

Automatiska mätningar av löst organiskt material i Mälarens inflöden

av

Gesa Weyhenmeyer



Sävjaån; Foto: Gesa Weyhenmeyer

Institutionen för miljöanalys
SLU
Box 7050
750 07 Uppsala
Tel. 018-67 31 10
<http://www.ma.slu.se>

INNEHÅLL

FÖRORD	4
SAMMANFATTNING	5
SYFTE	5
BAKGRUND	6
INLEDNING	7
METODER	8
<u>MÄTSTATIONER</u>	8
<u>MÄTUTRUSTNING</u>	8
<u>MÄTNINGAR</u>	10
<u>DATABEARBETNING</u>	11
RESULTAT	12
<u>VAD MÄTS MED CDOM FLUOROMETERN OCH MED TRANSMISSOMETERN?</u>	12
<u>HUR VARIERAR MÄNGDEN LÖST ORGANISKT MATERIAL UNDER ÅRET?</u>	16
<u>HUR VARIERAR DEN TOTALA MÄNGDEN SUSPENDERAT MATERIAL UNDER ÅRET JÄMFÖRT MED LÖST ORGANISKT MATERIAL?</u>	20
<u>VILKA FAKTORER STYR MÄNGDEN LÖST ORGANISKT MATERIAL?</u>	22
<u>VILKA VÄDERFÖRHÅLLANDEN GER STÖRSTA MÄNGDEN LÖST ORGANISKT MATERIAL?</u>	25
<u>KAN VI FÖRVÄNTA OSS EN ÖKNING I MÄNGDEN LÖST ORGANISKT MATERIAL I FRAMTIDEN?</u>	26
SLUTSATSER	29
REFERENSER	30

FÖRORD

På uppdrag av Mälarens vattenvårdsförbund, StockholmVatten AB och Norrvatten har institutionen för miljöanalys i Uppsala under 2003 och 2004 utfört automatiska mätningar av löst organiskt material med hjälp av en CDOM fluorometer i Mälarens inflöden Hedströmmen och Sävjaån/Fyrisån. Dessutom mätes den totala mängden partikulärt material med hjälp av en transmissometer (660 nm). Projektet var delvis även finansierad av EU- projektet CLIME (Climate and Lake Impacts in Europe). För EU-projektet stått ytterligare automatiska mätningar av löst organiskt

material i sjön Erkens inflöde Kristineholm till förfogande som i denna rapport kunde jämföras med mätningar i Mälarens inflöden.

Huvudansvarig för rapporten var Gesa Weyhenmeyer. Installationen och underhållning av de automatiska mätstationerna sköttes av Don Pierson, Björn Mattsson, Thomas Jansson, Irina Persson, Hampus Markensten, Karen Moore och Thorben Römer. Manuella mätningar utfördes av Erken laboratoriet, Norrvatten och StockholmVatten AB.

SAMMANFATTNING

Organiskt material som tillförs Sveriges tredje största sjö Mälaren övervakades kontinuerligt (mätningar en gång per timme) i två utvalda inflöden i Mälarens västra och norra del med hjälp av två CDOM ("coloured dissolved organic matter") fluorometerinstrument under perioden 2003-2004. Dessutom övervakades den totala mängden suspenderat material med hjälp av två transmissometerinstrument i de två inflöden. Mätningarna visade tydligt att mängden löst organiskt material som tillförs Mälaren är störst i samband med vintervattenflöden och vårflödet. Det finns ett relativt bra samband mellan det genomsnittliga vintervattenflöde och halten löst organiskt material i Mälaren. Även temperatur är en viktig faktor som styr mängden löst organiskt material. Mängden minskar kontinuerligt med ökande

temperaturer. Är dock vattenflödet starkt varierande döljs temperatureffekten och effekten av vattenflödet dominerar. Löst organiskt material ökar först men minskar sedan med ökande vattenflödet p.g.a. en utspädningseffekt. Det betyder i så fall att långvariga regnperioder leder till högre halter löst organiskt material än korta, mycket intensiva regnperioder. Enligt SWECLIMS klimatscenario kommer långvariga måttligt höga vattenflöden under vintern att öka ytterligare. Därmed innebär detta sannolikt att även mängden löst organiskt material i Mälaren kommer att öka. En mycket grov beräkning visar att en 12 % ökning i vintervattenflöde vilket SWECLIM simulerar för Mälarens avrinningsområden för framtiden, kommer att ge en genomsnittlig ökning i mängden löst organiskt material av ca 6,5 % i Mälarens bassäng Ekoln.

