referensdata erhållna med GPS-mottagaren möjliggör leverans av multispektrala bilder bestämda med valfria geodetiska koordinater.

Hyperspektrala sensorer registrerar från jordytan reflekterad elektromagnetisk strålningen, som levererar samtidiga bilder i många relativt smala kontinuerliga och/eller diskreta spektralband inom de ultraviolettera, synliga och infraröda våglängdsbanden. Hyperspektrala sensorer kan vara monterade i såväl flygplan som satelliter. Utvalda karaktéristiska våglängder kan mätas, exempelvis en våglängd som representerar reflektionen från klorofyll i en speciell typ av växtlighet.

Användningsområden

Användningen av multispektrala mätningar har inte analyserats för tillämpning i strandnära områden. Möjliga tillämpningsområden kan vara att finna våglängdsband för klorofyll för vegetation som kräver stor vattentillgång. På detta sätt skulle man kunna indikera släntavsnitt med höga portryck i jordlagren som uppstår vid utströmningsområden för grundvatten. Förekomst av höga portryck minskar jordens hållfasthet vilket kan orsaka skred och ras.

Kostnad

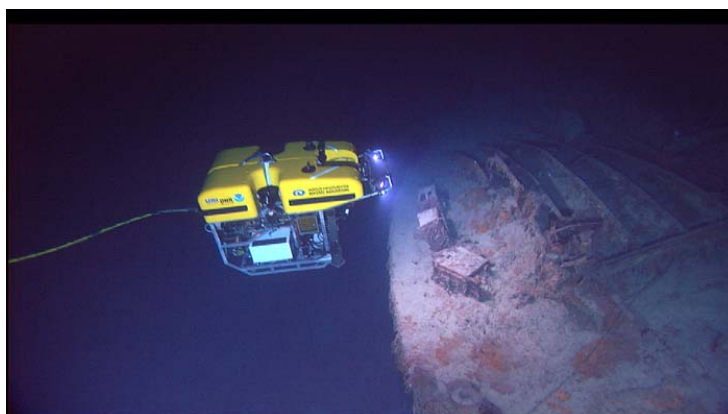
Multispektrala och hyperspektrala mätningar är kostsamma. Kostnaderna kan bli särskilt stora vid höga krav på noggrannhet eller på grund av licensrestriktioner. Det finns inte tillgängligt några kostnadsuppgifter för denna typ av mätning.

5 FARTYGBASERADE METODER

Inom gruppen fartygsbaserade mätmetoder innefattas samtliga mättekniker som använder en båt/fartyg som plattform för undersökningen. All mätutrustning behöver inte nödvändigtvis vara skrovmonterad, t.ex. seismisk mätutrustning kan vara placerad på en bogserad fiskliknande farkost, se Figur 5-1, eller en fjärrstyrd farkost, t.ex. ROV, se Figur 5-2. Kostnaden för sjömätningar varierar kraftigt beroende på var mätningen utförs, vilken metod som används, hur stort fartyg som krävs, bemanning, vilken noggrannhet som önskas, väderförhållanden etc.



Figur 5-1. Ett bogserat mätinstrument, s.k. fisk som släpas efter ett fartyg. (www.rsoperations.com)



Figur 5-2. ROV (Remote Operated Vehicle), en undervattensfarkost som utför mätningar och styrs från ett moderfartyg. (www.noaanews.noaa.gov)

5.1 Handlodning

Metod

Handlodning är en enkel men väl beprövad metod för djupmätning. Tekniken kräver ett lod fäst på ett avståndsmarkerat snöre eller wire alternativt en mätlatta. Lodet sänks ner till botten och djupet (markering vid vattennivån) avläses på ett snöre, samtidigt som positionen fastlägges med GPS, alternativt genom pejling av två landmärken.

Användningsområden

Tekniken är bäst lämpad för strandnära vattenområden ner till ca 10 m djup. Metoden kan vara ett bra alternativ till mer avancerade tekniker som inte kan mäta grundare områden, t.ex. strandnära och älvsflöden.

Möjlighet och begränsningar

Tekniken är enkel och billig men är relativt tidskrävande att utföra. Vid större djup blir momentet att föra ner lodet tidskrävande och det finns då även risk för större missvisningar. Metoden är inte ett precisionsverktyg och ingen teknik som används för att mäta mindre variationer som t.ex. sedimentationshastigheter, dock kan metoden vara användbar för grövre variationer, t.ex. sedimentförflyttningar.

Kostnad

Kapacitet på mätförfarandet är i stort beroende på väderförhållanden, vattendjup och vald noggrannhet. En 100 m lång sektion, med 10 m vattendjup och med 5 m ekvidistans kan normalt utföras på 3 – 4 timmar av två personer.

Djupinformationen kan enkelt läggas in i ett grafik/kalkylprogram för att plotta djupprofilen över sektionen. Om flera sektioner inmätts kan data interpoleras för att skapa en 3D-bild över området. Kostnaden för mätning av en 100 m lång sektion med efterföljande processering bör inte överstiga 7 000 kr.

Detaljeringsnivå

Mätresultaten är till stor del beroende av väderförhållanden och vattendjup, men generellt är osäkerheten på mätningen ca $\pm 0,1$ m.

Varje mättillfälle kräver en position vilken kan inmätas med GPS. Om bara ett fåtal profiler ska undersökas kan i stället två markörer/pinnar i en syftlinje på stranden användas. Om pinnarna ligger i en enslinje så mäter man på "rätt" profil, dock behöver man uppmäta avståndet mellan mätpunkterna på linjen. Är mätområdet strandnära kan eventuellt en pejling med kompassen vara tillräckligt för att grovt bestämma mätpunkternas läge.

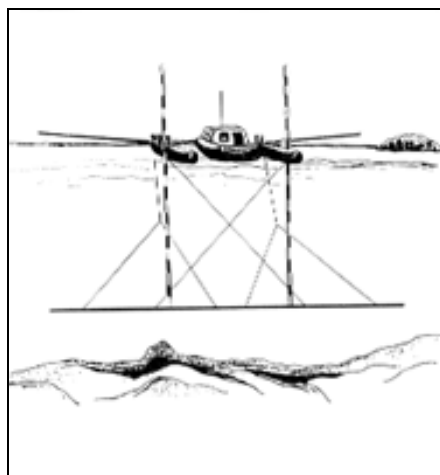
Svenska erfarenheter

Tekniken är väl beprövad och har använts under mycket lång tid i olika sammanhang.

5.2 Ramning

Metod

Ramning är en metod för att kontrollera vattendjup genom att föra en ramkonstruktion längs botten. För att utföra undersökningar krävs ett fartyg som kan bära upp "ramverktyget". Ramen förs sedan ned till önskat djup och fartyget sveper med ramen över aktuellt område. Slår ramen i något föremål eller botten registreras detta och positionen noteras.



