

Förorenade fibersediment i svenska hav och sjöar

Johan Norrlin & Sarah Josefsson

SGU-rapport 2017:07



Errata, 2017-09-08*Referenslista*

Ny text:

Apler, A. & Nyberg, J., 2011: Metoder för att kartlägga fiberhaltiga sediment.
SGU-rapport 2011:04. Sveriges geologiska undersökning.

Ursprunglig text:

Apler, A. & Nyberg, J., 2011: Metoder för att kartlägga fiberhaltiga sediment.
SGU-rapport 2011:1. Sveriges geologiska undersökning.

Errata, 2019-11-27

Figur 11, tidigare placerad på sidan 21, är borttagen
ur rapporten då vi avvaktar spridningstillstånd för den.

Omslagsbild: Höga Kustenbron sträcker
sitt spann över Ångermanfjorden.

I Höga Kustenområdet i Västernorrland
förekommer ofta fibersediment på
bottenarna, vilka också karaktäriseras av
risk för undervattensskred.

Foto: Sarah Josefsson.

Sveriges geologiska undersökning
Box 670, 751 28 Uppsala
tel: 018-17 90 00
fax: 018-17 92 10
e-post: sgu@sgu.se
www.sgu.se

Granskad av: Johan Nyberg och Anna Apler
Ansvarig enhetschef: Lovisa Zillén Snowball
Projektnamn: "Fiberhaltiga sediment", kod 40204
samt "Fiberbankar Gävleborg", kod 873217

INNEHÅLL

Sammanfattning	4
Summary	5
Inledning	6
Genomförda inventeringar	6
Riskklassning	7
Befintlig kunskap om fibersediment	9
Ursprung till fibrer och föroreningar	9
Olika typer av fiberbankar	11
Storlek och volym på fibersediment	12
Föroreningsinnehåll	13
Processer som påverkar spridning av fibrer och föroreningar	16
Översedimentation	16
Gasavgång	18
Erosion	19
Bottenstabilitet	20
Bioturbation och upptag i näringskedjor	20
Mänskliga aktiviteter	20
Kunskapsbehov	23
Fortsatt inventering	23
Undersökningar kring spridning och påverkan på miljön	23
Möjliga efterbehandlingsåtgärder	23
Slutsatser och rekommendationer	24
Referenser	25

SAMMANFATTNING

Träfiber används som råvara av pappers-, massa- och träfiberskiveindustrin. Fram till omkring 1970 släpptes fiberblandat processvatten ut orenat i hav, sjöar och vattendrag i anslutning till fabrikerna, vilket ledde till att fibersediment ansamlades på bottenarna. Sedan 2010 har länsstyrelserna i Norrland och Sveriges geologiska undersökning inventerat 39 områden i anslutning till verksamheter som kan ha orsakat fiberutsläpp. I 29 av dessa påträffades fibersediment, det vill säga fiberbankar, som består till övervägande del av fibrer, eller fiberrika sediment, där fibrerna är utblandade med naturliga sediment. Fibersedimenten påträffas i regel nära fabriken eller vid mynningen på utsläppsrör. En grov uppskattning är att den nu kända volymen fiberbankar är cirka 7 miljoner m³ vilket skulle fylla nästan 12 stycken Globen.

Eftersom många kemikalier användes eller kunde bildas i processerna är föroreningsnivåerna i fibersediment ofta förhöjda och överskrider riktvärden. Halterna av olika föroreningar varierar mellan områdena beroende på vilka kemikalier och vilka processer som använts, till exempel förekommer de högsta halterna av dioxiner och kvicksilver längs Bottenhavets kust i Västernorrlands och Gävleborgs län. De höga halterna gör att fibersediment kan befaras utgöra källor från vilka föroreningar kan sprida sig till omgivande miljö, växter och djur, och bidra till höga halter i till exempel Östersjöfisk. Det är därför viktigt att undersöka hur och i vilken omfattning det sker en spridning så att en väl grundad riskbedömning av respektive område kan ske. Detta är nödvändigt för att kunna avgöra om, och i så fall vilka, åtgärder som behöver vidtas för att bidra till att nå Sveriges nationella och internationella miljömål om bland annat *En giftfri miljö*.

De genomförda inventeringarna i Norrlandslänen har gjort det möjligt att få en faktagrundad uppfattning om några egenskaper som påverkar risk för spridning av fibrer med tillhörande föroreningar. Ett viktigt resultat är att fiberbankar i flertalet fall inte uppvisar tecken på över-sedimentation. Därmed finns det inga belägg för teorin att alla fibersediment med tiden kommer att begravas under yngre sediment.

Enligt länsstyrelsernas register över förorenade områden finns det i Sverige flera hundra verksamheter som kan ha gett upphov till fibersediment. Kunskapen om flertalet av dessa är otillräcklig. Det är därför mycket angeläget att återstående områden värderas och prioriteras för inventering med samma systematiska metod som använts hittills i Norrlandslänen.

Rapportens slutsatser och rekommendationer är i korthet:

- Resterande över 300 platser där fibersediment kan förekomma bör utvärderas och inventeras med beprövade metoder. På så vis uppnås jämförbarhet vid nationella prioriteringar.
- Naturlig översedimentation av fiberbankar förekommer i flertalet fall inte. Självrening som efterbehandlingsåtgärd för fiberbankar kan därför inte vara en generell metod.
- Forskning om spridning av föroreningar från fibersediment till miljön behöver fortgå tills dess att svar finns på hur och i vilken omfattning sådan spridning sker.
- En nationell vägledning för riskbedömning av förorenade sediment, inklusive fibersediment, behöver utvecklas.
- Att efterbehandla områden med fibersediment innebär utmaningar utöver de som redan är kända för förorenade sediment i allmänhet. Forskning om hur olika efterbehandlingsåtgärder fungerar för fibersediment behöver fortgå.
- Mänskliga aktiviteter kan sätta fibrer i rörelse. Behovet av riktlinjer eller aktsamhetszoner vad gäller undervattensbyggnation, båttrafik etc. i fibersedimentområden bör ses över.

SUMMARY

The paper, pulp and board industries use wood fibre as raw material. Until around 1970, the fibre-mixed waste water from their processes was released untreated into seas, lakes and streams adjacent to the factories, resulting in fibre-containing sediments accumulating on the bottoms. Since 2010, the county administrative boards in Norrland and the Geological Survey of Sweden have surveyed 39 areas in the vicinity of industries that may have released fibres. In 29 of these, fibre sediments were found. These are so called fibre banks, consisting predominantly of fibres, or fibre rich sediments, where the fibres are mixed with natural sediments. The fibre-containing sediments, also called fibre sediments, are usually found near the factories or around the outfall of the sewers. A rough estimate is that the now known volume of fibre banks is almost 7 million m³.

Since many chemicals were used or formed in the processes, the levels of pollution in the fibre sediments are often elevated and exceed the guideline values. The levels of different pollutants vary between the areas depending on the chemicals and processes used, e.g. the highest levels of dioxins and mercury are found along the coast of the Bothnian Sea in Västernorrland and Gävleborg County. These high levels mean fibre sediment can constitute sources of pollutants affecting the surrounding environment, plants and animals. It is therefore important to investigate how, and to what extent, there is a dispersal, so that a well-informed risk assessment of each area can be done. This is necessary in order to achieve Sweden's national and international environmental goals, e.g. *A non-toxic environment* (sv. *En giftfri miljö*).

The conducted surveys in the Norrland counties provide information on some of the characteristics of the fibre sediments, affecting the risk of dispersal of fibres and associated pollutants.

An important observation is that fibre banks in most cases do not show signs of being covered by recent sediments. Consequently, there is no evidence to support the theory that fibre sediment will eventually be buried under younger sediments.

According to the county administrative boards' registers of contaminated areas, there are hundreds of activities in Sweden that may have resulted in fibre sediments. The knowledge about most of these is insufficient or non-existent. It is therefore of utter importance that these sites are evaluated and prioritised for future investigation with the same systematic methodology used in the northern counties.

Conclusions and recommendations:

- Sites where fibre sediment may occur should be evaluated and investigated using proven methods. This way, comparability on a national level is achieved.
- Fibre banks are, in most cases, not covered by recent sediments. Therefore, natural attenuation cannot be considered a standard method for remediating fibre banks.
- The research on the dispersal of pollutants from the fibre sediments needs to continue until there are answers to how and to what extent such dispersal occurs.
- A national guidance for risk assessment of contaminated sediments needs to be developed.
- Remediating areas with fibre sediment entails previously unknown challenges, different from those regarding contaminated sediment in general. Research on the effects of different treatments need to continue.
- Human activities can resuspend fibres. The need for guidelines and restricted areas regarding e.g. underwater construction and boat traffic in polluted areas must be considered.

INLEDNING

Syftet med denna rapport är att sammanfatta kunskapsläget om fibersediment, även kallade fiberhaltiga sediment, i svenska hav och sjöar. Rapporten vänder sig främst till beslutsfattare hos olika aktörer såsom myndigheter och företag inom massa- och pappersindustrin samt till förtroendevalda men kan givetvis läsas av vem som helst som vill ha en översikt i ämnet.

Fibersediment utgörs av skikt och bankar med ett tydligt innehåll av bearbetade träfibrer på havs-, sjö- och älvsbotten. De härrör från utsläpp från pappers-, massa- och träfiberskiveindustrin innan mer rening av utsläppen infördes på grund av att strängare lagstiftning trädde i kraft i form av 1969 års miljöskyddslag. Fibersediment kan delas in i två typer: fiberbankar, som består till övervägande del av träfibrer, och fiberrika sediment, där fibrerna är utblandade i varierande grad med naturliga sediment. Förutom fibrer innehåller fibersedimenten ofta också en rad olika föroreningar som är problematiska för miljön. Kunskapen om fibersedimentens utbredning och egenskaper har tidigare varit begränsad men under de senaste åren har inventeringsprojekt genomförts och forskningsprojekt har påbörjats, vilket har gjort att kunskapsläget har förbättrats.

Det står nu klart att fibersediment förekommer på relativt stora ytor längs Norrlandskusten och i sjöar och vattendrag, och att föroreningsnivåerna i sedimenten ofta är förhöjda. Flera olika faktorer gör att fibrerna kan grumlas upp från botten, med påföljande risk att även föroreningar sprider sig. Föroreningarna kan också kontinuerligt läcka ut från fibersedimenten. Fibersediment är därför en potentiell källa för spridning av föroreningar till näringskedjor i svenska vatten, det vill säga kedjor av till exempel växter, växtätare och rovdjur, där föroreningshalterna ofta blir som högst i toppkonsumenterna längst upp i kedjan. I bland annat Östersjön förekommer vissa föroreningar i nivåer som är oroväckande höga och kan orsaka problem för djur och människor. Till exempel har de höga halterna av dioxin i fet fisk lett till restriktioner i försäljning och konsumtion av Östersjöfisk (Livsmedelsverket 2017).

