

Sidorna 22–27 i SGU-rapport 2022:16

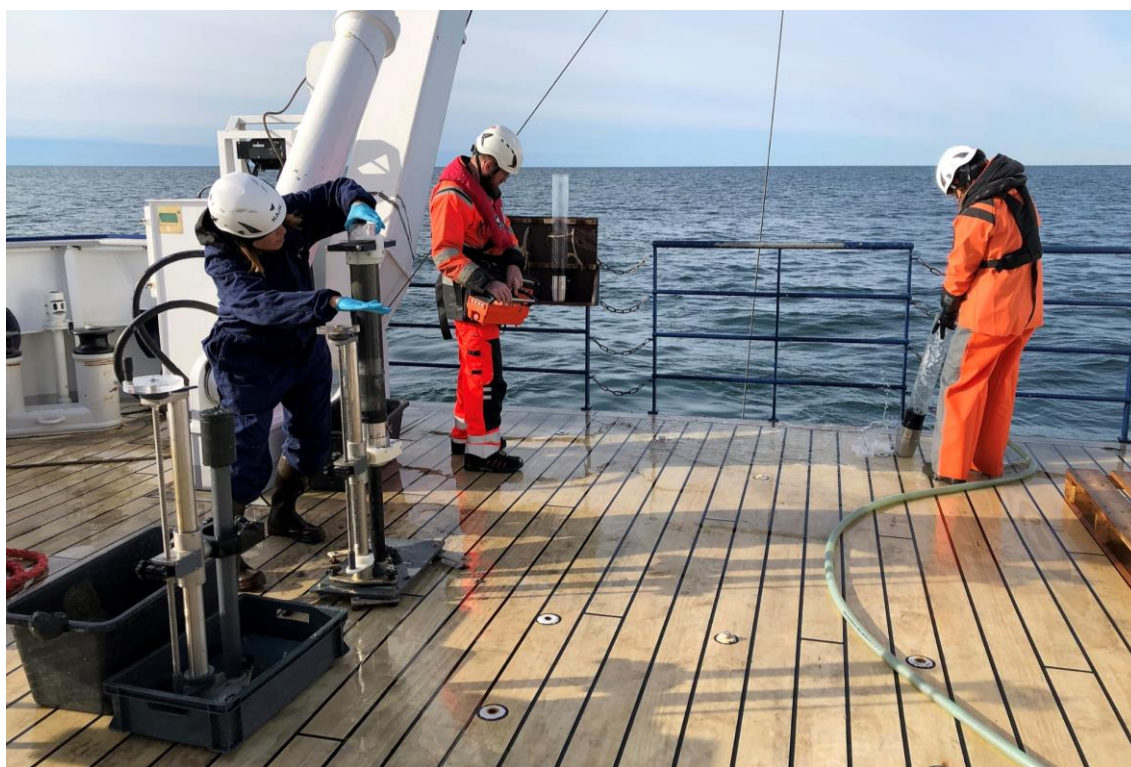
Rapport inom regeringsuppdraget RUFS

Sedimentundersökningar i svenska kustområden 2021

Johan Norrlin, Håkan Johansson, Olof Larsson, Anna Wemming, november 2022
Clara Neuschütz, Lars Rosenqvist & Lena Holm

SGU-rapport 2022:16

Diarie-nr: 316-2479/2019



Omslagsbild: Sedimentprovtagning ombord på forskningsfartyget
R/V Skagerak från Göteborgs universitet.
Fotograf: Lena Holm

Författare: Johan Norrlin, Håkan Johansson och Olof Larsson (SGU),
Anna Wemming (Länsstyrelsen i Dalarnas län), Clara Neuschütz
(Naturvårdsverket), Lars Rosenqvist (SGU) och Lena Holm (Tyréns AB)