Figur 5-3. Undersökning genom ramning av botten. (www.fma.fi)

Användningsområden

Metoden används med fördel för att kontrollera minsta djup inom ett område, t.ex. farleder eller hamnar.

Möjligheter och begränsningar

Tekniken kan inte användas för volymberäkningar av massor eller upprättande av ett sjökort utan endast för att kontrollera att ett bestämt djup föreligger inom undersökt område.

Mätförfarandet är inte komplicerat men varje punkt inom området måste ramas, vilket kan innebära ett flertal linjer med viss överlappning av intilliggande linje. Efterprocessen är relativt enkel och de ”träffar” ramen har gjort plottas på en ritning över området. För t.ex. ett hamnområde på ca 100x100 m bör man lägga upp ca 15 linjer (beroende på ramens bredd) för att få tillräckligt bra överlapp. Fartygets hastighet kan uppgå till ca 2 knop.

Detaljeringsnivå

Metoden är endast ett sätt att mäta minsta djup och noggrannheten av mätningen bör inte ha lägre osäkerhet än $\pm 0,1$ m.

Hela mätningen loggas vanligtvis kontinuerligt med positioner och tid. Varje träff registreras tidsmässigt och positionen kan i efterprocesseringsarbetet plottas på sjökortet/ritningen.

Svenska erfarenheter

Ramning är en väl beprövad och ofta använd metod i Sverige, speciellt vid farledskontroll och i hamnar för kontroll av utlovat djup.

5.3 Ekolod, enkelstråligt

Metod

Ett ekolod sitter oftast monterat på skrovet på ett fartyg och mäter tiden det tar att sända en ljudsignal från båten ner till botten och tillbaka. Instrumentet sänder via en tranceiver

en ljudpuls ned mot botten och registrerar ljudpulsen när den kommer tillbaka till instrumentet med en receiver (mottagare). Med hjälp av ljudets hastighet i vatten kan djupet beräknas. Vid noggranna mätningar måste saliniteten mätas och matas in i instrumentet. En hög salthalt ger en högre ljudhastighet.



Figur 5-4. Ekolod som visar bottenprofilen. (www.garmin.se)

Användningsområden

Ekolod används bland annat av fritidsfiskare för att upptäcka grundområden eller fiskstim till mer yrkesmässig kartläggning av havs- och sjöbottnar.

Möjligheter och begränsningar

Enklare varianter av ekolod är relativt billiga (från 1 000 kr och uppåt) och enkla att använda. Då de endast mäter en djuppunkt rakt under båten krävs det ett flertal registreringar och positionsbestämningar vid kartering av ett större område.

Kostnad

En ekolodsmätning kräver inget förarbete. Mätning kan göras under färd med relativt hög hastighet. Vid högre hastighet minskar dock mätintensiteten mellan mätpunkterna. Efterarbetet är beroende på hur mycket data som har insamlats och vad som efterfrågas. Djupinformationen kan med hjälp av positionsangivelser enkelt plottas på en ritning över området. En enkel ekolodsmätning kan utföras med en mindre öppen båt till en låg kostnad.

Detaljeringsnivå

Ett ekolod brukar arbeta med flera olika frekvenser, dvs styrka på ljudpulsen. En hög frekvens, t.ex. 200 kHz, ger en hög upplösning men är inte lika kraftig och genomträngande av kraftigt sjögräs eller vid ett stort vattendjup. En lägre frekvens, t.ex. 28 kHz, utelämnar detaljrikedomen men har en kraftigare ljudpuls. Mätnoggrannheten varierar mellan olika modeller men kan generellt sägas vara $\pm 0,1$ m.

Enklare ekolod har inga positioneringssystem och därför loggas koordinater separat med GPS eller pejling med kompass. Mer avancerade ekolod/GPS-plotters har såväl ekolod som GPS i samma instrument.

Svenska erfarenheter

Ekolod är en etablerad metod som används frekvent i Sverige av både av fritids- och yrkesfartyg.

5.4 Multistråleekolod (Multibeam)

Metod

Multistråleekolod kallas även Multibeam (av det engelska Multibeam Echosounder). Multistråleekolod fungerar i princip som ett vanligt ekolod, men istället för en enkel ljudstråle så sänder instrument ut multipla ljudstrålar, t ex. 254 strålar. Samtliga strålar utgår från samma källa men sprids med en bestämd vinkel och bildar ett solfjäderlikt mönster ned mot botten, se Figur 5-5. Strålarna reflekteras mot botten och tillbaka till instrumentets receiver, där tidsåtgången registreras. Instrumentet registrerar de olika ljudstrålarna separat och på så vis kan en till fartygets färdlinje vinkelrät bottenprofil presenteras. Eftersom fartyget hela tiden rör sig framåt med ca 3 – 6 knop registreras successivt nya profiler och en 3D-batymetrisk bild framträder, se Figur 5-6.

Ett multistråleinstrument är avancerat och för att kunna samla in data och presentera en grafisk bild över botten krävs utbildning och god vana att handha instrumentet. Profiler-na redovisas som rådata samtidigt som undersökningen pågår. Detta råmaterial behöver bearbetas, filtreras och samköras mot navigation/positionsangivelser. Därefter kan all insamlad data plottas för att presentera områdets batymetri.



Figur 5-5. Bilden visar stålar från ett fartygs multiekolod mot bottenprofilen.
(www.kongsberg.com)

Användningsområden

Multistråle kan användas till ett flertal olika uppgifter. Då instrumentet är relativt litet kan det monteras på små, grundgående båtar som kan gå in i vikar och åar. Vid större djup använder man sig av ubåtar (ROV) för att komma tillräckligt djup och få bättre upplösning. Metoden används för sjökartering, volymsberäkningar av muddermassor,

kartering av botten vid byggnation och stabilitetsberäkning, och i viss mån vid sökning efter föremål.

Möjligheter och begränsningar

En multistråleundersökning har fördelen av att skanna av ett större vinkelrätt område mot färdlinjen. Täckningen av "solfjädern" är ca 6 – 8 gånger djupet, dvs. om undersökningen utförs på 10 m djup erhålls ca 35 m täckning av botten både styrbord och babord om fartyget. Detta medför att ett större område relativt snabbt kan undersökas och en 3D-modell presenteras. För att garantera 100 % täckning av botten brukar intilliggande undersökningslinjer överlappa varandra med ca 10 – 25 %. Är undersökningsområdet kuperat krävs dock smalare undersökningslinjer, då djuphålor kan bli "skuggade" av närliggande botten. Detta kan dock åtgärdas med en separat undersökningslinje direkt över djuphålan. Instrumentet är dyrt och sitter skrovmonterat under vattenytan, vilket innebär att ett säkerhetsdjup alltid måste iakttas för att undvika grundstötning. Multistråleundersökningar brukar dock kunna utföras till ca 2 m djup med grundgående båtar.