För att minska föroreningshalterna i vår miljö så att Sverige ska kunna uppnå olika miljömål krävs ytterligare arbete för att identifiera och åtgärda punktkällor och diffusa källor till föroreningar. Viktiga miljömål som berörs är det nationella miljömålet *En giftfri miljö*, HELCOMs (Helsingfors-kommissionens) mål om ett Östersjön där all fisk ska vara säker att äta, EUs mål om god miljöstatus i våra hav och vatten och det Globala målet för hållbar utveckling nummer 14 *Hav och marina resurser*.

Att öka kännedomen om fibersedimentens egenskaper och utbredning i hela landet är en viktig del av detta arbete, i synnerhet för att kunna fatta välgrundade beslut om vilka åtgärder som bör genomföras för att uppnå miljömålen.

Genomförda inventeringar

Under åren 2006–2009 genomförde Sveriges geologiska undersökning (SGU) en reguljär marin-geologisk kartläggning i kustområden i Västernorrlands län (Lind 2016). Erfarenheter från denna föranledde länsstyrelsen i Västernorrlands län och SGU att under 2010–2011 utföra en metodstudie i områden med misstänkta fibersediment utanför några av länets pappers- och massaindustrier (Apler & Nyberg 2011). Studien finansierades av Havsmiljöanslaget. Det visade sig att hydroakustiska undersökningar, det vill säga att mäta och analysera ekon från utsända ljudsignaler, kombinerat med sedimentprovtagning med framgång kan användas för att identifiera fibersediment och översiktligt kartlägga deras utbredningar. Dessutom kan egenskaper som påverkar risk för spridning av fibrer dokumenteras, till exempel tecken på undervattensskred. Genom att även samla in sedimentprov kan innehållet av miljöföroreningar analyseras.

Denna metod har därefter använts i två omfattande inventeringsprojekt i Norrland där berörda länsstyrelser och SGU har samverkat. Det första projektet (Apler m.fl. 2014) genomfördes under ledning av länsstyrelsen i Västernorrlands län, finansierades av Naturvårdsverket och

omfattade 22 kustområden i Västernorrland. Det andra projektet (Norrlin m.fl. 2016) leddes av länsstyrelsen i Gävleborgs län och finansierades av Havs- och Vattenmyndigheten. Det omfattade 11 kustområden i Gävleborgs, Västerbottens och Norrbottens län samt 6 områden i älvar och insjöar i Västernorrlands och Jämtlands län. Resultaten från de två inventeringsprojekten finns även sammanfattade i en populärvetenskaplig skrift (Länsstyrelsen i Gävleborgs län m.fl. 2017a).

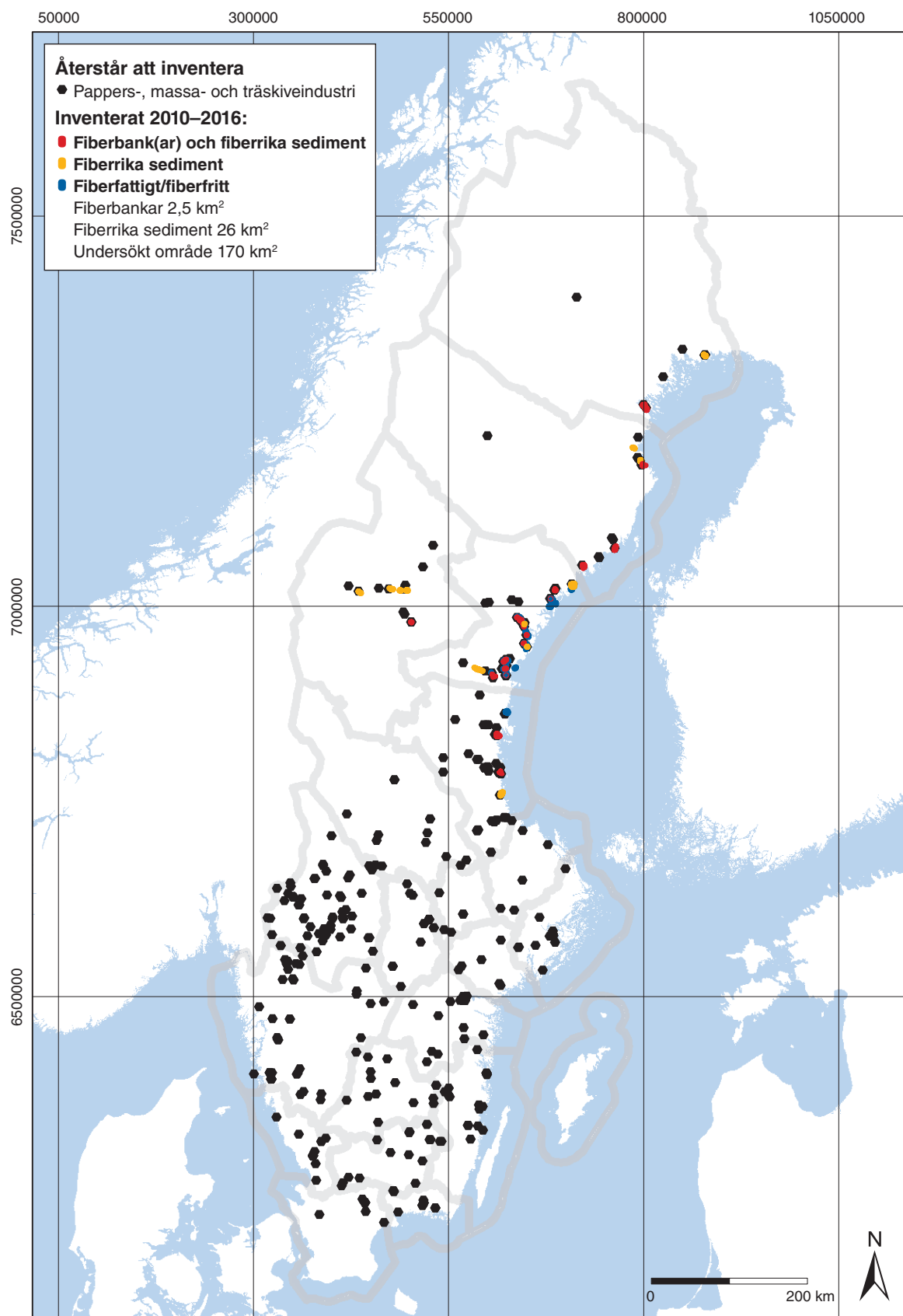
Därmed har hittills 39 områden med misstänkta fibersediment kartlagts av SGU i samverkan med berörda länsstyrelser. Av dessa har fibersediment påvisats i 28 områden, varav 19 med både fiberbankar och fiberrika sediment samt 9 med enbart fiberrika sediment (figur 1 och 2). I övriga 11 områden påträffades sediment med inget eller litet fiberinnehåll, i flera fall dock med förhöjda föroreningshalter vilket inte är orimligt eftersom föroreningar även har släppts ut från andra verksamheter än de som gett upphov till fibrer.

Som framgår av figur 1 och 2 finns det enligt länsstyrelsernas nationella databas över förorenade områden (EBH-stödet 2017a och b) cirka 380 platser i Sverige där verksamheter pågår eller har pågått som kan ha gett upphov till fibersediment. Det är alltså endast en mindre del av de bottenar som kan befaras ha fibersediment som har undersökts i de hittills genomförda inventeringarna.

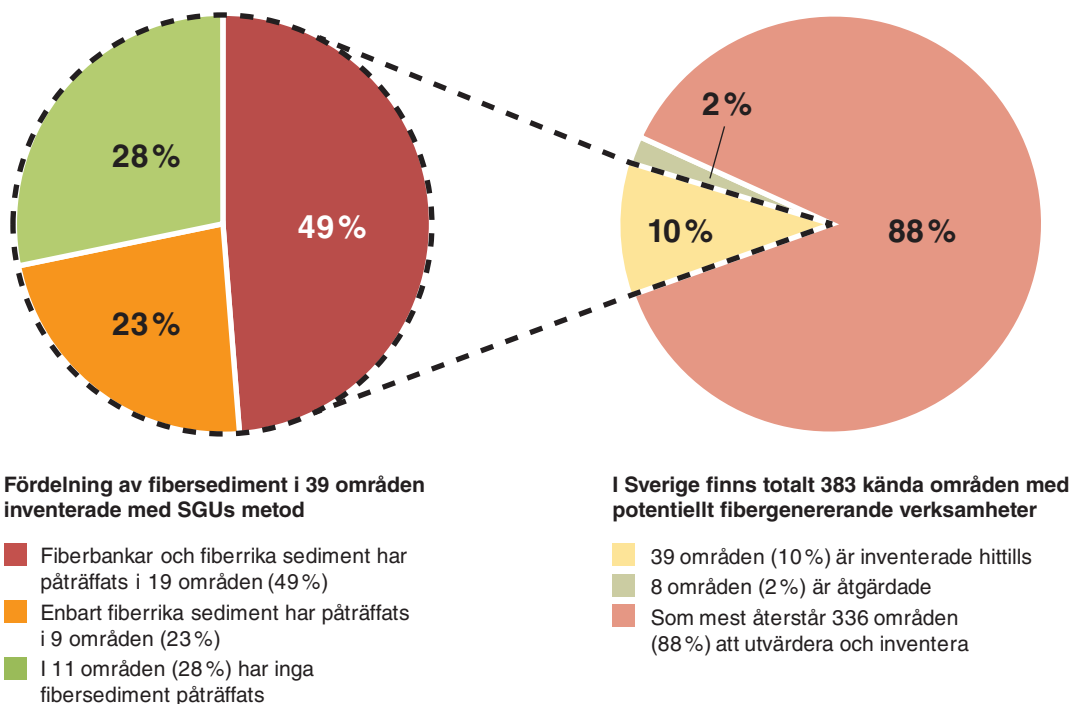
Riskklassning

De områden med fibersediment som har identifierats har därefter riskklassats av länsstyrelserna. Riskklassningen fungerar som ett prioriteringsverktyg inför länsstyrelsernas fortsatta arbete. Den metodik som har använts för riskklassningen är framtagen speciellt för fiberhaltiga sediment (Länsstyrelsen Västernorrland & Golder Associates AB 2016) men bygger på Naturvårdsverkets vedertagna MIFO-metodik, "Metodik för inventering av förorenade områden" (Naturvårdsverket 1999). I korthet har den högsta riskklassen 1 för fibersediment delats upp i tre underklasser: 1a, 1b och 1c. Riskklassningen bygger på den vid klassningstillfället tillgängliga kunskapen om respektive område och kan justeras uppåt eller neråt om ny kunskap motiverar detta. De hittills klassade områdena har riskklasser från 1a, *Synnerligen hög risk* till 3, *Måttlig risk* (Länsstyrelsen i Gävleborgs län m.fl. 2017a).