Ansvarig enhetschef: Lijana Gottby

Granskad av: Sarah Josefsson och Kristina Sjödin

Redaktör: Johan Sporrang

Sveriges geologiska undersökning

Box 670, 751 28 Uppsala

tel: 018-17 90 00

e-post: sgu@sgu.se

www.sgu.se

Provtagningsutrustning vid provtagning för miljökemisk analys

För att komma åt att ta sedimentprover i de trånga och grunda farvattnena planerades en merpart av provtagningen att utföras från en mindre arbetsbåt. Det innebär att endast handhållen provtagningsutrustning, eller utrustning som kräver en liten vinsch eller lindragare, kan användas. Med dessa förutsättningar kan endast enpipiga rörprovtagare med liten rördiameter användas. På grund av att stora mängder sediment krävdes för denna undersöknings omfattande laboratorieanalyser skulle detta innebära upptag av ett stort antal replikat där provtagaren varje gång sänks ner i sedimentet för ett nytt hugg. Båten måste dessutom flyttas någon till några meter mellan varje nytt hugg för att inte riskera att komma för nära ett föregående hugg, där sedimentet blivit omrört. Detta stora antal flyttningar inom samma provlokal ökar risken att det insamlade materialet härrör från en så stor geografisk yta att den inte utgör en sammanhängande sedimentationsmiljö. Därför planerades det att i huvudsak använda olika typer av lådprovtagare då de över lag ger större provmängd per hugg än de mindre rörprovtagare som var alternativet. Noggrannheten som kan uppnås med lådprovtagare vid uttag av prov från fem centimeters vertikala sedimentintervall bedömdes dessutom som tillräcklig för att uppfylla undersökningens syften. Se vidare under avsnittet *Sedimentprovtagning* för mer detaljerad information om vilken provtagningsutrustning som kom att användas på respektive lokal.

Genomförande av fältundersökningar

Fältundersökningarna genomfördes huvudsakligen från SGU:s undersökningsbåt Ugglan. I denna undersökning förflyttades hon mellan undersökningsområdena med kranbil. För sedimentprovtagning på flera av de mer väderutsatta lokalerna, längre från land, användes Göteborgs universitets undersökningsfartyg R/V Skagerak, som är betydligt större än Ugglan.

Hydroakustiska mätningar

Inför sedimentprovtagningar har SGU som rutin att utföra hydroakustiska undersökningar, det vill säga genomföra mätningar med olika slags ekolod. Mätningarna ger indikationer på var inom respektive undersökningsområde det kan finnas potentiellt förorenade sediment lämpliga för miljöprovtagning, se avsnittet *Förutsättningar för uppkomst av förorenade sediment*. Exempel på sådana mätresultat och indikationer ges i det följande avsnittet *Hydroakustisk information som underlag för provplanering*.

Fältundersökningarna i denna rapport inleddes med hydroakustiska mätningar med instrumenten flerstråleekolod och sedimentekolod. Eftersom utförandet och syftet med mätningarna är identiskt med det som var fallet i SGU:s undersökningar av förorenade sediment i Väneren (Larsson m.fl. 2021) återges här ordagrant följande två stycken från den rapporten:

”Flerstråleekolodet (multibeamekolod) ger en detaljerad bild av bottenens djupförhållanden, i form av en djupmodell över botten. Flerstråleekolodet ger också en backscatterbild som visar bottenytans akustiska reflektionsförmåga som sen används för att tolka bottenens struktur och textur. Sedimentekolodet ger en vertikal sektion som visar bottenens uppbyggnad längs en profil rakt under båten, från bottenytan och ner genom sedimentlagren tills signalen släcks ut mot en hård yta som exempelvis morän eller berggrund. Penetrationsdjupet varierar beroende på geologin men kan uppgå till drygt 100 m i leriga sediment. Penetrationsdjupet påverkas även om sedimentet innehåller mycket gas, skapad vid nedbrytning av organiskt material. Detta kan orsaka en total utsläckning av ljudsignalen vid gasrika sediment.

De tre hydroakustiska underlagen, batymetri, backscatter och sedimentekolod, ger stöd och kunskap om bottenens uppbyggnad och sammansättning, något som är viktigt vid själva provplaneringen. För att de prov som senare ska tas och analyseras ska ge rättvisande och användbara resultat är det viktigt att de placeras på lämpliga bottenar. Detta är bottenar där det

råder kontinuerlig sedimentation, så kallade ackumulationsbottnar, men även antropogena ackumulationer som exempelvis tippmassor och fibersediment.”

De hydroakustiska mätningarna genomfördes huvudsakligen inom en yta nära de förmodat förorenande verksamheterna, eller vid utloppet av ett tillflöde med verksamheter uppströms. I några av områdena gjordes även mätningar i transekter (mätkorridorer) längre ut för att få en uppfattning om huruvida föroreningar spridits på ökande avstånd från förmodat förorenande verksamheter.

Mätområdenas storlek planerades utifrån respektive områdes förutsättningar, och utformades på ett sådant sätt att tiden för mätning beräknades ta cirka 1–2 dagar per område. Hur lång tid det tar att mäta heltäckande i ett område är starkt beroende av djupet, där ett djupare område i allmänhet går fortare än ett grundare. På grund av förhållanden som ej går att förutsäga vid skrivbordet är planerade mätområden alltid preliminära. De områden som slutligen uppmättes hydroakustiskt utgör de undersökningsområden som redovisas i denna rapport. Arealen på dessa varierar mellan cirka 0,3 km² och 3,3 km², se vidare i tabell 9 under avsnittet *Resultat*.

