



Kvicksilver i mark och vatten – hur påverkar skogsbruk och våtmarksrestaurering?

Karin Eklöf, Ulf Skyllberg

I stort sett alla svenska insjövatten uppvisar halter av kvicksilver (Hg) i fisk över gränsvärdet för god ekologisk status enligt EU:s vattendirektiv. Skogsbruksåtgärder kan bidra med förhöjda koncentrationer av Hg.

Den blötare mark som följer på en slutavverkning kan leda till nya utströmningsområden och stående vattensamlingar i körskador med en stor nyproduktion av metylkvicksilver (MeHg). Den hydrologiska kopplingen från MeHg-källan till ytvatten avgör om MeHg når vattendragen.

Skillnader i markens bärighet, topografi, förekomst av våtmarksområden i låglänta områden längs bäckar, med eller utan trädbevuxna buffertzoner, samt skillnader i avverkningsmetoder kan förklara varför olika studier leder till olika resultat.

Våtmarksrestaurering och dikesrensning riskerar att öka exporten av MeHg och oorganiskt Hg till ytvatten. Flera pågående studier syftar till att ytterligare öka kunskapen om åtgärdernas inverkan.

Skogsbruksåtgärder kan sätta fart på det kvicksilver (Hg) som finns i marken och även öka bildningen av metylkvicksilver (MeHg). MeHg är den form av Hg som främst tas upp av levande organismer och anrikas i näringsvävar. I detta nummer av Fakta Skog sammanfattas den aktuella kunskapen om hur skogsbruk och våtmarksrestaurering påverkar om-sättningen av Hg i mark och vatten, bland annat baserat på en workshop som författarna höll om kunskaps-läget kring Hg i mars 2022.



Varför fokusera på kvicksilver vid markanvändning?

Mänskliga aktiviteter, såsom förbränning av fossila bränslen, har sedan industrialiseringens början bidragit till att stora mängder kvicksilver släppts ut i naturen genom atmosfäriskt nedfall och bundits i marken i de boreala skogarna. Marken fungerar som en buffert för ökat nedfall av Hg eftersom den binder kvicksilvret effektivt, men den är också en källa varifrån Hg riskerar att läcka ut till vattenmiljöer. Utsläppen och den atmosfäriska depositionen har minskat under de senaste decennierna, men fortfarande är depositionen större än utflödet via vattendrag eller av gasformigt Hg tillbaka till atmosfären. Fortfarande ökar således upplagringen av Hg i våra skogsekosystem, vilket gör att markanvändning riskerar att mobilisera stora mängder Hg från mark till vatten för lång tid framöver.

Vi beräknar att ca 37 % av det metylkvicksilver (MeHg) som exporteras från omkringliggande mark till svenska sjöar och vattendrag tillförs från olika typer av våtmarker. Av resterande 63 % av MeHg som når svenska ytvatten beräknas 50–56 % komma från skogsmark som inte avverkats de senaste 10 åren och 7–13 % från skogsmark som slutavverkats den senaste 10-årsperioden.



Var på hygget bildas metylkvicksilver?

Minskad evapotranspiration efter en slutavverkning leder till ungefär en fördubbling av vattentillgången, vilket gör marken blötare och grundvattennivåerna högre. I den blöta syrefattiga marken lever anaeroba mikrober som ökar omvandlingen av Hg till MeHg, s.k. metylering. Särskilt mycket MeHg kan bildas i nya utströmningsområden som flyttas uppåt längs nedre delen av sluttningar och vattenmättar jordar som tidigare varit väl-dränerade (figur 1). I körskadad mark kan MeHg-bildningen också bli hög. Vid studier av stubbskörd uppmättes höga koncentrationer av MeHg och en stor förekomst av mikroorganismer som metylerar Hg i de markskador som uppstått. Gropar efter de avlägsnade stubbarna kan vattenfyllas och bilda nya blöta miljöer där stora mängder MeHg bildas. Förutom nybildning av MeHg så ökar risken för upptag hos organismer om MeHg når vattendragen. Den hydrologiska kopplingen mellan platser för nybildning av MeHg och ytvatten avgör därför skogsbrukets inverkan på export av MeHg och upptag i akvatiska näringsvävar.



Figur 1. En stor nybildning av MeHg kan ske i nya utströmningsområden och i stående vattensamlingar efter en avverkning. Om den ökade MeHg-bildningen leder till ökning också i ytvatten, beror på den hydrologiska kopplingen mellan platsen för nybildning av MeHg och vattendraget. Transporten av MeHg kan minskas av en buffertzonen av orörd skog och/eller våtmark runt vattendraget. Topografi, främst lutning, avgör lokalisering och storlek av nya utströmningsområden. Kollage: Karin Eklöf.

Skogsbruk kan öka metylkvicksilver i vatten – men stor variation mellan studier

Även om de flesta studier har visat att skogsbruk ökar mängden MeHg i mark, vatten och vattenlevande djur, så varierar resultaten stort. Det gör det svårt att dra generella slutsatser om storleken på skogsbrukets effekter och vilka åtgärder som effektivast begränsar utflödet av MeHg till vattendrag och sjöar.