Som en del av det senaste inventeringsprojektet i Norrland genomfördes dessutom en översiktlig studie av möjliga metoder för efterbehandling av fibersediment (Länsstyrelsen i Gävleborgs län m.fl. 2017b). Se vidare i avsnittet *Möjliga efterbehandlingsåtgärder*.



Figur 1. Kartan visar geografiska lägen för de verksamheter som kan ha medfört fiberutsläpp, det vill säga pappers-, massa- och olika slags träfiberskiveindustrier, som finns registrerade i länsstyrelsernas EBH-stöd (2017a och b). Områden överpräglade med andra färger än svart är inventerade med SGUs metod. Färgerna anger vilka slags fibersediment som påträffats.



Figur 2. Det vänstra diagrammet visar utfallet från SGUs och länsstyrelsernas inventering av 39 områden i Norrland. Dessa 39 områden utgör i sin tur endast 10 % (högra diagrammet) av de 383 områden på land där det enligt EBH-stödet (2017a och b) har pågått tillverkning av papper, massa eller träfiberskivor. I åtta av dessa områden har efterbehandlingsåtgärder genomförts i fibersediment (Jersak m.fl. 2016a).

BEFINTLIG KUNSKAP OM FIBERSEDIMENT

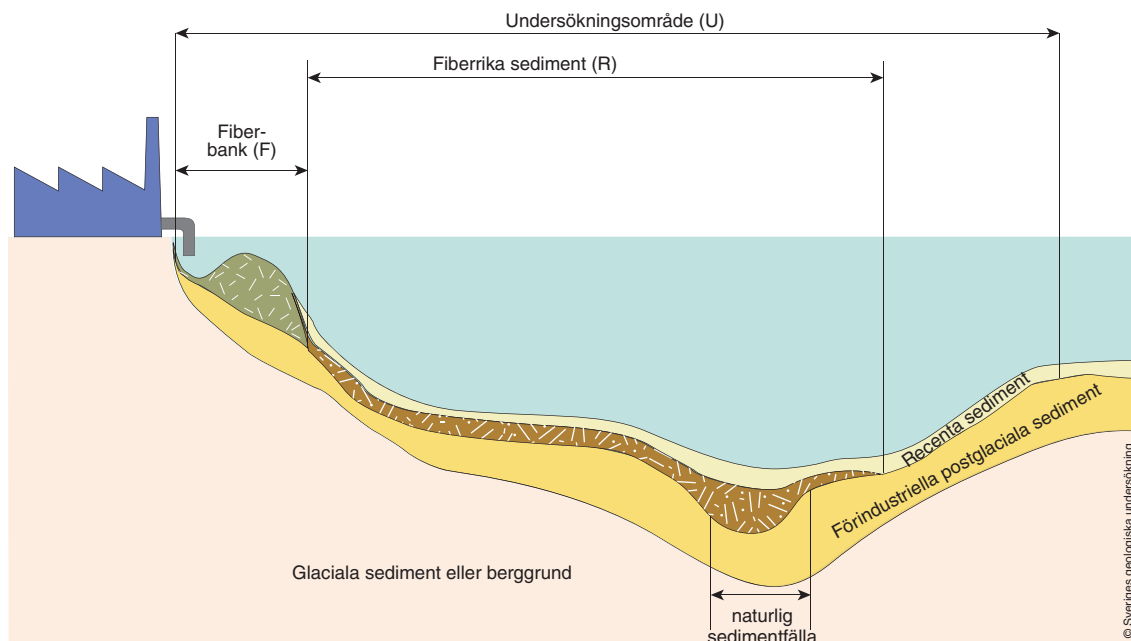
Ursprung till fibrer och föroreningar

Allt sedan pappers- och massaindustrins framväxt har den genererat cellulosa-fibrer från träåvara. Den stora merparten av fibrerna blev till verksamheternas avsedda produkter, men den del som inte togs till vara släpptes ut i det vattendrag, sjö eller havsvik där industrin var belägen. I och med att produktionen från andra halvan av 1800-talet växte från mekanisk rivning av massa i hantverksskala till en storskalig kemisk industri växte även mängden överblivna massafibrer. Samtidigt utvecklades tekniken att pressa och limma träfibrer till skivor, såsom plywood och boardskivor, för byggnadsindustrin vilket också genererade utsläpp av träfibrer.

Processvatten med överblivna fibrer från dessa olika verksamheter släpptes ofta ut nära fabriksområdet. Fibrer och andra partiklar i sådana utsläpp har en förmåga att häfta vid varandra och bilda större och tyngre ansamlingar, så kallade *flockar* (Hall 2003 med referenser). Detta är den troliga orsaken till att fibrer föll till botten nära utsläppspunkten och byggde upp fiberbankar (figur 3) vilka ofta återfinns i grunda exponerade lägen där de i liten utsträckning eroderas bort. En fiberbank innehåller i stort sett enbart fibrer.

En del fibrer fördes något längre ut och sedimenterade tillsammans med naturliga sediment, på detta sätt bildades fiberrika sediment (figur 3). Gränsen mellan fiberbankar och fiberrika sediment är ofta gradvis, de åtskiljs snarare av en övergångszon än en skarp gräns. Fiberrika sediment är i regel tunnare än fiberbankar och kan ha en fläckvis utbredning.

Förutom fibrer har även kemikalier släppts ut vilket har medfört att fibersediment ofta är förorenade. Kemikalierna kunde användas direkt i processerna, vid framställning av processkemikalier eller som bekämpningsmedel mot svamp- och insektsangrepp på timmer och massa-produkter. Bekämpningsmedel som har använts för att behandla trä eller virke, till exempel



Figur 3. Principiell modell för utbredning av fiberhaltiga sediment.

DDT mot insektsangrepp eller klorfenoler mot svampangrepp, kan ha spridits till miljön vid själva behandlingen eller när virket senare har använts i processerna. Förutom avsiktligt använda kemikalier kunde föroreningar också uppstå oavsiktligt i processerna eller förekomma i de kemikalier som användes, till exempel dioxiner.

De sedimentprover från fibersediment som har analyserats har visat sig innehålla både föroreningar som direkt kan kopplas till användning eller uppkomst i industrin, och föroreningar som har ett bredare användningsområde eller ursprung och därmed inte är karaktäristiska för pappers-, massa- och träfiberskiveindustrin. Ett exempel på det senare är PCBer, som har haft många olika användningar. De har använts i stora mängder i bland annat elektrisk utrustning, men har även förekommit i självkopierande (karbonfritt) papper och kan därför uppmätas i höga halter nära massafabriker som använt returmassa med PCB-innehållande returpapper.

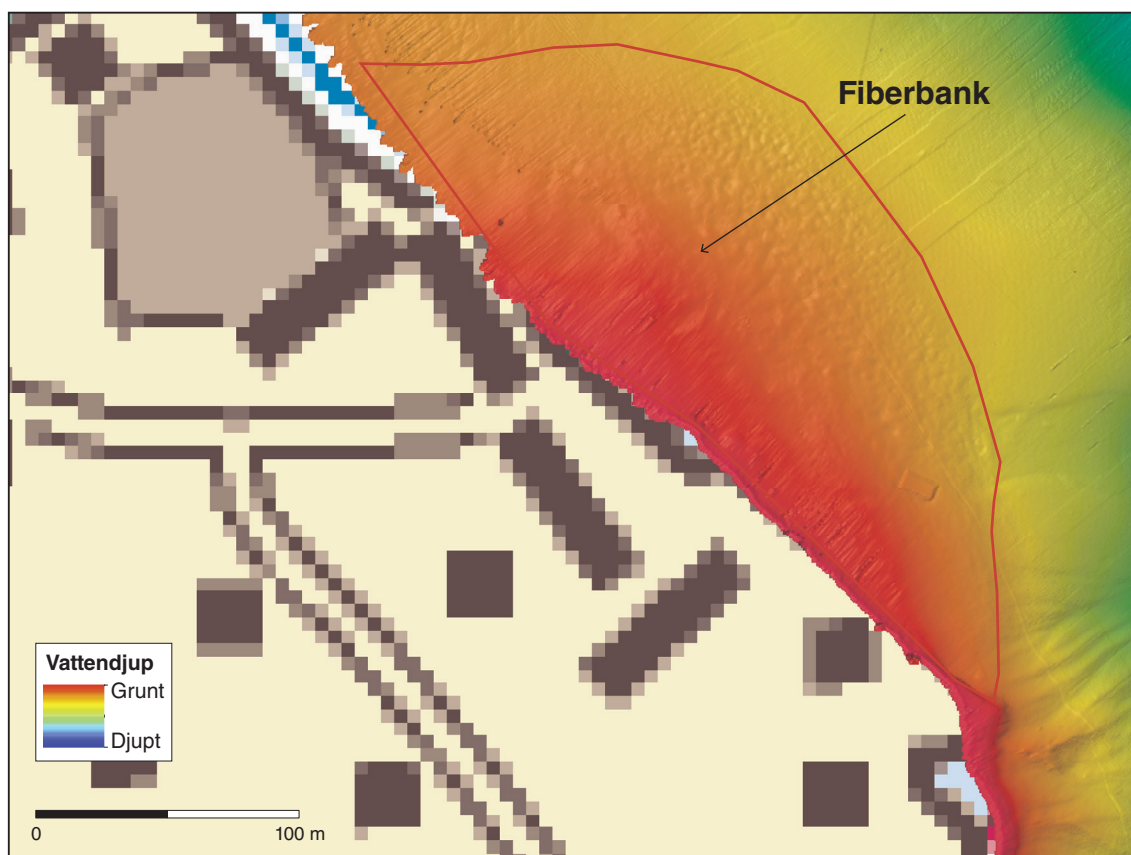
Föroreningarna kan även ha spridits utanför fibersedimenten, det vill säga till sediment som inte innehåller eller innehåller väldigt små mängder fibrer. I en del fall kan det också finnas andra källor till föroreningarna, det vill säga att utsläppen av föroreningar inte behöver ha samma källa som utsläppen av fibrer. Halterna kan då vara högre i sediment utan fibrer än i fibersediment. Till exempel förekommer de högsta halterna av ett flertal metaller (främst arsenik och koppar) som mätts i de två inventeringsprojekten i Norrland inte i fibersediment utan i sediment i anslutning till ett metallsmältverk i Västerbotten. Detta visar att föroreningssituationen varierar från ämne till ämne och från område till område, och därför behöver bedömas platsspecifikt.