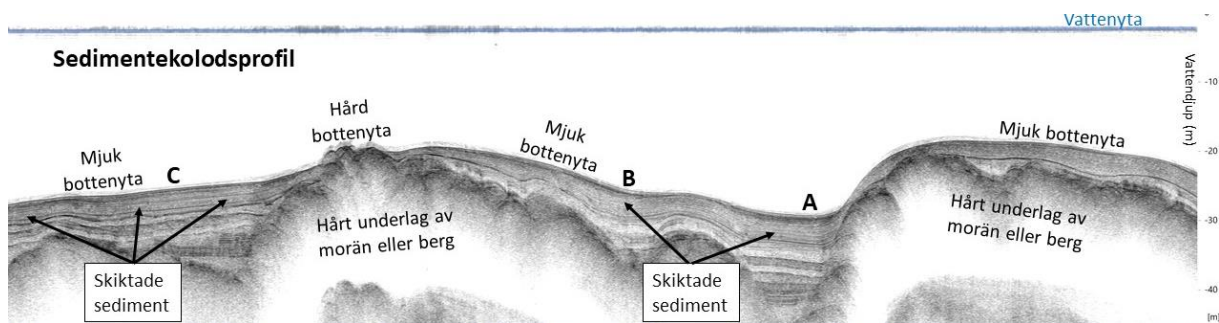
Hydroakustisk information som underlag för provplanering

Vid alla slags undersökningar av sediment är det viktigt att ha kunskap om sedimentens rörelsemönster, den så kallade sedimentdynamiken, och om bottenens uppbyggnad och sammansättning från bottenytan och nedåt. Detta behövs för att få en ändamålsenlig placering av provlokaler, det vill säga att de placeras ut på platser som bedöms vara lämpliga för undersökningens syfte. De ekolodsbilder som genereras av hydroakustiska instrument är ofta ett mycket användbart hjälpmedel för att göra sådana bedömningar. De ger indikationer om var lämpliga bottnar är belägna. För denna undersökning bör provtagning ske i lösa sediment vid eller nära bottenytan som bedöms vara recenta (nutida), eller åtminstone från industriell tid. Sedimentet ska helst vara under uppbyggnad genom pågående ackumulation av nedfallande partiklar. Hårdare bottnar med sand, grus, sten eller äldre avlagringar med morän eller istidsleror har däremot normalt inga förutsättningar att innehålla föroreningar. Hydroakustisk information om var hårda bottnar är belägna sparar därför många, för förorenade sediment, irrelevanta prov och miljökemiska analyser.

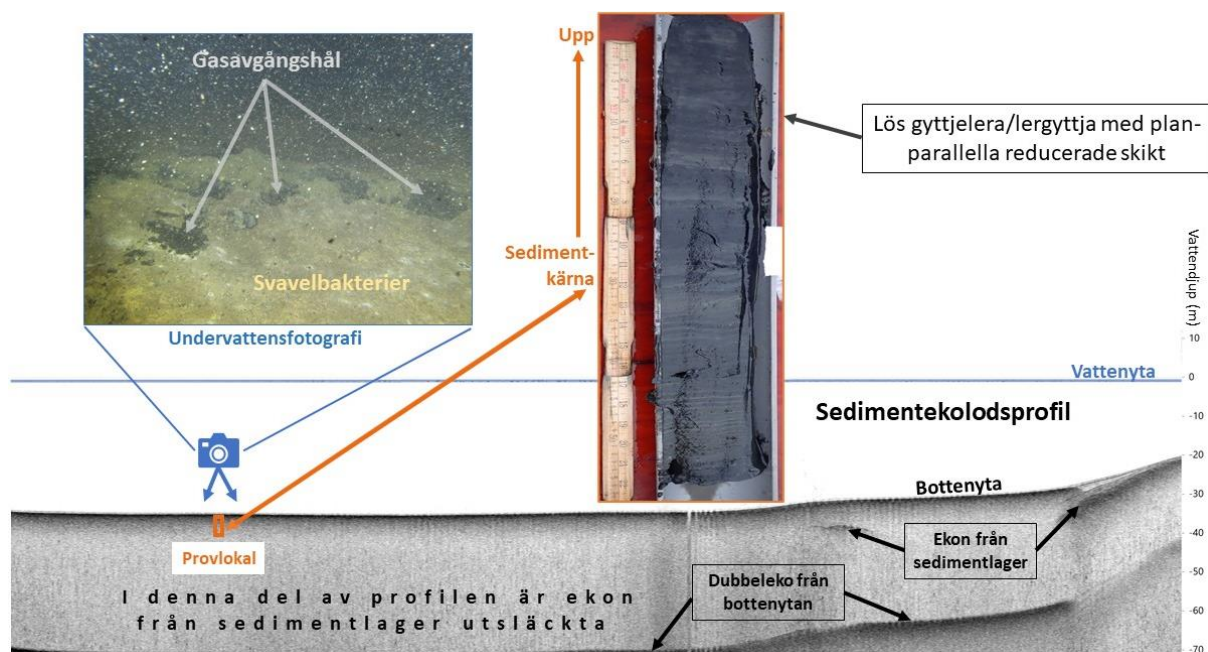
Det är viktigt att understryka att hydroakustisk information är indirekt. Den är ofta ett utmärkt redskap för att göra välgrundade bedömningar vid provplanering. Dock måste dessa bedömningar alltid prövas mot den direkta kunskap som ges vid okulär besiktning av ett sedimentprov i fält och de analyser som därefter utförs. En omfattande exempelsamling på tillämpningar av hydroakustiska mätningar för provplanering, med därpå följande provtagning vid undersökningar av förorenade sediment finns i följande SGU-rapporter med bilagor: Apler och Nyberg 2011, Apler m.fl. 2014, Norrlin m.fl. 2016, Norrlin och Josefsson 2017, Larsson m.fl. 2017 och Larsson m.fl. 2021. De exempel som följer nedan ger en översiktlig inblick.