I ett nyligen slutfört projekt har vi identifierat områdesfaktorer och hänsynsåtgärder som kan förklara varför olika typer av skogsområden ger olika inverkan på MeHg i vatten efter slutavverkning (Eklöf m.fl. in prep, figur 2). Genom fältobservationer, markprovtagningar och digitala kartanalyser (GIS) av slutavverkade områden i USA,



Figur 2. I branta väl-dränerade sluttningar i Oregon, USA (vänster, foto Joel Segersten), spårades ingen nybildning av MeHg efter slutavverkning. I flacka torvmarker i Finland (höger, foto Karin Eklöf) nybildades MeHg i körskadad mark på hygget, men ökningen var lokal och orsakade ingen ökning av MeHg i det avrinnande dikesvattnet.

Kanada, Norge, Sverige och Finland, så kunde de faktorer som kan påverka avverknings-effekten av MeHg i vattendrag analyseras.

I områden med låg blockighet och tjocka, torvartade humuslager resulterade körning med skogsmaskiner oftare i markskador, vilket var en riskfaktor för ökad MeHg i avrinnande vatten.

Buffertzoner längs med vattendrag, antingen där skogsbolagen lämnat träd eller naturliga våtmarker, tenderar att motverka ökningen av MeHg i vattendrag.

Områdets lutning (topografi) har stor inverkan på storlek och utform-

ning av nya utströmningsområden med en hög nybildning av MeHg. I de **brantaste sluttningarna** (15–20°) i Oregon, USA, var ytavrinningen hög och grundvattenbildningen låg. I sådan topografi bildas få eller inga nya utströmningsområden där MeHg kan bildas. Effekterna i avrinnande vatten blir således små. I **flack terräng med torvbildande skogsmark** i Finland så orsakade slutavverkning stora vattenmättade områden med hög nybildning av MeHg, men den hydrologiska kopplingen till ytvatten var liten eftersom vattnet rörde sig långsamt till vattendragen. Störst risk för ökad MeHg i vattendragen föreligger i **terräng med intermediära lutningar** (1–9°). Här skapas nya utströmnings-

områden i nedre delen av sluttningar som gynnar metylering och som har relativt snabba avrinningsvägar till närliggande ytvatten.

Den största lärdomen från denna studie är att skogsbrukets åtgärder varierar kraftigt mellan olika typer av skogsmark och länder, vilket även får olika konsekvenser på kvicksilverproblematiken. I de studier som följdes upp utfördes avverkningen ibland för hand, ibland transporterades timret ut med hjälp av vinsch, och ibland följdes avverkningen av markberedning vars effekt inte gick att särskilja från avverkningens. Dessa variationer i hur en slutavverkning utförs måste beaktas då skogsbrukets inverkan på MeHg ska bedömas.

Restaurera våtmarker eller rensa diken – risk för mer metylkvicksilver i vatten

Dikad torvmark utgör en betydande andel av Sveriges produktiva skogsmark. Återkommande dikesrensning av dessa områden krävs för att bibehålla eller öka skogstillväxten (figur 3). Åtgärden kan dock påverka mark, vattenkvalitet och kolbalans. Ökad avrinning av Hg och MeHg har pekats ut som en potentiell risk vid dikesrensning.

En alternativ åtgärd är att tidigare dikad mark restaureras till mer naturliga våtmarksförhållanden (se omslaget). Våtmarksrestaurering (återvåtning) uppmuntras från politiskt håll för att minska problem med snabb avrinning, vilket kan öka både vid höga flöden (översvämningar) och låga flöden (torka). Dessutom kan återvåtningen minska koldioxidavgången och gynna den biologiska mångfalden.



Figur 3. Dikesrensning under hösten 2021 i Trollberget utanför Vindeln, Västerbotten. Foto: Karin Eklöf.

Vilka faktorer sätter igång metylkvicksilverbildning och transport till vattendrag vid avverkning?

I vattenmättade, syrefria zoner i marken lever anaeroba mikroorganismer som kan omvandla Hg till MeHg. Metyleringen av Hg gynnas av många grupper av mikroorganismer, t.ex. sulfatreducerande bakterier, järnreducerande bakterier och metanogener. Vid en skogsavverkning upphör trädens transpiration, och mer vatten kommer därför att stanna kvar i marken. Om slutavverkningen ligger i ett område som får stor del av nederbörden som snö så förväntas även snöackumuleringen att öka. Mer vatten i marken ökar andelen syrefria zoner.