Fibersedimenten är framför allt avlagrade under sent 1800-tal och under 1900-talet. På grund av strängare lagstiftning i slutet av 1960-talet kom utsläppen av fibrer, efter några år med dispensförfaranden, att upphöra under 1970-talet. Utsläppen av föroreningar kunde dock fortsätta även efter detta tills problemen uppmärksammades, till exempel utsläppen av dioxiner i samband med klorblekning av massa. I dag avskiljs fibrerna från processvattnet innan de släpps ut. Kvaliteten på det vatten som därefter släpps ut övervakas genom recipientkontroll. En studie av miljöeffekter över tid i ett antal av dessa recipienter, det vill säga hav, sjöar och vattendrag som tar emot processvatten, har nyligen publicerats av IVL Svenska Miljöinstitutet (Sandström m.fl. 2016).

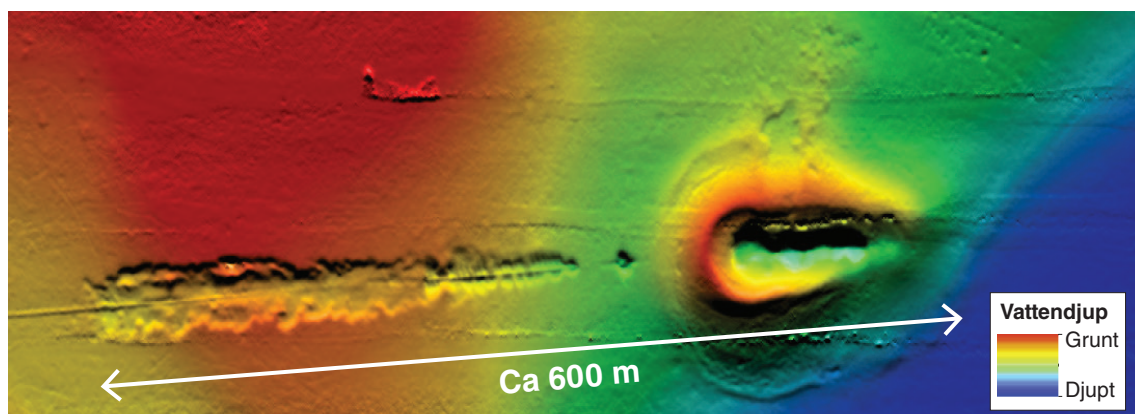
Olika typer av fiberbankar

De fiberbankar som påträffats återfinns i olika lägen i förhållande till utsläppskällan:

- De flesta fiberbankarna återfinns som en uppstickande form på relativt grunda bottenar nära land och i anslutning till fabriksområdet (figur 3 och 4). Dessa utgör rimligen de äldsta fiberbankarna, uppbyggda då processvattnet släpptes ut mycket nära fabriken i öppna diken eller genom korta rör.
- Vissa fiberbankar återfinns relativt långt från land runt mynningen på ett avloppsrör. Fiberbanken har i dessa fall ofta formen av en kraterliknande vall runt mynningen, en "fiber-vulkan" (figur 5).
- Fibrer som släppts ut i älvar har ofta följt med det strömmande vattnet tills de sedimenterat där älven mynnar i en sjö, damm eller havsvik. Där återfinns fiberbanken ofta direkt nedströms det delta som älven byggt upp av naturliga älvsediment. Fiberbankar som påträffats i dessa lägen har en flack form.
- Vid utsläppsplatser som är utsatta för kraftig erosion från vågor och strömmar återfinns inte alltid någon fiberbank, däremot kan fibrer finnas omlagrade i fiberrika sediment. På extremt utsatta platser återfinns inga fibersediment alls, trots att omfattande utsläpp kan antas ha skett. Här har erosionen varit så stark att fibrerna spridits ut över så stora bottenytor att de inte har byggt upp urskiljbara sedimentskikt.



Figur 4. Bottentopografisk bild som visar ett exempel på en strandnära fiberbank i omedelbar anslutning till ett industriområde (Apler m.fl. 2014). Den smågropiga ytan i fiberbankens yttre del är typisk för fiberbankar och utgörs av små kratrar, så kallade *pockmarks*, som bildas när gasbubblor frigörs. (Spridningstillstånd för djupdata enligt Sjöfartsverkets beslut med beteckning 12-02372).



Figur 5. Bottentopografisk bild som till höger visar en fiberbank (Apler m.fl. 2014). Från vänster i bilden syns i botten spår av ett rör för förbrukat processvatten. Kring rörets mynning har fibrerna i vattnet avlagrats i en form som påminner om en vulkankrater. (Spridningstillstånd för djupdata enligt Sjöfartsverkets beslut med beteckning 12-02372).

Tabell 1. De fiberhaltiga sedimentens areor och volymer, baserade på hittills genomförda inventeringar, återges i tabellen fördelade på de fem Norrlandslänen. Vid uppskattningarna av fibersedimentens areor, och framför allt av deras mäktigheter (tjocklekar), finns stora osäkerheter. Detta innebär att de i tabellen angivna vattenmättade volymerna endast ska ses som mycket ungefärliga värden. Källor: SGU och Länsstyrelsen i Västernorrlands län.

Område	Antal inventerade områden	Area fiberbankar (m ²)	Volymuppskattning fiberbankar (m ³)	Area fiberrika sediment (m ²)	Volymuppskattning fiberrika sediment (m ³)
Norrbottens län	2	110 000	441 000	1 803 000	622 000
Västerbottens län	5	505 000	660 000	1 645 000	387 000
Jämtlands län	3	37 000	4 000	1 177 000	179 000
Västernorrlands län	25	1 675 000	5 772 000	18 810 000	8 778 000
Gävleborgs län	4	162 000	97 000	3 054 000	1 146 000
Totalt	39	2 489 000	6 974 000	26 489 000	11 112 000
Totalt km² eller km³		2,5 km²	0,007 km³	26 km²	0,011 km³
Motsvarande kvadrat/kub		1,6 × 1,6 km	190 × 190 × 190 m	5,1 × 5,1 km	220 × 220 × 220 m
Motsvarar ungefär		360 fotbollsplaner*	12 Globen**	3 780 fotbollsplaner*	18 Globen**

* En fotbollsplan: ca 7 000 m² ** Globens volym: ca 605 000 m³

Storlek och volym på fibersediment

Som framgår av tabell 1 täcker de kända fibersedimenten totalt en yta på nästan 29 km², vilket motsvarar drygt två tredjedelar av Sundsvalls tätorts yta på 42,5 km² (Statistiska Centralbyrån 2015). Enbart fiberbankarnas area på 2,5 km² motsvarar ungefär 360 fotbollsplaner, eller ungefär 1,6 × 1,6 km², medan de fiberrika sedimenten täcker en mer än tio gånger så stor yta.

Tabell 1 redovisar även uppskattningar av fibersedimentens vattenmättade volym. Dessa siffror är betydligt mer osäkra än areorna eftersom fibersedimentens mäktighet (tjocklek) kan vara svår att fastställa. Volymen på de hittills kända fiberbankarna motsvarar utifrån dessa uppskattningar cirka 12 behållare av Globens storlek, vilket mycket ungefärligt är 12 gånger större än volymen på de förorenade sediment som för närvarande muddras upp ur Oskarshamns hamnbassäng (Oskarshamns kommun 2017). De fiberrika sedimenten skulle i sin tur, trots en påtagligt större area, fylla ungefär 18 Globen, detta eftersom de är betydligt tunnare än fiberbankarna.

Föroreningsinnehåll

Ett flertal olika föroreningar har analyserats och uppmätts i fibersediment i de två inventeringsprojekten i Norrlandslänen (Apler m.fl. 2014, Norrlin m.fl. 2016). Som exempel visas kartor med resultaten för två av de mest problematiska föroreningarna, dioxiner och kvicksilver (figur 6 och 7).

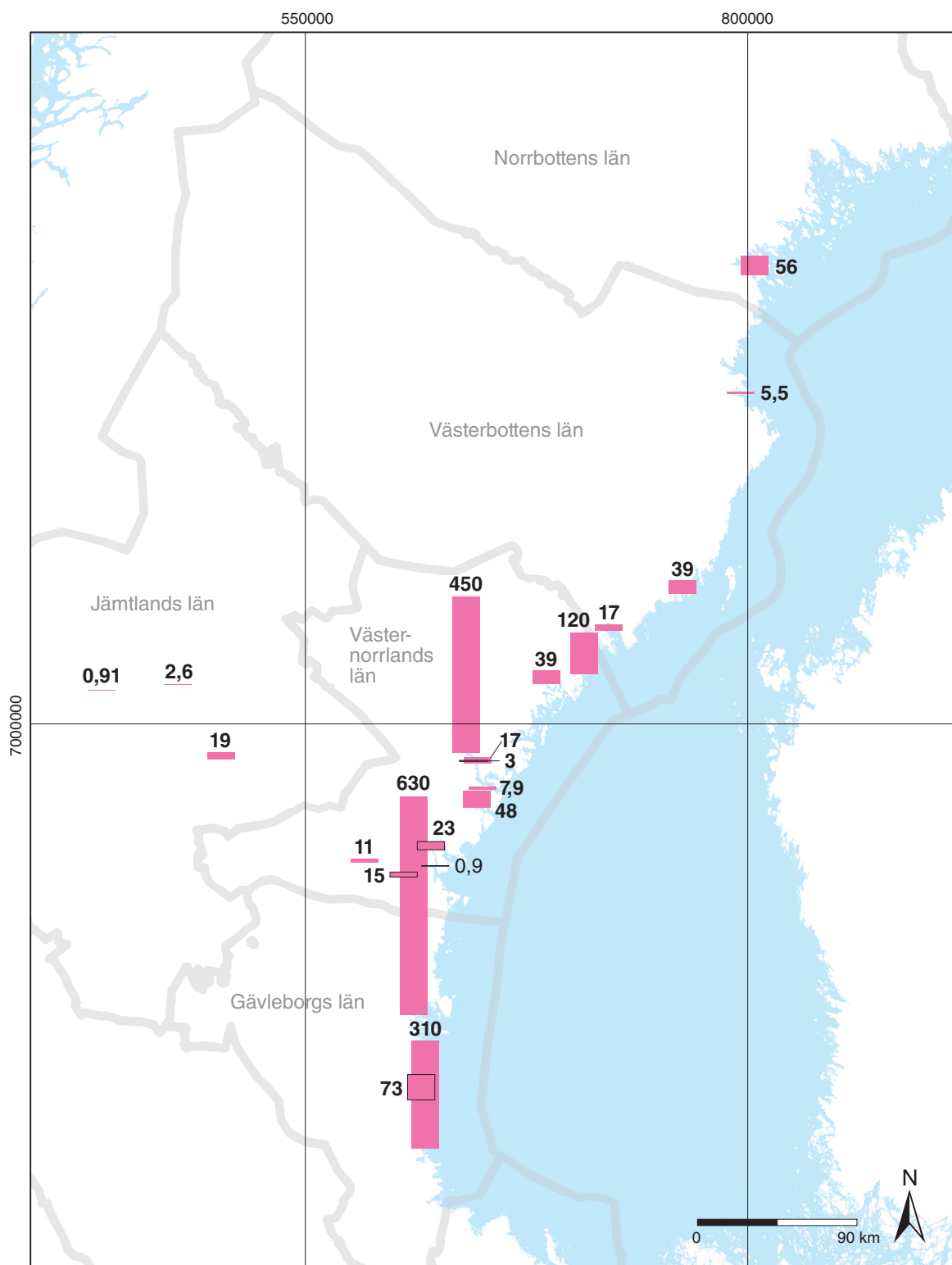
Dioxiner påträffades i höga halter i synnerhet i Västernorrlands och Gävleborgs län (figur 6). De är oavsiktligt bildade och kan härröra från en mängd olika processer, men ofta förekommer de högsta halterna i fibersediment vid industrier där klorblekning av massa utförts. Dioxiner har också funnits som en förorening i bland annat klorfenolpreparat som använts för att skydda virke mot svampangrepp, främst i sågverk. Eftersom dioxiner är mycket giftiga är det använda riktvärdet lågt, och halterna överskrider riktvärdet i alla undersökta fibersedimentområden förutom ett.