Kostnad

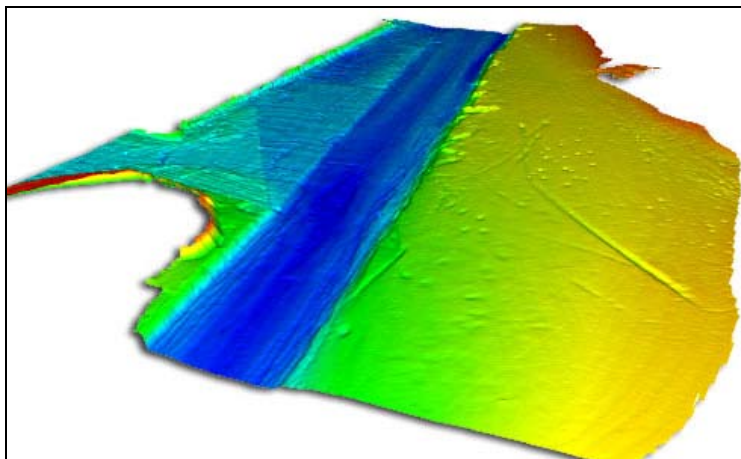
En multistråleundersökning utförs under gång, med en hastighet upp till ca 4 – 8 knop och kan därför avverka relativt stora ytor på kort tid. Instrumentet och tekniken är dock avancerad och kräver utbildning och vana. För att utföra en undersökning krävs minst två personer och en specialbåt med aktuell utrustning. Kostnaden kan variera, från 50 000 kr upp till ett par hundra tusen kronor per dag, beroende på storlek av fartyg och undersökning. Efterarbetet/processeringen innebär korrigering mot vattenstandsvariationer, filtrering av data och samkörning mot navigation så att en exakt position erhålls. Efterarbetet kan vara relativt tidskrävande.

Detaljeringsnivå

Det finns olika typer av multistråleekolod med varierande upplösning, men ett av de vanligare instrumenten med en frekvens på 300 kHz har en upplösning vid ca 10 m djup på ca $\pm 0,1$ m. Detta innebär att grövre kablar och rörledningar på botten fångas upp liksom mindre stenar och sandformationer.

Data från multistråleinstrumentet samkörs alltid med loggad navigation för noggrann återangivelse av bottenvariationer. Positioneringssystemet brukar vara en mer avancerad version av GPS, så kallad RTK-GPS system, (Real-Time Kinematic, dvs. realtidsmätning med centimeternoggrannhet) eller motsvarande. Dessa relateras till satelliter och lokala basstationer alternativt ett nätverk som går via mobiltelefonnätet, (SWEPOS_internet). Noggrannheten på RTK systemet brukar anges till $\pm 0,02$ m i horisontalled och $\pm 0,03$ m i höjddled (SGI, 2004).

Bottenförhållandena kan redovisas med höjdvariationer med olika färger så att djupsänkor samt grundare områden tydligt framkommer av bilden, se Figur 5-6. Data kan även levereras i digitala modeller, som XYZ-punkter eller som en virtuell "flygning" över aktuellt område.



Figur 5-6. Visuell presentation av en multistråleundersökning i Göteborgs hamn med farleden och spår efter grundstötningar och ankare. (www.mmtab.se)

Svenska erfarenheter

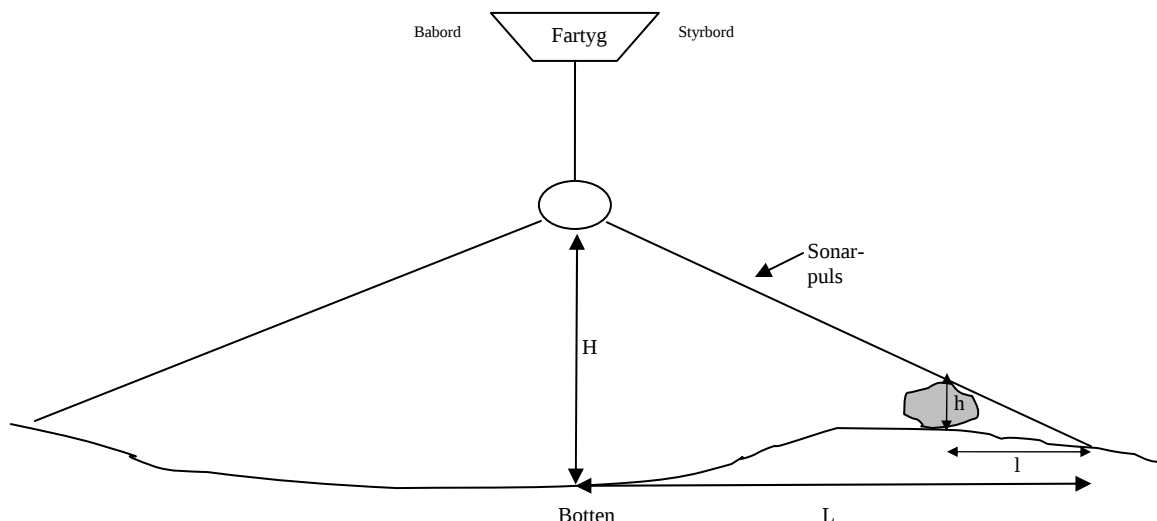
Metoden är väl etablerad i Sverige och det finns ett flertal instrument som används med gott resultat. På senare tid har bland annat multistråleteknik använts vid kartering av Göta älv, från Angeredsbron upp till Åkersström som underlag för beräkning av släntstabiliteten i området (SGI, 2004).

5.5 Sidotittande sonar

Metod

Sidotittande sonar, även kallad side scan sonar, arbetar med ljudpulser, från ca 100 kHz upp till ca 400 kHz. Instrumentet har två källor som sänder ljudpulser på ömse sidor om fartyget med en bestämd vinkel mot botten. Sonaren brukar oftast släpas efter fartyget i en så kallad towfish för att hållas på ett bestämt djup under ytan och för att minimera bakgrundsljud från fartyget. Sidotittande sonar kan även monteras på en ROV eller på en mindre båt då den fälls ner från relingen. Ljudpulserna sänds åt sidorna ut med ett bestämt vinkelintervall men i längsled är pulsen samlad. På samma sätt som för ekolod reflekteras signalen efter träff mot botten åter till källan och tiden för signalens gångtid mäts och ett avstånd kan beräknas.