För att lokalisera bottnar med eventuellt förorenade sediment är det unga avlagringar som ska eftersökas, helst med pågående ackumulation av sedimentpartiklar, det vill säga recent ackumulation. Tecken på recent ackumulationsbotten är att de hydroakustiska mätningarna indikerar en bassäng med en mjuk och plan, eller mycket flackt lutande, botten med så kallad planparallell skiktning i de översta sedimentlagren, se figur 3.

En ackumulationsbotten innehåller ofta naturligt organiskt material som bildas vid nedbrytning av döda växter och djur. Sediment med hög halt organiskt material i kombination med innehåll av gas kan, som i figur 4, orsaka så kallad hydroakustisk utsläckning. Detta fenomen är i sig en indikation på möjligt förorenat sediment då många föroreningar, särskilt organiska ämnen, gärna binder till naturligt organiskt material.

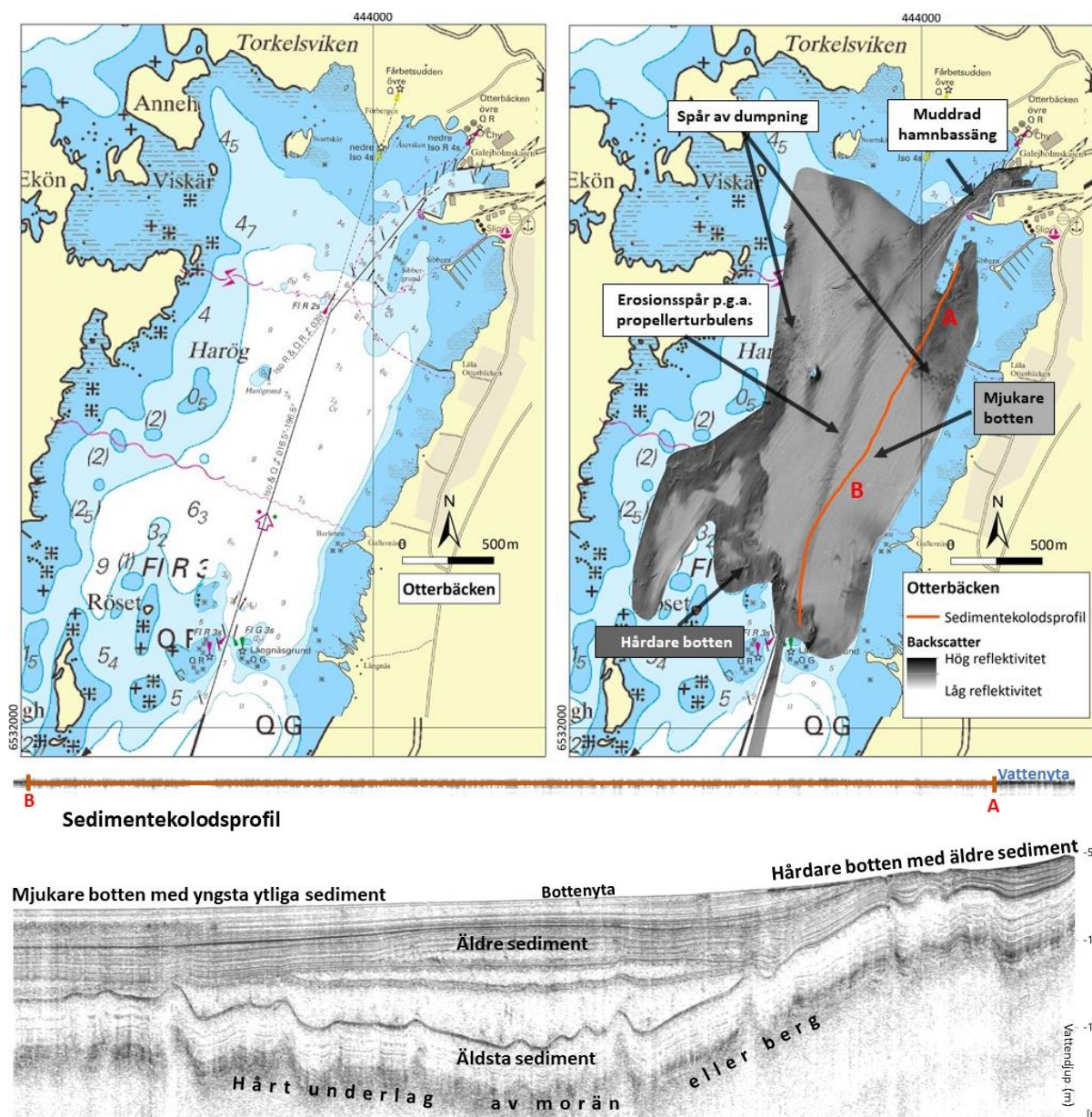


Figur 3. Figuren visar en cirka 1 100m lång sedimentekolodsprofil som återger för svenska förhållanden vanliga geologiska företeelser. När ett sedimentekolod förmår återge lagerföljden så här detaljerat och djupt ner under bottenytan, är det en indikation på att halten organiskt material eller innehållet av gas är måttligt eller ringa (se figur 4 för ett exempel på motsatsen). Detta innebär att mer påtagliga indikationer på potentiellt kraftigt förorenade sediment inte föreligger i figur 3. Däremot indikerar den planparallella skiktningen nära under ytan på de mjuka bottenarna att där pågår recent (nutida) sedimentation. Det innebär att de översta sedimentlagren sannolikt är avsatta under industrialismen varför det inte går att helt utesluta att de innehåller föroreningar. Med ledning av endast denna profil kan lämpliga provlokaler föreslås vid konkava delar som vid A och B eller mer utbredda flacka områden som vid C. De något mörkare skikten direkt under bottenytan vid A och B indikerar sannolikt en något högre organisk halt än i övrigt. Men de mörkare skikten kan även orsakas av sand, vilket indikerar sedimenttransport vilket skulle göra A och B mindre lämpliga. Detta klargörs genom att ta upp ett första beskrivande sedimentprov.