Halterna av kvicksilver är höga i flera av de områden som undersökts, med de högsta halterna uppmätta i Västernorrland (figur 7). Det finns dock höga kvicksilverhalter även i områden som inte ingått i inventeringsprojekten, till exempel i Karlshäll i Norrbottens län. En viktig källa till kvicksilver i fibersediment var kloralkalifabriker där klor till massablekning producerades. In på 1960-talet användes dessutom organiska former av kvicksilver, såsom fenylkviksilver, som slemmotverkande medel i processapparatur samt för att impregnera mekanisk massa. Organiskt kvicksilver, främst i form av metylkviksilver, är giftigare än oorganiskt kvicksilver. Det kan bildas från oorganiskt kvicksilver i miljöer med syrebrist, och bildningen tros bero på bland annat förekomsten av kvicksilverformer som kan metyleras och sammansättningen av det organiska materialet i sedimentet (Drott m.fl. 2007).

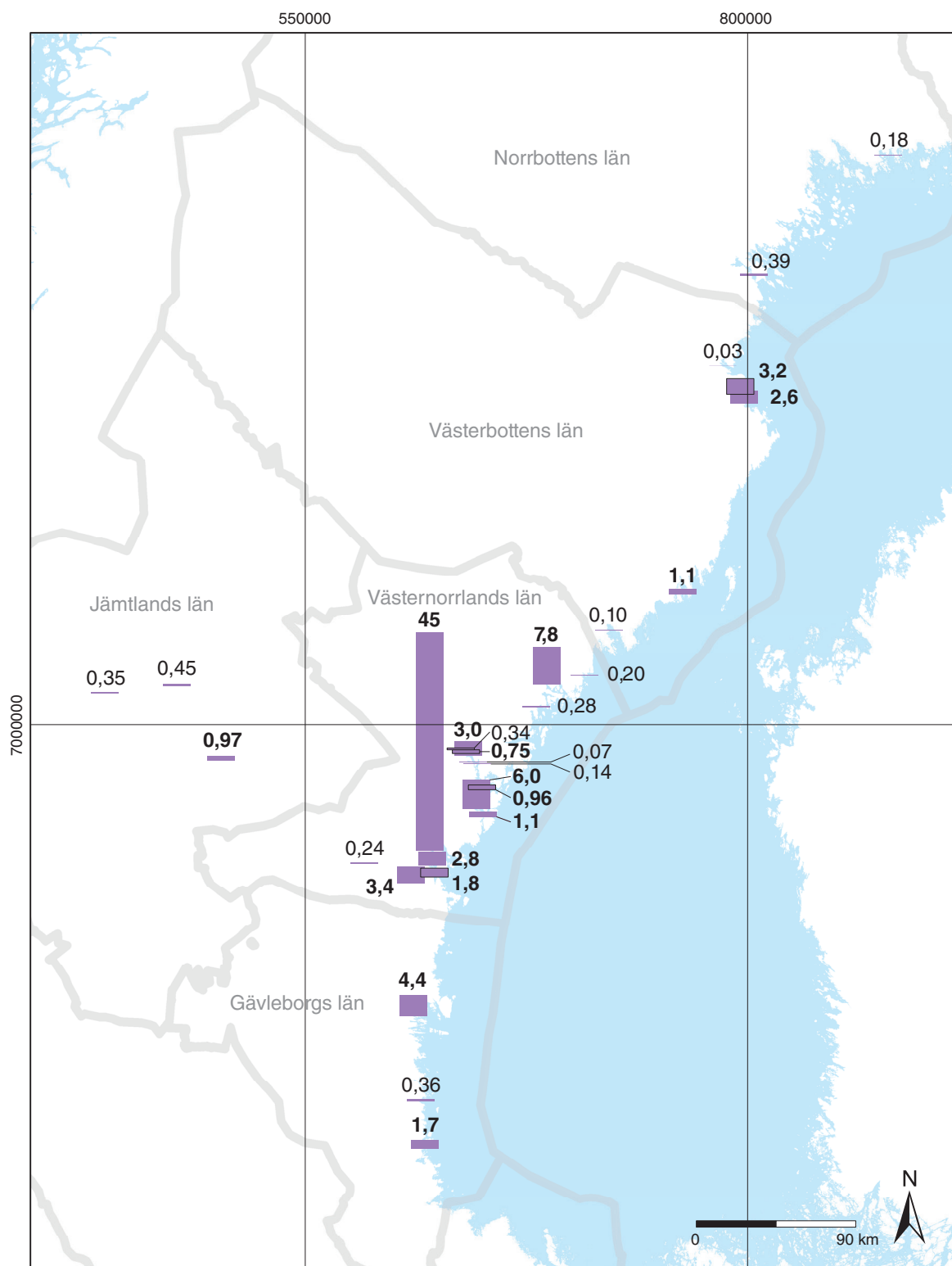
Föroreningsmängderna i fibersediment i de fem Norrlandslänen har uppskattats baserat på uppskattade volymer av fibersediment i de undersökta områdena (se tabell 1) och medelvärden av föroreningshalter (tabell 2). Detta är osäkra uppskattningar och för mer säkra värden skulle fibersedimentets volym behöva vara bestämd mer exakt. Dessutom skulle egenskaper som torrsubstans och föroreningshalter behöva bestämmas i fler prover från varje område.

På grund av att många områden inventerats i Västernorrland beräknas stora volymer av fibersediment finnas i detta län (tabell 1). Detta, i kombination med höga halter av föroreningar, gör att de överlägset största föroreningsmängderna uppskattas förekomma här (tabell 2). Det är fallet för bland annat dioxiner och kvicksilver. Den beräknade volymen av fibersediment i Gävleborgs län är avsevärt mindre än i Västernorrland, vilket gör att de uppskattade föroreningsmängderna är mindre trots att de undersökta områden som har högst halter av bland annat dioxiner och HCB finns i länet. De beräknade volymerna och föroreningsmängderna i de områden med fibersediment i Norrbotten och Västerbotten som undersökts i de två inventeringsprojekten är relativt lika, men överlag med högre mängder i Västerbotten än i Norrbotten. Mängderna är avsevärt lägre än i Västernorrland trots jämförbara halter av till exempel PCB₇ och Summa DDT. Jämtland uppskattas ha en liten volym fibersediment och därför blir de uppskattade föroreningsmängderna små i detta län. Länet utmärker sig emellertid genom att ha höga halter av Summa HCH och HCB i tunna lager av fiberrika sediment som är utspridda över relativt stora ytor.

Sammanfattningsvis finns det höga halter och stora mängder av föroreningar i många områden med fibersediment. Det finns få svenska riktvärden för föroreningar i sediment, men kombinerat med riktvärden från andra länder framgår det att riktvärdena ofta överskrids. Detta varierar givetvis mellan områden och mellan ämnen, men de höga halterna i många områden gör att de kan befaras fungera som källor till föroreningar till akvatiska näringskedjor. Det är därför mycket viktigt att genomföra riskbedömningar för att kunna avgöra i vilken grad föroreningarna sprider sig till omgivande miljö.



Figur 6. Maxhalter av dioxiner (ng TEQ/kg torrsubstans, TS) i fibersediment i områden undersökta i de två inventeringsprojekten (Apler m.fl. 2014, Norrlin m.fl. 2016). Det finns inget fastställt riktvärde för dioxiner i sediment i Sverige, men ofta används ett kanadensiskt effektbaserat riktvärde på 0,9 ng TEQ/kg TS (se Norrlin m.fl. 2016 för mer information). Värden som överskrider riktvärdet är markerade i fetstil, och det är tydligt att riktvärdet överskrids kraftigt i åtskilliga av områdena. Med dioxiner avses summan av de sjutton 2,3,7,8-kloretrade dibenso-*p*-dioxinerna och dibensofuranerna.



Figur 7. Maxhalter av kvicksilver (mg/kg TS) i fibersediment i områden undersökta i de två inventeringsprojekten (Apler m.fl. 2014, Norrlin m.fl. 2016 samt opublicerade SGU-data). Det finns inget fastställt riktvärde för kvicksilver i sediment i Sverige. Som jämförelse kan en norsk miljökvalitetsnorm för sediment i kustvatten på 0,52 mg/kg TS användas (Miljödirektoratet 2016). Värden som överskrider riktvärdet är markerade i fetstil, och de högsta värdena förekommer i områden i Västernorrlands län.

Tabell 2. Uppskattade mängder (kg) av utvalda föroreningar i fibersediment (fiberbankar och fiberrika sediment) i de områden som inventerats i de fem Norrlandslänen i samarbetsprojekten mellan SGU och länsstyrelserna. Tabellen baseras på data SGUs inventeringar och länsstyrelsernas riskklassificeringar. För mer information om föroreningarnas ursprung, se Norrlin m.fl. 2016.

Område	Dioxiner (TEQ)	PCB ₇	Summa DDT	HCB	Summa HCH	PAH ₁₆	Hg
Norrbottens län	0,0023	5,8	3,6	0,34	0,088	850	40
Västerbottens län	0,0042	9,7	3,0	0,10	0,13	1700	210
Jämtlands län	0,000020	0,26	0,14	0,27	0,18	200	9,2
Västernorrlands län	0,66	480	66	49	16	53 000	8 300
Gävleborgs län	0,045	10	4,2	4,1	0,21	2 900	390
Totalt (kg)	0,72	510	77	54	17	59 000	8 900

PROCESSER SOM PÅVERKAR SPRIDNING AV FIBRER OCH FÖRORENINGAR

Översedimentation

Processen översedimentation eller överlagring innebär att äldre sediment täcks av yngre partiklar som faller till botten och bygger upp ett nytt sedimentlager. Detta är en naturlig process som inträffar på så kallade ackumulationsbottnar. Om ett förorenat sediment täcks av renare sediment innebär detta att risken för spridning av föroreningar generellt minskar.