Även föremåls/formationers avstånd och längd kan beräknas och med hjälp av skuggor kan även höjden av ett föremål beräknas, se Figur 5-7. Man använder sig av rätvinkliga trianglar och kan med hjälp av altituden från sonaren till botten (H), avstånd från sonaren till föremål (L), samt föremålets skugga (l) beräkna föremålets höjd (h). Skuggorna kan även hjälpa till vid tolkning av olika sedimentformationer, t.ex. ger sandvågor, så kallade ripples, ett karaktäristiskt mönster, vilket gör det enkelt att avgränsa ett område med sand som förflyttas.



Figur 5-7. Princip för höjdmätning av föremål med sidescan sonar.

Användningsområden

Sidotittande sonar används framför allt för sökning av föremål på botten samt kartläggning av sedimenttyper/formationer/områden på botten. Vid tolkning av sonardata används reflektorns styrka samt eventuella reflektionsskuggor, som föremål på botten orsakar, vid tolkningen. En hård reflektor innebär att en kraftig puls reflekteras, vilket betyder en träff på ett hårt föremål, t.ex. en sten, mina eller fartygsvrak alternativt en kraftig uppgrundning, t.ex. en slänt mot mätlinjen. En utsläckning av reflektorn betyder ett absorberande material, t.ex. ett bildäck. Denna funktion används för att kartlägga olika typer av bottenar, en hård botten, t.ex. morän eller berg i dagen ger en hård kraftig puls medan en lös lera ger en svag reflektion. I samband med undersökningen loggas data digitalt samt eventuellt även i pappersformat.

Möjligheter och begränsningar

Tekniken är väl lämpad för sökning av föremål på botten men kräver både utbildning och vana för att utföra tolkning av insamlade data. I kraftigt kuperad terräng försvåras tolkningen och delar av undersökningsområdet kan vara skuggade och således inte undersökta. Detta kan dock kompletteras med en undersökningslinje från andra sidan av "skuggområdet". Sonarens puls kan ställas in på olika range (avstånd) beroende på undersökningens syfte. Mätavståndet från sonaren sträcker sig från 25 m upp till ett hundratal meter. Vanligtvis används 50 – 100 m avstånd på respektive sida. Används större avstånd minskar upplösningen av data.

Kostnad

Instrumenten är oftast inkapslade i en fiskliknande farkost som liknar en torped. Denna är tung och det kan behövas en kran för att lägga den i vattnet. Därefter ska instrumentet ställas in med frekvens och finjusteras för att maximal data insamlas. Under undersökningen körs fartyget med ca 2 – 4 knops hastighet och varje undersökningslinje bör överlappas med 25 % för att säkerställa fullständig täckning av området. Instrumentet är

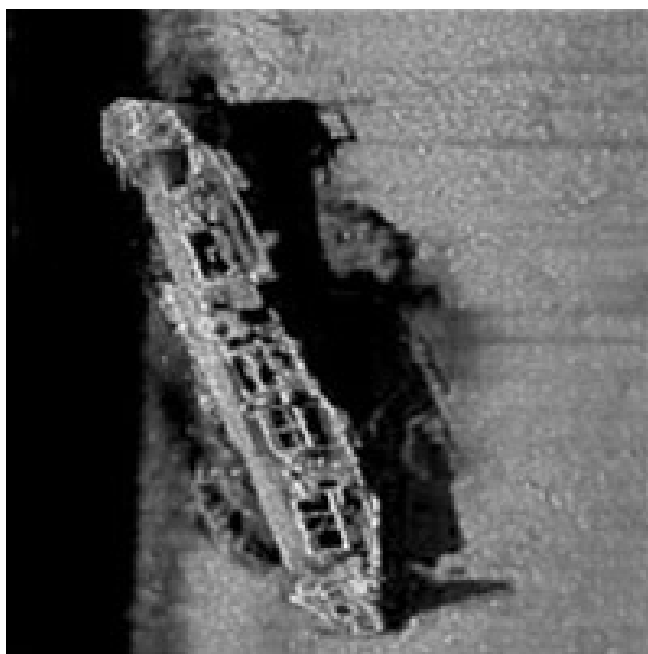
förhållandevis dyrt och kräver både utbildning och vana för att använda och tolka. Tolkning av insamlad data beror till stor del vad undersökningen syfte är samt vad för typ av botten man undersöker. Tolkningen utförs oftast efter insamlingen av data, men vid t.ex. sökning av vrak kan detta göras "on-line".

Detaljeringsnivå

Upplösningen beror på vald frekvens samt avstånd för pulsen. En frekvens på 100 kHz ger en sämre upplösning, men täcker ett större område, medan en högre frekvens på t.ex. 330 kHz når högst 100 m men ger en hög upplösning. Med den högre frekvensen kan oftast föremål med ca 0,2-0,3 m storlek identifieras, t.ex. mindre stenar, rörledning- ar och grövre kablar.

Positionering av den sidotittande sonaren utförs vanligtvis med samma positionerings- system som multistråle-instrumentet, dvs. GPS –RTK.

Vid tolkning av data körs den digitala filen i ett uppspelningsprogram där bilden av bot- ten "rullar" fram. Varje "träff" tolkas, och mäts och positionsanges samt sparas i en egen fil. Denna fil samkörs med navigationsuppgifter så att samtliga "träffar" får en exakt position och sedan kan plottas på ett sjökort eller ritning över området.



Figur 5-8. Bild av ett fartygs vrak identifierat med sidotittande sonar. (www.mmtab.se)

Svenska erfarenheter

Metoden är väl etablerad och ett flertal instrument finns i Sverige och används med gott resultat. Exempelvis har sidotittande sonar använts som komplement till multistrålein- venteringen av Göta älv (SGI, 2004).

5.6 Sediment ekolod (Penetrerande ekolod, sub-bottom profiler)

Metod

Sediment ekolod kallas även penetrerande ekolod och använder, liksom sidotittande sonar, högfrekventa ljudpulser. Frekvensintervallet ligger dock något lägre, ca 2 – 20 kHz, för att bättre kunna penetrera botten. Instrumentet sitter ofta i samma fiskliknande farkost som sidotittande sonaren, alternativt på en ROV eller skrovmonterat. Pulsen från instrumentet går rakt mot botten i en enda punkt och som namnet antyder, tränger pulsen genom bottenytan och ner i sedimentlagren. Instrumentet är liksom multistråle och sidotittande sonar relativt dyra vid inköp. Instrumenten är avancerade och kräver utbildning och god vana för att utföra mätning samt efterföljande tolkning av data.

Användningsområden

Mätning med penetrerande ekolod utförs ofta i kombination med multistråle och sidotittande sonar och tillsammans kan de olika metoderna ge ytterligare upplysningar. Exempelvis kan information om ett område med berg i dagen, som har identifierats med sidotittande sonar, följas ner genom sedimenten via data från det penetrerande ekolodet. Instrumentet är också mycket användbart för tolkning av sedimentmäktighet eller för att upptäcka dolda föremål under sedimenten, såsom minor, stenar eller vrak. Det kan även användas vid tolkning av geologi och stratigrafi.