Tillgång till olika substrat, t.ex. oxiderat svavel (sulfat) och järn samt färskt organiskt material, i dessa nyligen vattenmättade miljöer stimulerar mikroorganismer som metylerar Hg. Kvaliteten på det organiska materialet är speciellt viktigt, då det utgör en energikälla för de metylerande mikroberna. Eftersom kvaliteten på organiskt material är betydligt bättre i väl-dränerad mark med mårhumuslager än i torvmark så innebär en översvämning av väl-dränerad mark betydligt högre risk för nybildning av MeHg jämfört med torvmark. MeHg transporteras sedan med avrinnande vatten bundet till löst organiskt material (humusämnen). Skogsavverkning kan också frigöra Hg som är bundet i marken. I likhet med MeHg binds Hg till humusämnen och transporteras löst i vatten via de markskador skogsmaskiner orsakar, via diken eller andra ytliga grund- och ytvattenflöden.

Återvätning som blötlägger torvmark riskerar dock att öka den mikrobiella bildningen av MeHg.

Tidigare studier har visat att näringsstatus och vegetationssammansättning måste beaktas när risken för MeHg vid våtmarksrestaurering bedöms. Öppna vattenspeglar som skapas vid återvätning är gynnsamt eftersom MeHg löst i vatten bryts ner under inverkan av solljus.

Klibbalkärr har lyfts fram som en bra miljö för restaurering ur ett MeHg-perspektiv, då kärren bryter ner MeHg. Dessutom är alkärr ofta belägna långt nedströms i avrinningsområden där de kan utgöra skydd för sjöar mot MeHg producerat i uppströms belägna våtmarker eller avverkningstrakter. I dagsläget sker forskning i Sverige som syftar till att öka kunskapen om dessa aktiviteters bidrag till MeHg i akvatiska ekosystem och var i landskapet det är mest fördelaktigt att restaurera våtmarker.

Framtida kunskapsluckor kring markanvändning och kvicksilver i skogsområden

För att kunna förklara och kvantifiera olika markanvändningars konsekvenser för upptag och anrikning av MeHg i näringsvävar, så behövs mer kunskap om markanvändningens påverkan i tid och rum. Flertalet studier har utvärderat en aktivitet något år innan och något, eller några få, år efter aktiviteten. Dessutom har de flesta

studier utförts i direkt anslutning till aktiviteten, och vi vet väldigt lite om hur eventuellt förhöjda koncentrationer av MeHg avtar i nedströms belägna akvatiska ekosystem. Skogen står också inför många utmaningar i ett förändrat klimat – utmaningar som kräver klimatanpassningar. Mer forskning behövs därför kring hur vi kan begränsa nybildning och export av MeHg till ytvatten i framtidens brukade skog.



Figur 4. Kvicksilver lagrat i marken riskerar att föras ut med slamtransport och vattenavrinning till sjöar och vattendrag vid en avverkning eller efter andra körskador. Foto: Ulf Skyllberg.

Finansierat av: Formas (2017-00974 och 2020-00962), Naturvårdsverket (NV-08138-18) och Skogssällskapet (2021-921).

Ämnesord

avverkning, dikesrensning, kvicksilver, metylkvicksilver, våtmarker, våtmarksrestaurering

>> Läs mer

Eklöf, K., Bishop, K., Bertilsson, S., Björn, E., Buck, M., Skyllberg, U., Osman, O.A., Kronberg, R.-M., Bravo, A.G. 2018. Formation of mercury methylation hotspots as a consequence of forestry operations. *Science of The Total Environment* 613, 1069-1078.

Eklöf, K., Lidskog, R., Bishop, K. 2016. Managing Swedish forestry's impact on mercury in fish: Defining the impact and mitigation measures. *Ambio* 45 (2), 163-174.

Kronberg, R.-M., Jiskra, M., Wiederhold, J. G., Björn, E., Skyllberg, U. 2016. Methyl mercury formation in hillslope soils of boreal forests: The role

of forest harvest and anaerobic microbes. *Environmental Science & Technology* 50 (17), 9177-9186.

Kronberg, R.-M., Drott, A., Jiskra, M., Wiederhold, J.G., Björn, E., Skyllberg, U. 2016. Forest harvest contribution to boreal freshwater methyl mercury load. *Global Biogeochem. Cycles* 30, 825-843.

Tjerngren, I., Meili, M., Björn, E., Skyllberg, U. 2012. Eight boreal wetlands as sources and sinks for methyl mercury in relation to soil acidity, C/N ratio, and small-scale flooding. *Environmental Science & Technology* 46 (15), 8052-8060.

Författare



Karin Eklöf
Forskare, Inst. för vatten och miljö, SLU, Box 7050, 750 07 UPPSALA.
karin.eklof@slu.se



Ulf Skyllberg
Professor, Inst. för skogens ekologi och skötsel, SLU, 901 83 Umeå.
ulf.skylberg@slu.se



Fakta skog

ISSN: 1400-7789. Produktion: SLU, Fakulteten för skogsvetenskap 2022. Ansvarig utgivare: goran.ericsson@slu.se. Redaktör: mats.hannerz@silvinformation.se. Illustratör: Fredrik Saarkoppel, Kobolt Media AB.