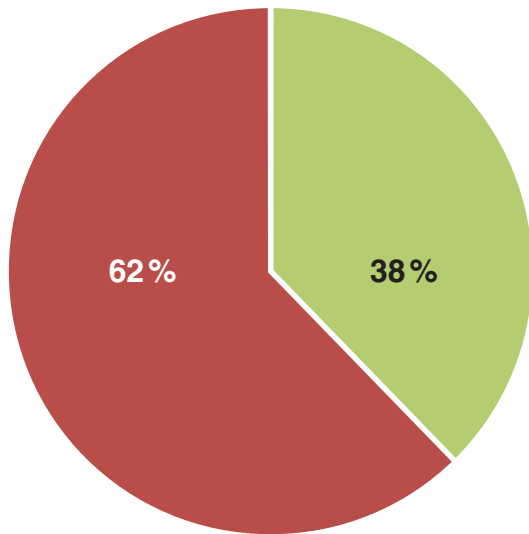
En genomgång av observationer av lagerföljder som SGU gjort i fiberbankar (figur 8) visar att dessa i allmänhet inte är översedimenterade. Detta indikerar att fiberbankar oftast förekommer i lägen där finkorniga sediment normalt inte ackumuleras. Orsaken till detta kan vara fibrernas förmåga att häfta vid varandra och bilda flockar i vattnet vilka genom sin ökande tyngd har sedimenterat till ansamlingar av fibrer i grunda, strandnära och exponerade bottenmiljöer. I de fall där tecken på översedimentation har observerats så är den i regel från 1 till 20 cm mäktig (figur 8). En försvarande omständighet för översedimentationens eventuellt skyddande egenskaper är att fiberhaltiga sediment riskerar att sättas i rörelse av flera olika orsaker vilka redovisas i avsnitten nedan.

Det går därför inte att förutsätta att fiberbankar med tiden kommer att begravas genom översedimentation. Varje fiberbank och varje område med fibersediment måste bedömas var för sig. För att kunna garantera en varaktig översedimentation krävs dessutom mer omfattande plats-specifika undersökningar.

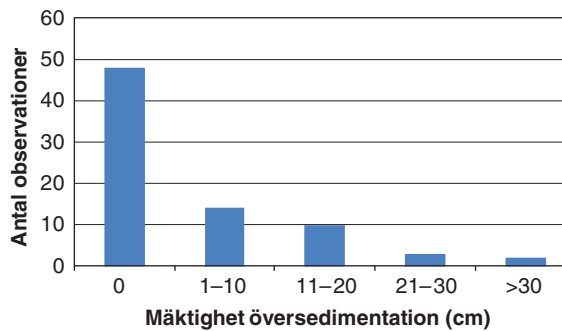
Fiberrika sediment visar däremot oftare tecken på översedimentation än fiberbankarna. Denna skillnad är rimlig eftersom fiberrika sediment ofta återfinns i områden med något större vattendjup (figur 2) där förutsättningarna för en ackumulation av finkorniga sediment är större. Dock är detta överlagrande naturliga sediment inte alltid helt fiberfritt. En möjlig källa till små mängder fibrer i dessa nya överlagrande sediment är de grundare belägna fiberbankarna. Om dessa i någon mån eroderas kommer fibrer som lösgjorts till vattenmassan att kunna förflyttas från grundare till djupare bottnar (se avsnittet *Erosion* nedan).

Statistik om översedimentation på fiberbankar

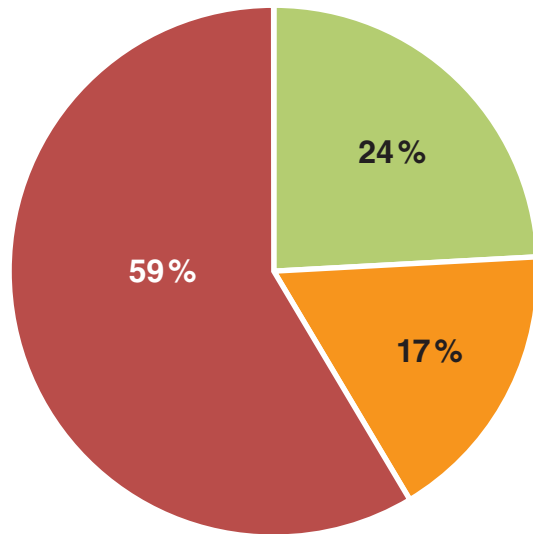
77 observationer i fiberbankar



- 48 observationer (62 %) utan tecken på översedimentation
- 29 observationer (38 %) med tecken på översedimentation



Fördelning av översedimenterade observationer på 29 fiberbankar

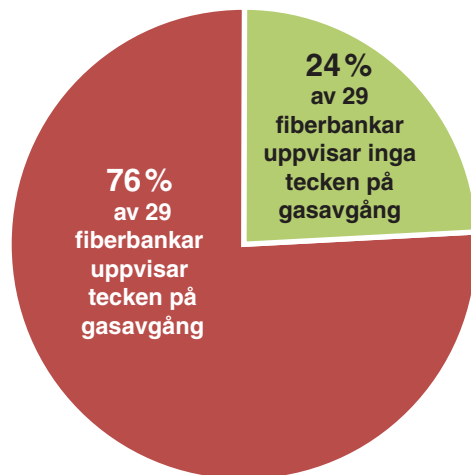
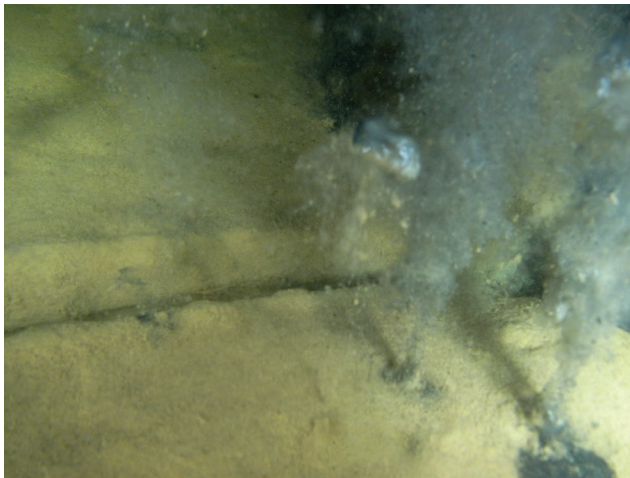


- På 17 fiberbankar (59 %) finns ingen observation som visar tecken på översedimentation
- På 5 fiberbankar (17 %) uppvisar några men inte alla observationer tecken på översedimentation
- På 7 fiberbankar (24 %) uppvisar alla observationer tecken på översedimentation

Figur 8. Tecken på översedimentation saknas på en majoritet av fiberbankarna. I de observationer av lagerföljder där översedimentation förekommer är maktigheten (tjockleken) på denna ganska liten, i regel från några cm upp till några få dm, vilket framgår av stapel-diagrammet till vänster. Cirkeldiagrammet uppe till vänster grundar sig på data från 77 observationer i fiberbankar. Uppe till höger framgår i sin tur hur dessa observationer fördelas på 29 fiberbankar.

Gasavgång

Fibrer är ett organiskt material och när det bryts ned av mikroorganismer konsumeras stora mängder syrgas. Eftersom fibersediment, i synnerhet fiberbankar, innehåller stora mängder fibrer förbrukas det tillgängliga syret i sedimentet och syrebrist uppstår. Nedbrytningen övergår då i syrefria processer, det vill säga rötning, som ger upphov till stora mängder rötgaser. Gasbubblorna som bildas rör sig uppåt genom sedimentet och bryter igenom bottenytan. Denna rörelse underlättar transporten av föroreningar och fibrer genom sedimentet och ut i vattenmassan. Gasbubblorna tränger med lätthet igenom ett renare sedimentskikt som överlagrar fiberbanken (figur 9).

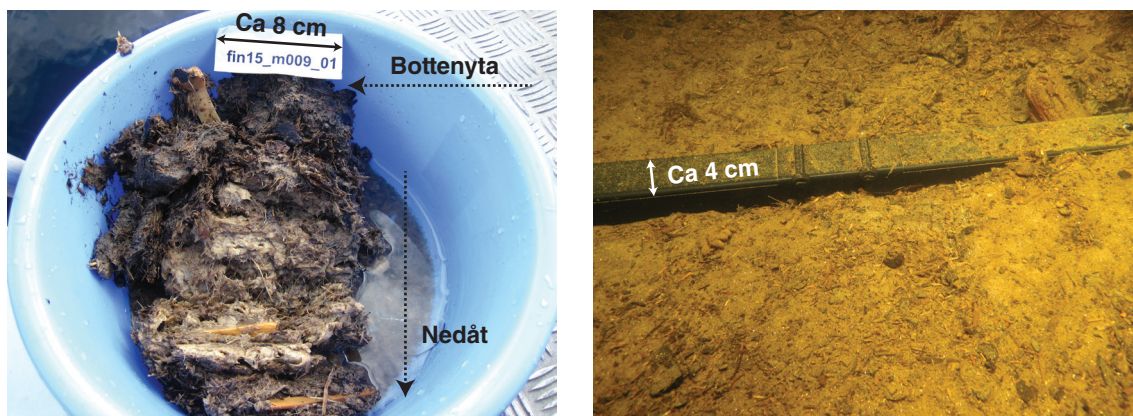


Figur 9. Till vänster: Gasbubblor stiger upp i vattnet ovanför en fiberbank. I bottenytan formas gasavgångskrattor, så kallade *pockmarks*. Till höger: På 22 av 29 fiberbankar (76 %) finns observationer av detta slag som påvisar gasavgång. Att sådana tecken inte observerats på de sju övriga fiberbankarna (24 %) är ingen garanti för att gasavgång aldrig inträffar. Foto: SGU.

Erosion

Fibersediment på grunt vatten, oftast fiberbankar, utsätts för vågerosion. Detta fenomen kan på sikt förstärkas på grund av landhöjning; ett bottenområde där sediment för närvarande ligger still riskerar när det höjs upp till allt grundare nivåer att bli ett område där sediment i framtiden eroderas och därmed sätts i rörelse. Det finns platser där fibrer släppts ut vid kustavsnitt som är mycket utsatta för vågor och vind. Fibrerna har då sannolikt spridits ut över ett stort område av vågor och strömmar, vilket gör att fibersediment inte påträffas trots att fiberutsläpp skett. I de flesta fall är dock de eroderande krafterna inte av den storleksordningen. Då återfinns fiberbanken där den avlagrades men ibland finns det ändå tecken som tyder på att den kan eroderas i ytan och att fibrer därmed sprids från fiberbanken. Även i fiberbankar avsatta vid flodmynningar finns tecken på erosion av fiberbankens yta. Detta visar sig i att fiberbankens ytligaste skikt innehåller grövre partiklar än längre ned i sedimentet, vilket skulle kunna bero på att de fina, lättare partiklarna har eroderats bort från ytan (figur 10).