Möjligheter och begränsningar

Signalen från ekolodet kan tränga ner ett par tiotal meter ner i sedimenten, men penetrerar inte berg eller grov morän. Om det förekommer gas i sedimenten släcks signalen ut. Data erhålls endast från en linje rakt ner under sonaren och därför körs normalt ett flertal linjer över ett område med t.ex. 25 m linjeavstånd.

Kostnad

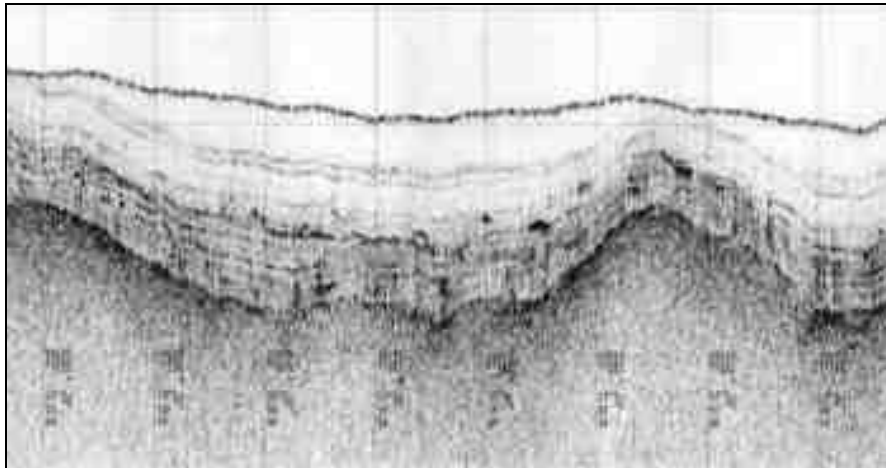
Instrumenten är oftast inkapslade i en så kallad towfish. Denna är tung och det behövs oftast kran för att placera utrustningen i vattnet. Därefter ska instrumentet justeras med bland annat frekvens för att högupplöst data ska kunna insamlas. Under undersökningen kan fartyget köra med ca 2-5 knop. Instrumentet är förhållandevis dyrt och kräver både utbildning och vana för rätt användning och tolkning. En undersökning med penetrerande ekolod bör inte vara en större extrakostnad om den utförs i samband med en annan undersökning t.ex. med ett sidotittande ekolod. Däremot är tolkningen av data helt separat och kräver kunskap och vana. Tiden för tolkning av insamlad data beror till stor del vad undersökningens syfte är samt vad för typ av botten/sediment man undersöker. Tolkeningen utförs ofta efter insamlingen av data, men vid t.ex. sökning av minor kan detta göras "on-line".

Detaljeringsnivå

Upplösningen beror på valet av frekvens men ett föremål på ett par decimeter kan normalt identifieras med sedimentekolod. Det finns penetrerande ekolod som har en svepande frekvensintervall, så kallad Chirp, som använder samtliga frekvenser mellan t.ex. 2-7 kHz.

Positionering av det penetrerande ekolodet görs vanligtvis med samma positioneringssystem som multistråle-instrumentet, dvs. GPS –RTK.

Data kan avläsas simultant med körningen/undersökningen, men vanligtvis tolkas informationen "off-line" och föremåls, stenars och minors position anges. Om undersökningens syfte är att kartlägga stratigrafin kan den digitala information/bilden användas som bakgrundsmaterial och den geologiska tolkningen läggas på bilden för att förtydliga lager och strukturer. Om undersökningens syfte enbart är att söka efter ett föremål presenteras inte alltid stratigrafin utan föremålets position markeras på ett sjökort med djupangivelse.



Figur 5-9. Bilden visar den stratigrafiska lagerföljen i sedimenten rakt under färdlinjen. (www.rsoperations.com)

Svenska erfarenheter

Ett flertal instrument finns i Sverige och används med gott resultat, bland annat har penetrerande ekolod använts som komplement till multistråleundersökningen i Göta älv (SGI, 2004).

6 MARKBASERADE METODER

6.1 Mätstav och totalstation

Metod

Denna metod är en enkel men pålitlig metod för att mäta förändringar i strandnära miljöer. Metoden går ut på att en totalstation placeras inom området så den kan läsa av samtliga önskvärda mätpunkter. Totalstationens placering mäts in mot en fixpunkt i området. Därefter placeras mätlattan på de punkter som önskas mätas. Mätpunkten får då ett värde i plan och höjd i förhållande till en känd fixpunkt. För att mäta på samma punkt vid varje mättillfälle bör mätpunkterna inmätas från ett fast föremål, däremot bör ingen fysisk markering av mätpunkter utföras då detta kan inverka på erosion/ackumulation på platsen. Punkter plottas därefter på en ritning över området och isolinjer anger uppmätta höjder. För att se variationer av höjder och sedimentförflyttningar jämförs föregående mätning med den aktuella.

Mätningar kan istället för en totalstation utföras med ett DGPS-system (Differential Global Positioning) med fixstationer på stranden.

Användningsområden

Metoden är användbar vid mätningar både över och under vattenytan. Vid mätningar i vattenområden erfordras båt vid större djup än 1 meter.

Möjligheter och begränsningar

Metoden är billig och enkel att utföra. Om mätning utförs i vattenområden är vattendjupet en begränsning, över 5 meters djup blir det otympligt med mätstavar.

Kostnad

En totalstation kostar ca 200 000 – 300 000 kr, men finns oftast att hyra. När mätstationen är etablerad går själva mätningen fort. Efterarbetet är varken tekniskt avancerat eller tidskrävande. De olika profilerna från det uppmätta området kan läggas in i ett GIS-system för jämförelse med tidigare mätningar.

Detaljeringsnivå

Upplösningen på en totalstation ligger på cm-noggrannhet. Det är dock viktigt att mäta på samma linje/profil vid varje tillfälle, och därför kan det vara bra att ha ett riktmärke, fast punkt eller liknande för aktuella mätlinjer.