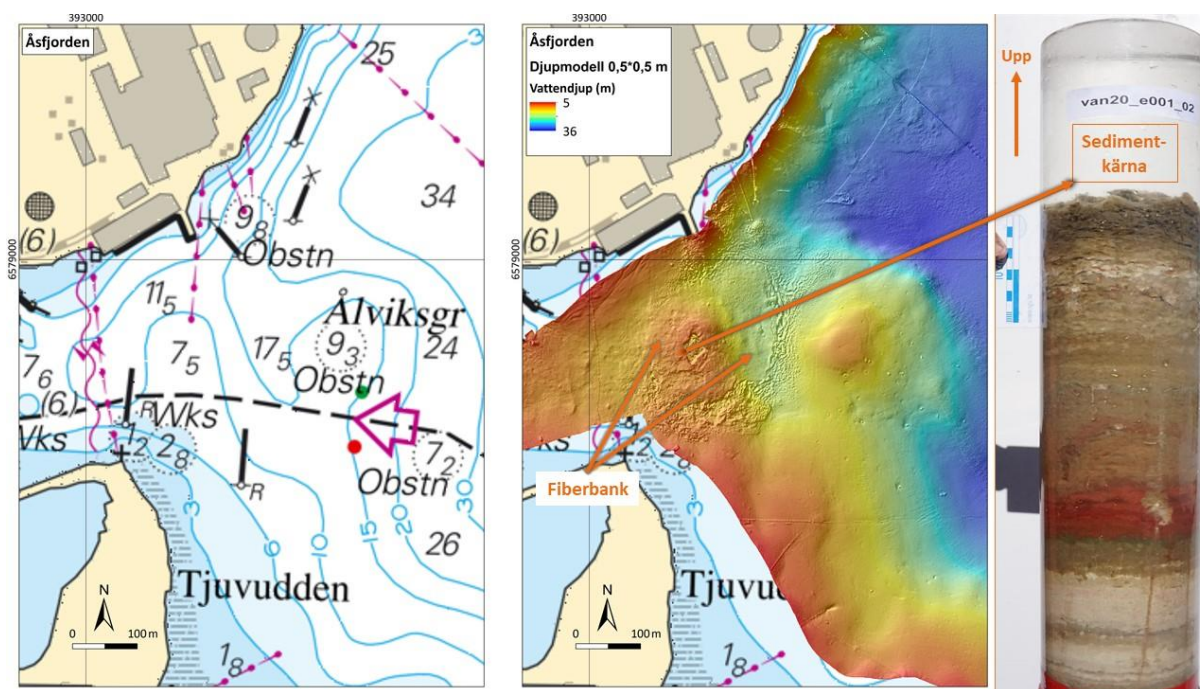


Figur 4. Nederst visas ett exempel på en sedimentekolodsprofil, cirka 700 m lång, där ekolodets ljudpulser inte förmått tränga ned och reflektera ekon från sedimentlager under bottenytan, utom längst till höger i bild. Detta fenomen kallas hydroakustisk utsläckning vilket ger ett falskt intryck av att sedimenten under bottenytan är helt homogena. Det enda som syns mot djupet är ett falskt så kallat dubbeleko av bottenytan. I verkligheten föreligger även här geologiska variationer av liknande slag som de i figur 3, men de nås inte av ljudpulser och ger därför inga ekon. Den hydroakustiska utsläckningen beror i detta fall på gasinnehåll i de ytliga sedimenten vilket i sin tur orsakas av hög halt organiskt material, vilket i sin tur indikerar möjligt föroreningsinnehåll. Även träfibrer, så som i förorenade fibersediment, kan under vissa omständigheter orsaka sådan utsläckning. På den provlokal som återges ovan visar ett undervattensfotografi av botten en ljus gulbeige yta av svavelbakterier, ett tecken på syrebrist orsakad av hög organisk halt i de ytliga sedimenten. De mörka groparna är gasavgångshål ur vilka gas från sedimentet stundom bubblar upp. Hålen avslöjar också att sedimentet under det ljusa ytskiktet är svart, vilket är ytterligare en effekt av syrebristen. Slutligen visar en knappt 5,5 dm djup sedimentkärna från lokalen en horisontellt skiktad och i översta delen mycket lös lergyttja, en vanlig karaktäristik hos mycket unga sediment. En samlad bedömning av informationen från denna provlokal är att det sannolikt föreligger recent (nutida) sedimentation. Detta innebär att sedimenten ner till ett visst djup under bottenytan är avsatta under industrialismen och att de därmed kan vara förorenade och meningsfulla att ta prov på för miljökemisk analys.

Antropogena ackumulationer kan även misstänkas när det i den hydroakustiska informationen förekommer konvexa eller kaotiska ansamlingar utanför industriområden, där avloppsrör mynnar, eller, som i figur 5, där ”backscatter” i den övre högra kartan visar tydliga spår av dumpning. Den visar även att hamnbassängen är muddrad, vilket är viktig information. I ett nyligen muddrat område är de allra yngsta potentiellt förorenade sedimenten borttagna och finns i stället på dumpningsplatserna. Muddringar utförda före modern miljölagstiftning kan ha bristfällig dokumentation; hydroakustik ger då en möjlighet att hitta dumpningsplatser. Figurtexten till figur 5 ger ytterligare exempel på hur förutsättningarna för en ändamålsenlig provplanering förbättras med hjälp av hydroakustisk information, jämfört med om endast sjökortet finns till hands.