För att säkert fastställa och kvantifiera denna process krävs platsspecifika och mer omfattande undersökningar än under de inventeringar som genomförts.



Figur 10. De små ljusa massafibrerna som syns i det vertikala snittet genom botten (till vänster) bygger upp denna fiberbank tillsammans med grövre trä- och barkflis. På bankens överyta (till höger) är grövre flisor något anrikade i ytan vilket skulle kunna bero på att finare massafibrer är borteroderade och endast grövre flis finns kvar. Foto: SGU.

Bottenstabilitet

Där fiberhaltiga sediment avsätts på branta bottenar ovanpå naturliga sediment som har låg stabilitet kan den ökande lasten från fibersedimenten utlösa skred. Även fiberbanken i sig kan ha en låg stabilitet. Vid skred riskerar stora mängder fibrer och föroreningar att frigöras till den omgivande vattenmassan. Relativt omfattande skred har observerats i fiberbankar framför allt i Västernorrlands län i anslutning till Höga Kusten, där bottenarna nära stränderna ofta är branta och där de naturliga sedimenten är kända för sin skredbenägenhet (figur 11 och 12). Det finns även indicier på att stabiliteten i själva fiberbanken kan vara så låg att skred utlösts i fiberbanken istället för i underliggande sediment. Eventuell förekomst av grundvatten som strömmar ut genom botten under ett fibersediment är ytterligare en stabilitetssänkande faktor som måste beaktas när man bedömer spridningsrisker. Forskning pågår kring förutsättningarna och mekanismerna för dessa massrörelser i sedimenten, se vidare i avsnittet *Undersökningar kring spridning och påverkan på miljön*.

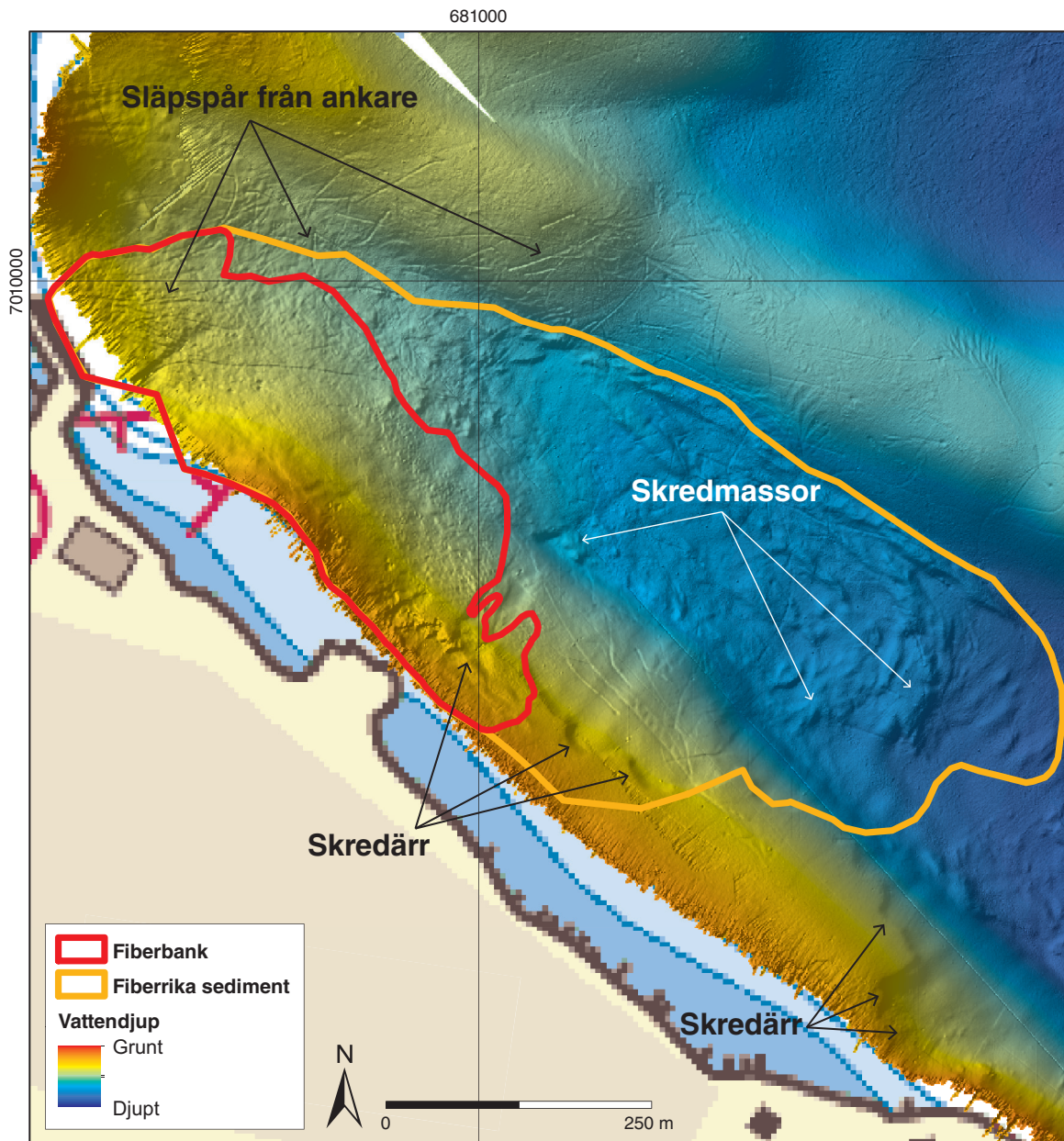
Bioturbation och upptag i näringskedjor

Bioturbation, det vill säga att sedimentlevande djur rör om eller ökar porvattenrörelserna i sedimentet, kan orsaka spridning av fibrer och öka utflödet av föroreningar till vattenmassan (Josefsson m.fl. 2010). Ett ökat utflöde kan ge högre halter av föroreningar i vattenmassan där de kan tas upp av fiskar och andra akvatiska djur. Sedimentlevande djur kan dessutom ta upp föroreningar direkt från det omgivande sedimentet. Föroreningarna kan sedan transporteras vidare och ge höga halter i rovdjur högt upp i näringskedjan.

På grund av syrebristen som generellt råder i fiberbankar kan organismer inte överleva i sedimentet, förutom anaeroba mikroorganismer. Däremot finns det sedimentlevande djur i fiberrika sediment, till exempel havsborstmasken *Marenzelleria spp.* som var vanligt förekommande i fiberrika sediment som undersöktes i Kramforsfjärden i Västernorrland.

Mänskliga aktiviteter

Flera aktiviteter orsakade av människan kan påverka fibersedimenten. Muddring och undervattensbyggnation kan påverka stora volymer. Även fiske med bottenredskap, ankring (figur 12), fartygstrafik och, på grunda bottenar, fritidsbåtstrafik kan röra upp fibrer till vattenmassan och därmed riskera att sprida dem och tillhörande föroreningar. Det är även möjligt att tung trafik och markarbeten på land kan utlösa undervattensskred.



Figur 12. Bottentopografisk bild från ett område med fibersediment invid ett före detta industriområde nära Höga Kusten i norra Ångermanland (Apler m.fl. 2014). Såväl i grunt och brant belägna strandnära fiber-sediment som i naturliga sediment vid stranden längst i sydost framträder skredärr som flackt bågformade hak. På något större vattendjup, lite längre ut från land har skredmassorna tryckts ihop och avsatts i oregelbundet småkuperade kullar och valkar på den i övrigt nästan plana bottenytan. På den västra delen av fiber-banken, i anslutning till en kaj, syns också släppspår från ankare. (Spridningstillstånd för djupdata enligt Sjö-fartsverkets beslut med beteckning 12-02372).

KUNSKAPSBEHOV

Fortsatt inventering

Som framgår av figur 1 och 2 finns det i Sverige omkring 380 platser där verksamheter pågår eller har pågått som kan ha gett upphov till fiberhaltiga sediment. En stor ansamling återfinns i Dalsland och Värmland, de flesta med Vänern eller dess tillflöden som recipienter. I övriga delar av Svealand och Götaland finns ganska jämnt spridda områden med verksamhet som kan ha orsakat fiberutsläpp. Även i Norrland återstår områden att inventera, såväl längs kusten som i inlandet. I Jersak m.fl. (2016a) framgår det att åtgärdsprojekt helt eller delvis i fibersediment har genomförts i åtta områden i landet som helhet. I ytterligare ett antal områden kan sedimentundersökningar ha genomförts i varierande omfattning men yttäckande kartläggningar med hjälp av hydroakustiska mätningar är sannolikt mycket sällsynta. Det är rimligt att anta att det finns många områden med fibersediment som ännu inte har inventerats, och inte på ett systematiskt sätt som är jämförbart mellan områden. Det är därför angeläget att återstående över 300 områden värderas och prioriteras för att inventeras med samma metod som de hittills genomförda i Norrland. Resultaten från en sådan nationell inventering, där alla områden är undersökta och klassificerade på ett likartat sätt, skulle utgöra ett objektiva beslutsunderlag för riskbedömningar och nationella prioriteringar av åtgärder.

Undersökningar kring spridning och påverkan på miljön

En viktig fråga är i vilken grad fibrer och föroreningar sprids från fibersedimentet och vidare i miljön. Det finns indikationer på pågående spridning eftersom fibrer förekommer även i nysedimenterat bottenmaterial (se avsnitten *Översedimentation* och *Erosion*) men mer undersökningar behövs för att kunna bedöma vilken risk fibersedimentet och deras föroreningar utgör för den omgivande miljön och näringskedjorna. I två pågående forskningsprojekt som ska avslutas 2017/2018 undersöks risken för spridning av föroreningar från fibersediment via olika kemiska, biologiska och fysikaliska processer: det TUFFO/Formas-finansierade *TREASURE* under ledning av Uppsala universitet och det Formas-finansierade *REACT* under ledning av Umeå universitet. Statens geotekniska institut har 2017 initierat ett arbete i riktning mot en svensk vägledning för riskbedömning av förorenade sediment, där även fibersediment ingår.

En annan central fråga är föroreningarnas ursprung. För vissa ämnen och ämnesgrupper går det att tydligt koppla föroreningarna till samma verksamhet som orsakat fiberutsläppen, men för andra ämnen är ursprunget oklart, till exempel för vissa bekämpningsmedel som HCH i Jämtlands län (Norrin m.fl. 2016). För att bidra till arbetet med att minska halterna i miljön bör föroreningskällor identifieras och om nödvändigt åtgärdas.

En ytterligare parameter för att underlätta arbetet med riskklassning och riskbedömning av förorenade sediment är att ha nationellt giltiga och vetenskapligt tillförlitliga riktvärden. Detta skulle göra det enklare att avgöra om halterna som uppmäts i sedimentet skulle kunna utgöra en risk för den omgivande miljön.