Redovisning/presentation

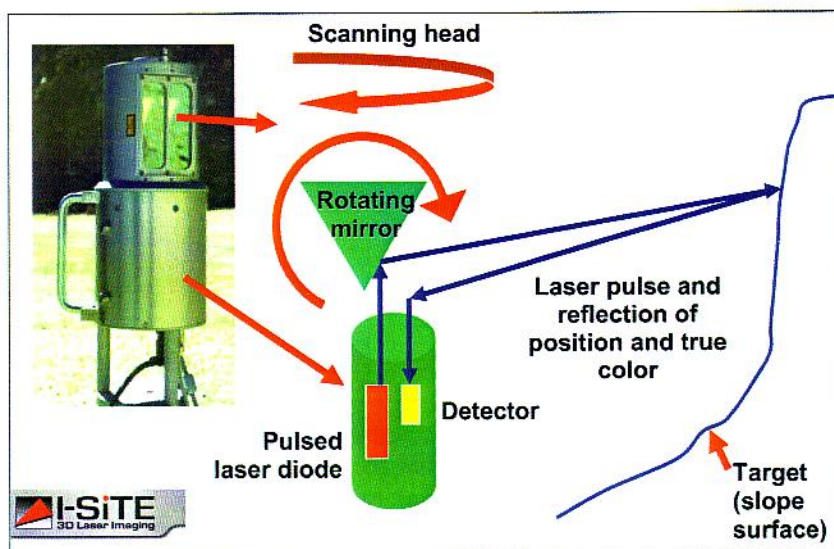
Bilden av det uppmätta område kan enkelt ge presenteras med grafik/kalkylprogram, alternativt presenteras i ett GIS-system.

6.2 Markbaserad LIDAR

Metod

Markbaserade lasermätningar används för att bestämma topografiska förhållanden och föremål på marken. Utrustningen ställs upp på marken och har möjlighet till 3D-laserskanning. Metoden är en extremt effektiv avståndsmätare som beräknar avstånden

baserat på den tid det tar för laserljuset att sändas ut och reflekteras tillbaka av de objekt som mäts in, Figur 6-1.



Figur 6-1. Markbaserad LIDAR. Schematiskt diagram över skanningsprocessen,).

Användningsområden

Metoden kan användas för detaljerad kartläggning av föremål på marken, av slänters lutning och andra topografiska objekt.

Möjligheter och begränsningar

Eftersom mätningarna pågår kontinuerligt ger laserskanningen en sekvens över tiden med ett antal digitala terrängmodeller av terrängen. Mätning kan göras i otillgängliga områden och brant lutande terräng.

Detaljeringsnivå

Jämfört med flygburen laserskanning ger markbaserad LIDAR högre noggrannhet. Föremål med storleksordningen 10 – 20 cm kan registreras och mätnoggrannheten är 5 – 25 mm.

Svenska erfarenheter

Det finns inga kända svenska erfarenheter av mätningar för erosion och släntstabilitet. I USA har använts markbaserad LIDAR använts för övervakning av rasbranter längs kusten söder om San Francisco. Ras sker här främst under vinterstormsäsongen. På vissa ställen finns fastboende på endast 10 m avstånd från rasbranterna och det finns därför ett behov av övervakning.

6.3 Mätställning/mätstav på hjul (CRAB)

Metod

CRAB står för Coastal Research Amphibious Buggy och är en mobil mätställning som rullas ut längs sandstränder för att mäta sedimentförändringar. Mätbilen står på hjul och har egen motor samt en DGPS-mottagare (Differential Global Positioning) monterad på

mäthuset tak. Utrustningen kan användas för att utföra mätningar i vattenområden till 8 m djup och kan motstå ca 2 m höga vågor. Mer information finns i avsnittet "Mer att läsa".

Mätningen genomförs genom att fordonet körs i vinkelräta profiler från strandkanten till max 7 – 8 m djup. Profilerna utplaceras med ca 50 m avstånd längs den valda mätsträckan.



Figur 6-2. Mätutrustning av typ CRAB (www.geog.uu.nl).

Användningsområden

Metoden är lämplig för kontinuerliga mätningar vid stränder med stora sedimentflyttningar och erosion.

Möjligheter och begränsningar

Fordonet är begränsat av maximalt 2 m höga vågor och ett maximalt vattendjup på 8 m.

Kostnad

Fordonen är specialbyggda, men själva mätningen går relativt snabbt och kostnaden för en serie mätningar under ett år är relativt låg. Data loggas tillsammans med positioner från en DGPS och kan enkelt överföras till en dator för plottning av en profil längs mätsträckan.

Detaljeringsnivå

Mätningar kan utföras med cm-noggrannhet vilket ger en god upplösning längs profilerna. Upprepade mätningar görs längs bestämda.

Överst på fordonet finns ett DGPS system, som mottar information från satelliter. En två-vägs radiolänk vidarebefordrar denna information till fixerade fältstationer på stranden.

den som också har en GPS-sändare. För att korrigera den uppmätta bottenens plan- och höjduppgifter finns ett tilt- och kompass-system installerat under mätfordonet.

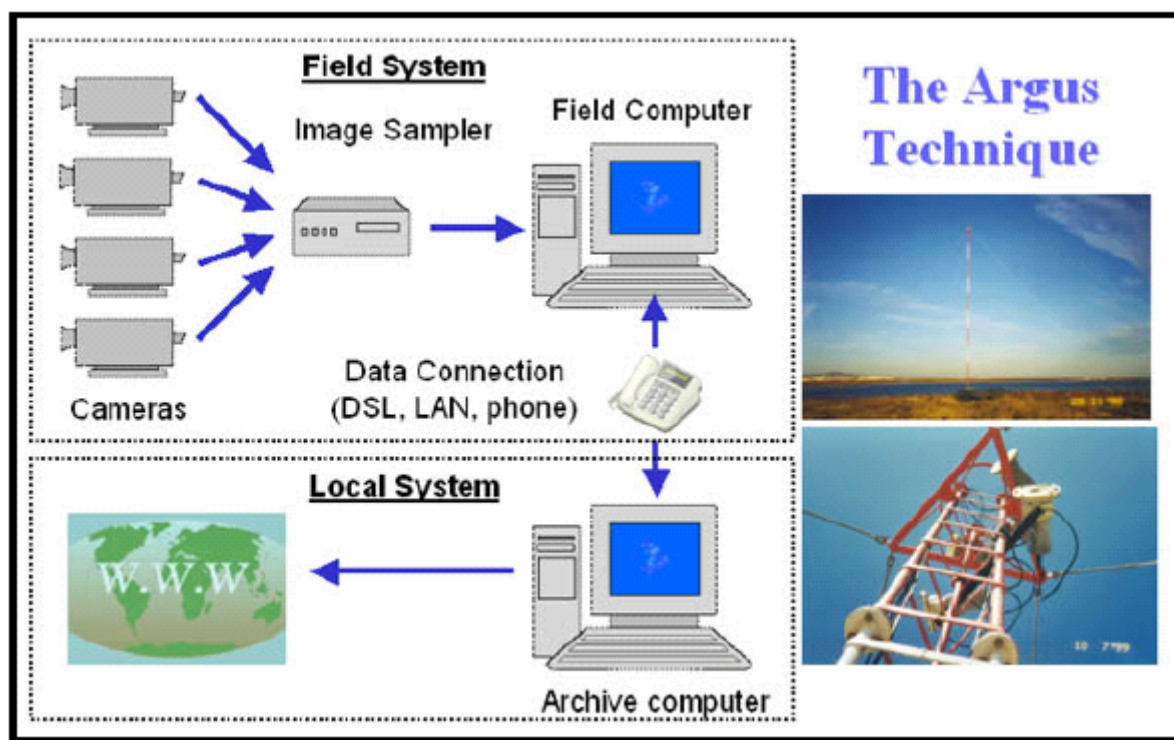
Svenska erfarenheter

Tekniken finns inte i Sverige men är väl beprövad i Nederländerna där man har en utrustning med beteckningen WESP (De Water En Strand Profiler). Det finns även en enklare motsvarighet utan hjul, som förflyttas på medar, en så kallad SLED.