Figur 5. Bottnarna kring farleden in mot hamnen i Otterbäcken i östra Vänern (Larsson m.fl. 2021). I backscatterbilden uppe till höger indikerar ljusare gråskalenyanser mjukare bottenytor och mörkare nyanser hårdare bottenytor. Av reliefen i backscatterbildens höjdsuggning går det också att se att hamnen är muddrad. Sannolikt är det muddermassor därifrån som dumpats där kraterliknande märken syns, angivna som ”Spår av dumpning” i figuren. Söderut från hamnen har det naturliga vattendjupet så småningom varit tillräckligt för fartygen. Men deras propellrar har rört upp det översta lösa och mjuka sedimentskiktet och eroderat fram underliggande äldre och hårdare sediment vilka framträder som ett mörkt spår mitt under farleden. Bottnens hårdhet och mjukhet återspeglas även genom den variation i gråskalan som bottenytan avtecknar sig i längs den cirka 1 km långa sedimentekolodspprofilen A–B. Den visar också tydligt hur äldre, normalt djupare liggande sediment i norra delen, vid A, går upp i bottenytan. Sannolikheten att hitta recenta (nutida) sediment, eller åtminstone sediment yngre än industrialismens inträde, är i detta område störst på de flacka mjuka bottnarna.

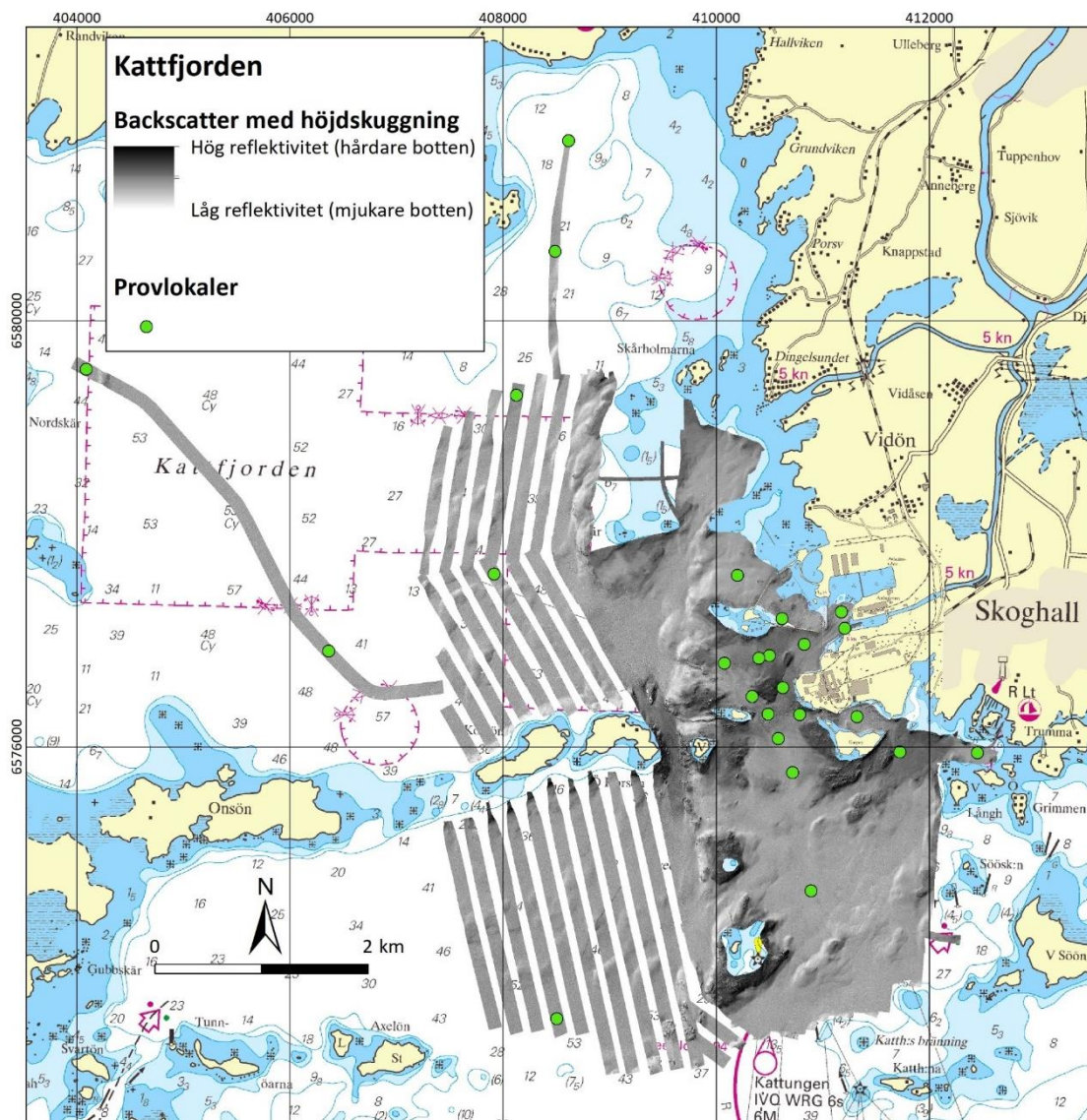


Figur 6. I Åsfjorden vid Grums i nordvästra delen av Vänern visar djupmodellen på mycket varierande bottenförhållanden. De uppstickande partierna vid Ålviksgrund och sydost därom utgörs av mjuka kullar så som de normalt kan se ut där finare sediment draperar underliggande morän och berggrund. Vid området väster om Ålviksgrund med djupangivelse 7,5 m visar djupmodellen däremot ett område, upp till 400 m i diameter, med en oroligt valkig och knottrig överyta. Vid sedimentprovtagning nära formens mitt erhöles en sedimentkärna med flera decimeter av uteslutande lösa och mjuka tussar av massafibrer med varierande färg. Detta runda bottenområde är en fiberbank vilken kartlagts och beskrivits av Larsson m.fl. (2021). Den uppvisar formelement och strukturer som är vanliga på fiberbankar, för fler exempel se Apler och Nyberg (2011) samt Norrlin och Josefsson (2017) med referenser.

En antropogen ackumulation som kan ha stor utbredning och flera meters mäktighet är så kallade fibersediment, det vill säga fiberbankar eller fiberrika sediment, vilka orsakats genom utsläpp av trä- och massafibrer. Dessa företeelser syns ofta i hydroakustiska bilder som exempelvis i flerstråleekolodets djupmodell i figur 6.