Möjliga efterbehandlingsåtgärder

Om fibersedimentet bedöms utgöra en så stor risk för den omgivande miljön att det behöver åtgärdas för att minska föroreningsspridningen måste efterbehandling vidtas. De möjliga åtgärderna för förorenat sediment kan delas in i *ex situ*-metoder, då det förorenade sedimentet avlägsnas (ofta genom muddring) och behandlas eller deponeras på en annan plats, och *in situ*-metoder, då sedimentet behandlas på plats (Jersak m.fl. 2016b). *In situ*-metoderna omfattar naturlig självrening (översedimentation), förbättrad naturlig självrening och olika capping-baserade metoder där det förorenade sedimentet täcks med renare material som isolerar, binder eller behandlar föroreningen.

I samband med det senaste inventeringsprojektet i Norrland genomfördes en översiktlig studie av möjliga metoder för efterbehandling av fibersediment (Länsstyrelsen i Gävleborgs län m.fl. 2017b). Studien beskriver möjliga åtgärder utifrån den översiktligt kända situationen i fem fibersedimentområden och kända metoder för efterbehandling av förorenade sediment. Den bygger på antagandet att en riskbedömning har visat att åtgärder behövs och att nu kända åtgärdsmetoder är tillämpliga. Viktiga slutsatser från studien är att valet av metoder kräver en platsspecifik bedömning och att kostnaderna för efterbehandlingar kan bli betydande.

Det är oklart hur bra möjliga efterbehandlingsåtgärder fungerar för fibersediment. Här bedöms fiberbankar vara mer problematiska än fiberrika sediment på grund av sitt högre innehåll av organiskt material. Några egenskaper typiska för detta sediment, i synnerhet lägre densitet och större gasinnehåll, har en stor påverkan på åtgärdernas hållbarhet och effektivitet. Ett exempel är att capping-lager störs och får en ökad genomtränglighet vid stor gastransport. En annan företeelse som behöver undersökas är i vilken grad kvicksilvermetylering påverkas av capping-baserade metoder. Ett treårigt VINNOVA-finansierat forskningsprojekt under ledning av Uppsala universitet, *FIBREM*, har startat 2017 och ska undersöka hur effektiva *in situ*-efterbehandlingsåtgärder är för fibersediment.

SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER

De hittills genomförda inventeringarna har visat att det finns stora arealer med fibersediment längs Norrlands kust och i inlandsvatten, och att de utgör en viktig potentiell källa till spridning av föroreningar i den akvatiska miljön. Flera naturliga eller mänskligt orsakade processer i och på havs- och sjöbotten kan sätta fibersediment i rörelse, till exempel gasavgång, erosion, skred och båttrafik. Detta gör att föroreningar kan sprida sig i miljön och tas upp i näringskedjor. Vid det fortsatta arbetet med förorenade fibersediment är det viktigt att följande slutsatser och rekommendationer beaktas:

- Halterna av flera miljöföroreningar, som dioxiner, kvicksilver och DDT, är mycket höga i fibersediment och det kan befaras att många områden kan utgöra punktkällor och bidra till höga föroreningshalter i levande organismer, till exempel dioxiner i Östersjöfisk. Undersökningar och forskning om spridning av föroreningar från fibersediment till miljön och näringskedjor behöver fortgå tills svar finns på vilka mekanismer som verkar och i vilken omfattning spridning sker.
- Det är angeläget att resterande över 300 platser i landet där fibersediment kan förekomma värderas och inventeras med beprövade metoder. På så vis uppnås jämförbarhet vid nationella prioriteringar av åtgärder.
- Översedimentation av fiberbankar förekommer i regel inte, dessutom riskerar fibrer att grumlas upp av olika processer. Naturlig självrening eller förbättrad naturlig självrening som efterbehandlingsåtgärd för fiberbankar kan därför inte vara en generell metod.
- En vägledning för riskbedömning av förorenade sediment, inklusive fibersediment, behöver utvecklas. Varje område med fibersediment har sin speciella karaktär. Det är därför viktigt med platsspecifika riskbedömningar som grundas på en gemensam vägledning för att öka jämförbarheten mellan olika områden.
- Forskning om hur efterbehandlingsåtgärder kan fungera för fibersediment behöver också fortgå. Detta för att kunna fastställa om de åtgärder som har använts internationellt för förorenade sediment även kan användas för fibersediment eller om anpassningar behöver göras på grund av till exempel stor gasavgång från sedimentet.

- Mänskliga aktiviteter kan sätta fibrer i rörelse. Det finns därför ett behov av att se över om riktlinjer vid bygglov, eller till exempel införande av aktsamhetszoner, behövs vid undervattensbyggnation, båttrafik etc. i områden med fibersediment.

Som ett led i arbetet för att uppnå nationella och internationella miljömål behöver inventering, forskning och åtgärdsstudier vad gäller fibersediment fortsätta med hög ambitionsnivå. Efter som efterbehandlingar av förorenade sediment är komplexa och kan vara kostsamma är det viktigt att kommande beslut och prioriteringar grundas på gedigen kunskap och beprövad erfarenhet. Detta inte minst för att stärka förutsättningarna för att åtgärderna ökar den ekologiska hållbarheten med bibehållen eller ökad ekonomisk och social hållbarhet.

REFERENSER

- Apler, A., Nyberg, J., Jönsson, K., Hedlund, I., Heinemo, S. & Kjellin, B., 2014: Fiberbanksprojektet. Kartläggning av fiberhaltiga sediment längs Västernorrlands kust. *SGU-rapport 2014:16*. Sveriges geologiska undersökning.
- Apler, A. & Nyberg, J., 2011: Metoder för att kartlägga fiberhaltiga sediment. *SGU-rapport 2011:04*. Sveriges geologiska undersökning.
- Drott, A., Lambertsson, L., Björn, E. & Skyllberg, U., 2007: Importance of dissolved neutral mercury sulfides for methyl mercury production in contaminated sediments. *Environmental Science & Technology* 41, 2270–2276.
- EBH-stödet, 2017a: Länsstyrelsernas databas över potentiellt och konstaterat förorenade områden i Sverige. Utdrag 2017-02-22 avseende branschklasserna *Massa- och pappersindustri* samt *Plywood, spånskivetillverkning*.
- EBH-stödet, 2017b: Länsstyrelsernas databas över potentiellt och konstaterat förorenade områden i Sverige. Utdrag 2017-04-11 avseende branschklass *Fiberskivetillverkning*.
- Hall, E.R., 2003: Forest industry aqueous effluents and the aquatic environment. I *Towards Sustainable Management of the Boreal Forest*, red.: P.J. Burton, m.fl., NRC Research Press.
- Jersak, J., Göransson, G., Ohlsson, Y., Larsson, L., Flyhammar, P. & Lindh, P., 2016a: In-situ capping of contaminated sediment. Remedial sediment capping projects, worldwide: A preliminary overview, *SGI Publication 30-4E*, Sveriges geotekniska institut, Linköping.
- Jersak, J., Göransson, G., Ohlsson, Y., Larsson, L., Flyhammar, P. & Lindh, P., 2016b: In-situ capping of contaminated sediments. Contaminated sediments in Sweden: A preliminary review. *SGI Publication 30-2E*, Sveriges geotekniska institut, Linköping.
- Josefsson, S., Leonardsson, K., Gunnarsson, J.S., Wiberg, K., 2010: Bioturbation-driven release of buried PCBs and PBDEs from different depths in contaminated sediments. *Environmental Science & Technology* 44, 7456–7464.
- Lantmäteriet, 2017: GSD-Översiktskartan, vektor <<https://www.lantmateriet.se>>
- Lind, A.-L., 2016: Maringeologiska kartan Norra Bottenhavet, ytsedimentfördelning. *Sveriges geologiska undersökning K 540*.
- Livsmedelsverket, 2017: Dioxiner och PCB. <www.livsmedelsverket.se/livsmedel-och-innehall/oonskade-amnen/miljogifter/dioxiner-och-pcb> Åtkommen: 170510.
- Länsstyrelsen i Gävleborgs, Jämtlands, Västernorrlands, Västerbottens och Norrbottens län samt Sveriges geologiska undersökning, 2017a: *Fiberbankar i Norrland. En sammanställning av kartlagda områden med fiberhaltiga sediment i Gävleborgs, Jämtlands, Västernorrlands, Västerbottens och Norrbottens län*. <www.lansstyrelsen.se/Gavleborg/SiteCollectionDocuments/Sv/miljo-och-klimat/tillstandet-i-miljon/FIN_broschyr_26jan_hogupplöst.pdf> Åtkommen: 170503.

- Länsstyrelsen i Gävleborgs, Jämtlands, Västernorrlands, Västerbottens och Norrbottens län, 2017b: *Fiberbankar i Norrland – Metoder för efterbehandling av fibersediment samt sammanställning av gränsvärden för förorenat sediment. Rapport 2017:1*. <http://www.lansstyrelsen.se/Gavleborg/SiteCollectionDocuments/Sv/miljo-och-klimat/tillstandet-i-miljon/rapport_2017-1_hela.pdf> Åtkommen: 170511.
- Länsstyrelsen Västernorrland & Golder Associates AB, 2016: Metodik för riskklassning av fiberhaltiga sediment. *Diarie-nr: 575-2453-15*. Länsstyrelsen i Västernorrlands län. <<http://www.lansstyrelsen.se/Vasternorrland/Sv/publikationer/2016/Pages/metodik-for-riskklassning-av-fiberhaltiga-sediment.aspx?keyword=riskklassning>> Åtkommen: 170512.
- Miljödirektoratet, 2016: Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota. *M-608*.
- Naturvårdsverket, 1999: Metodik för inventering av förorenade områden. *Rapport nr. 4918*.
- Norrlin, J., Josefsson, S., Larsson, O. & Gottby, L., 2016: Kartläggning och riskklassning av fiberbankar i Norrland. *SGU-rapport 2016:21*. Sveriges geologiska undersökning.
- Oskarshamns kommun, 2017: Sanering av Oskarshamns hamnbassäng. <www.renhamn.se> Åtkommen: 170512.
- Sandström, O., Grahn, O., Larsson, Å., Malmaeus, M., Viktor, T. & Karlsson, M., 2016: Återhämtning och kvarvarande miljöeffekter i skogsindustrins recipienter. Utvärdering av 50 års miljöundersökningar. *Rapport B2272*, 203 s. Institutet för vatten och luftvård (IVL).
- Sjöfartsverket, 2016: Elektroniska sjökort <www.sjofartsverket.se>
- Statistiska Centralbyrån, 2015: Tätorter 2015, polygoner "To2015_SR99TM_region", <http://www.scb.se/sv_/Hitta-statistik/Regional-statistik-och-kartor/Geodata/Oppna-geodata/Tatorter/Ladda-ner-GIS-skikt-med-tatorter/> Åtkommen: 170509.