6.4 Fixerade observationer/videoövervakning

Metod

Övervakning av stränder och slänter utförs med 4-5 videokameror som tillsammans täcker 180° av ett område upptill 4 – 6 km avstånd. Kamerorna placeras högt och med fri sikt på byggnader, master, etc. Bilder samlas under 10-15 minuter varje timma till en datalogger och utvärderas därefter i särskilt bearbetningsprogram. Data sänds normalt via modem till utvärdering. Enstaka bilder och sekvenser kan analyseras. Systemet marknadsförs under namnet ARGUS och en systemöversikt finns i Figur 6-3. Mer information finns i avsnittet "Mer att läsa".



Figur 6-3. Systemöversikt för ARGUS övervakningssystem (Messina, 2006 efter Coast-View Project Demonstration CD).

Användningsområden

Metoden kan användas för att följa och analysera kustens utveckling och effekter av kustskyddsåtgärder. Genom att studera när och var vågorna bryter kan den underliggande bottenpografien bestämmas. Även variationer i strandlinjen kan följas och genom att studera vågutbredningen kan även vattendjup och därmed bottenars förändring studeras.

Det är också möjligt att studera sedimenttransport i anslutning till pirar, vågbrytare och andra konstruktioner. Även påverkan på sanddynen till följd av stormar kan utvärderas med detta system.



Figur 6-4. ARGUS övervakningssystem vid Egmont, Nederländerna (Foto: SGI).

Möjligheter och begränsningar

Den största fördelen med detta övervakningssystem är att det ger möjlighet att kontinuerligt och på långa avstånd följa utvecklingen av stranden och vattenområdet nära stranden. Med de utvärderingsrutiner som utvecklats finns flera möjligheter att studera förändringarna över tiden. Bilderna kan rektifieras och digitala kartbilder upprättas för vidare analyser.

Videoinspelning kan enbart göras i dagsljus och begränsas av dåliga siktförhållanden som t.ex. dimma. Förhållanden kring den personliga integriteten behöver klarläggas när inspelning görs på stränder där människor vistas.

Kostnad

Övervakningssystemet förutsätter särskild kompetens för utvärdering och i många fall även för insamling av data.

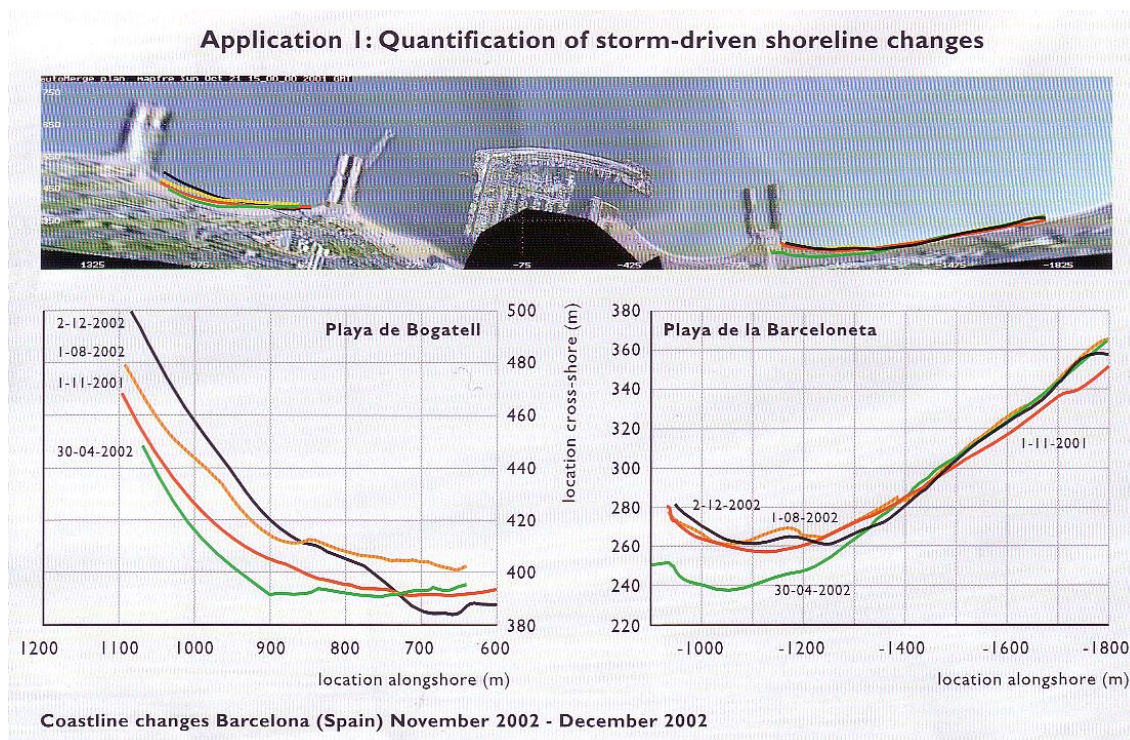
Kostnaden för mätningar med videosystem beror på förutsättningarna för att upprätta en mätstation och vilka utvärderingar som ska göras. För mätområden med storlek ca 100 km² är kostnaden av storleksordningen 20 – 30 Euro/km² (Eurosion, 2004).

Detaljeringsnivå

Noggrannheten vid mätningar uppgår till storleksordningen 1m (Eurosion, 2004).

Övervakningssystemet kan inmätas med önskad noggrannhet och bilder relateras till terrängpunkter eller särskilda mätpunkter.

Resultaten redovisas bearbetade för aktuell problemställning. Exempelvis kan strandlinjens förändring, se Figur 6-5, eller uppföljning av en morfologin efter strandfodring redovisas.



Figur 6-5. Uppföljning av strandlinjens förändring vid kusten i Barcelona, Spanien (Delft Hydraulics, 2005).

Svenska erfarenheter

Tekniken har inte hittills prövats i Sverige men erfarenheter finns från bland annat Holland och USA.