I exemplen som visas i figur 5 och figur 6 har mätningen med flerstråleekolod utförts med överlappande mätlinjer så att en heltäckande djupmodell och "backscatter" erhållits. Detta ger en detaljerad och sammanhängande bild av botten vilket är viktigt för att upptäcka antropogena spår, avlagringar och föremål i närheten av en potentiell utsläppskälla. Dessa förekommer dessutom ofta i områden med ringa till måttliga vattendjup där den naturliga variationen i sedimentens utbredning är större och mer mosaikartad. Heltäckande mätning är i sådana områden därför relevant för att uppnå en ändamålsenlig placering av provlokaler för miljökemisk analys av sediment.

Därutöver vill man ibland få en uppfattning om föroreningssituationen och eventuell spridning till sediment på längre avstånd från källan. Då är det i regel djupare belägna ackumulationsbottnar som eftersöks. Dessa är ofta, men inte alltid, mer homogent utbredda i en bassäng. I dessa fall kan det vara tillräckligt att mäta det utvalda bottenområdet som transekter, mätkorridorer, i stället för heltäckande. Exempel på hur detta kan utföras på ökande avstånd från potentiella utsläppskällor visas i figur 7.



Figur 7. I det strandnära området invid Skoghall och Vidön utfördes heltäckande mätning för att ge ett sammanhängande underlag för placering av ett större antal provlokaler på en botten med påtaglig variation av såväl naturliga som antropogena sediment, i detta fall förekom även fibersediment. I det djupare området väster därom visar mätningen i åtskilda transekter på en relativt homogen botten. Underlaget bedömdes som tillräckligt för utplacering av några provlokaler med syfte att spåra eventuell spridning av föroreningar västerut i fjorden. Slutligen mättes två enskilda transekter åt norr och nordväst med syfte att hitta lämpliga bottenar för några få provlokaler som stickprovsmässigt kan spegla föroreningssituationen i hela Kattfjordens sediment. Även sedimentekolod används längs transekterna för att få en uppfattning om olika sedimentlagars vertikala utbredning under bottenytan, men resultaten visas inte i figuren. För mer information om detta exempel, se Larsson m.fl. (2021).

Det är önskvärt att en preliminär utvärdering av den hydroakustiska informationen, särskilt i de delvis uppmätta områdena, kan utvärderas i realtid ombord på mätfarkosten. Detta för att vid behov justera planerad mätning beroende på den information och variation som bottenarna uppvisar, detta med avseende på såväl täckningsgrad som mättekniska inställningar.

Tekniska specifikationer för hydroakustiska mätningar och bearbetningar

Alla mätningar inom projektet gjordes från SGU:s undersökningsbåt Ugglan. Multistrålekolodsmätningarna utfördes med ett Kongsberg 2040-lod, med frekvens 340 kHz och short puls eller, vid vattendjup över cirka 20 m, medium puls. Sedimentekolodsprofiler uppmättes med hjälp av ett Topas 120 sedimentekolod där en Rickerpuls med 8 kHz centrumfrekvens användes ner till cirka 30 m vattendjup och vid större djup en Chirppuls med 5–24 kHz frekvensomfång. All