7 TILLSTÅND FÖR MÄTNINGAR

Det finns några särskilda bestämmelser när det gäller att insamla och lagra geografiska uppgifter eller landskapsinformation. Med landskapsinformation avses lägesbestämd information om förhållandet på och under markytan samt på och under sjö- och havsbotten.

Detta gäller generellt för att upprätta digitala databaser över landskapsinformation respektive publicering av kartor baserade på dessa databaser. Dessutom finns särskilda krav på mätningar inom havs- och kustområden.

Lag om skydd för Landskapsinformation

Denna lag med tillhörande förordning (SFS 1993:1742, Förordning 1993:1745) innehåller bestämmelser om tillstånd för sjömätning, för fotografering och liknande registrering från luftfartyg samt för upprättande av databaser med landskapsinformation, krav på tillstånd för spridning av flygbilder och liknande registreringar från luftfartyg och av kartor samt av andra sammanställningar av landskapsinformation.

Sekretess

I Sekretesslagen (1980:100) och Säkerhetsskyddslagen (1996:627) anges bland annat kraven för förvaring och tillgång av material som bedöms vara av vikt för rikets försvar.

Sammanfattningsvis gäller följande för landskapsinformation inom Sveriges sjöterritorium:

Sjömätning

- Prövas av *Försvarmakten*
- Tillstånd ska meddelas endast om det finns särskilda skäl för det.

Försvarmakten måste medge tillstånd innan mätningar utförs av havsbottnar. Efter genomförd mätning ska resultatet sändas till Försvarmakten för sekretessgranskning. Tillstånd behövs inte för bottenkartering inom hamnområde, kanaler och inlandsfarvatten.

Inrätta databas

- Prövas av *Lantmäteriverket*
- Tillstånd ska ges om det inte kan antas medföra skada för Sveriges totalförsvar.

Spridning

- Prövas av *Sjöfartsverket*
- Tillstånd ska ges om det inte kan antas medföra skada för Sveriges totalförsvar.

Beställaren av sjömätningen vill förmodligen använda resultatet i projektredovisningar eller andra rapporter. Innan mätningens resultat får spridas till andra än angivna i sjömätningstillståndet krävs tillstånd från Sjöfartsverket. Som publicering räknas även interna rapporter m.m.

Undantag i tillståndskraven för databas och spridning

- Landskapsinformationen är framställd endast med hjälp av satelliter
- Kartor i mindre skala än 1:100 000
- Kartor och flygbilder som framställts före år 1900

REFERENSER

Eurosion (2004). Living with coastal erosion in Europe: Sediment and Space for Sustainability, Part IV – A guide to coastal erosion management practices in Europe: Lessons learned. www.eurosion.org

Fallsvik, J. et al. (2005). Översiktlig kartering av stabilitetsförhållandena utmed Eskilstunaån med stöd av GIS, Demonstrationsprojekt, Totalförsvars samverkan inom sektor geografisk information, KRISGIS-projektet, SGI Dnr. 1-0411-0768

Fälthandbok. Miljötekniska undersökningar. SGF Rapport 1:2004. Svenska Geotekniska Föreningen.

Geoteknisk fälthandbok. Allmänna råd och anvisningar. SGF Rapport 1:96. Svenska Geotekniska Föreningen.

Messina (2006). Monitoring and modelling the shoreline. Managing the European Shoreline and Sharing Information on Nearshore Areas. www.interreg-messina.org

Personlig kommunikation. Carl-Johan Stigermark, Admiralty Coastal Surveys AB, Jönköping, 2006.

Personlig kommunikation. Håkan Sterner, TopEye AB, 2006.

Personlig kommunikation. Michael Leadwith, Metria Miljöanalys, 2007.

Rankka, K., Rankka, W. (2003). Mekanismer vid stranderosion, Varia 533. Statens geotekniska institut, Linköping.

Rydell, B. och Nyberg, H. (2006). Mätning av botten topografi och kustlinjer med laserbatymetri. Pilotstudie. SGI Varia 563. Statens geotekniska institut, Linköping.

Sandia (2007). www.sandia.gov/RADAR/whatis.html, 2007-03-21

SGI 2004. Sjömätning Göta älv, Marin Mätteknik AB. Uppdrag 41005. Statens geotekniska institut.

SWEPOS. www.swepos.lmv.lm.se (2006-12-05)

MER ATT LÄSA

Fjärranalys och flygbaserade metoder

Satellitbilder

Rymdstyrelsen www.snsb.se/rymdteknik_satelliter.shtml, 2007-06-15

Laserskanning

TopEye AB www.blomasa.com/sweden/se/topeye, 2007-06-15

Blom Environment & Coastal Surveys AB, www.blomasa.com/beccs, 2007-06-15

www.abc.se/~m10354/mar/laserbat-filer/frame.htm, 2007-06-15

SAR

Canada Centre for Remote Sensing <http://ccrs.nrcan.gc.ca>, 2007-06-15

Sandia National Laboratories www.sandia.gov/RADAR/whatis.html, 2007-06-15

Fartygsbaserade metoder

Ekolod, singel

GARMIN www.inwarehouse.se/SearchResult.aspx?src=Garmin&referid=114,
2007-06-15

FURUNO Sverige AB www.furuno.fi/sw406.asp, 2007-06-15

Navico AM www.simradyachting.se, 2007-06-15

Båtnet www.batnet.se/batnet/kategori/utrustning.php?aid=95, 2007-06-15

Multistråleekolod

Sjöfartsverket www.sjofartsverket.se/templates/SFVXPage_811.aspx, 2007-06-15

Marin miljöanalys AB www.marin.se, 2007-06-15

Marin Mätteknik AB www.mmtab.se/swe/utrustning/batymetri, 2007-06-15

Sidotittande sonar

Edgetech; www.edgetech.com/sidescan.html, 2007-06-15

Geoacoustics; www.geoacoustics.com/df-sonar.htm, 2007-06-15

Klein; www.l-3klein.com/ssdescription/ssdescription.html, 2007-06-15

Marin mätteknik; www.mmtab.se, 2007-06-15

Sediment ekolod

Edgetech www.edgetech.com/sidescan.html, 2007-06-15

Benthos www.benthos.com/PDF/1625.pdf, 2007-06-15

Tritech www.tritech.co.uk/products/products-entire_range.htm, 2007-06-15

Markbaserade metoder

CRAB/mätställning

Coastal Research Amphibious Buggy www.geog.uu.nl/fg/wesp.html, 2007-06-15

ARGUS/videoövervakning

Delft Hydraulics wldelft.nl/cons/appl/argus/index.html, 2007-06-15



Statens geotekniska institut
Swedish Geotechnical Institute

SE-581 93 Linköping, Sweden

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

Fax: 013-20 19 14, Int + 46 13 201914

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