SYFTE

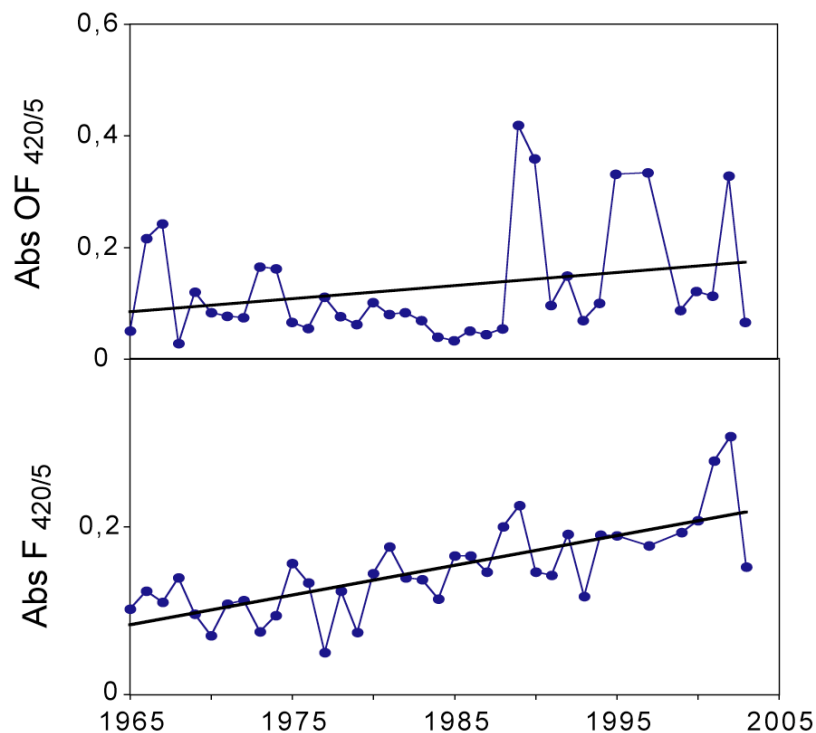
Syftet med detta projekt var att installera två automatiska mätstationer i Mälarens inflöden Hedströmmen och Sävjaån/Fyrisån för att kontinuerligt kunna mäta hur mycket löst organiskt material transporteras in i Mälaren. Det finns ingen erfarenhet av att mäta löst organiskt

material i Mälaren med denna teknik, hittills har klassiska mätmetoder som UV, COD_{Mn} använts. Ett av syftena med detta projekt var därför också att utvärdera användbarheten av CDOM instrumenten i denna typ av projekt.

BAKGRUND

Mälarens vatten har blivit mer färgat och grumligare (figur 1; Johansson 2003, Tilja 2004), och en tydlig ökning av organiskt material mätt som TOC och COD_{Mn} halterna har observeras under de senaste åren, särskilt i Mälarens västra del. Dessa ökningarna kulminerade i slutet på 2000 och under hela året 2001. Orsaken till detta var troligen en extremt nederbördsrik period under 2000, där månadsnederbörden i juli, november och december översteg 100 mm. En sådan vattenkvalitetsförändring orsakade problem för Stockholmregionens dricksvattenrening (Wallin och Weyhenmeyer 2000, Wallin och Weyhenmeyer 2001, Weyhenmeyer m. fl.

2004). Enligt de nyaste regionala klimatmodellerna är sannolikheten för ökad nederbörd och avrinning mycket stort i Sverige (Bergström m.fl. 2001, Christensen m.fl. 2001, Rummukainen m.fl. 2001). Därmed ökar också risken för en ytterligare ökning av vattenfärgen i Mälaren. En fortsatt kvalitetsförsämring av Mälarens vatten med avseende på färg, grumlighet och löst organiskt material ställer helt nya krav på reningsteknik vid vattenverken som t.ex. Lovö-, Norsborg- och Görvälnverket. Därför inleddes detta projekt med automatiska vattenfärgsmätningar för att bättre kunna förstå orsakerna för Mälarens vattenfärgsökning.

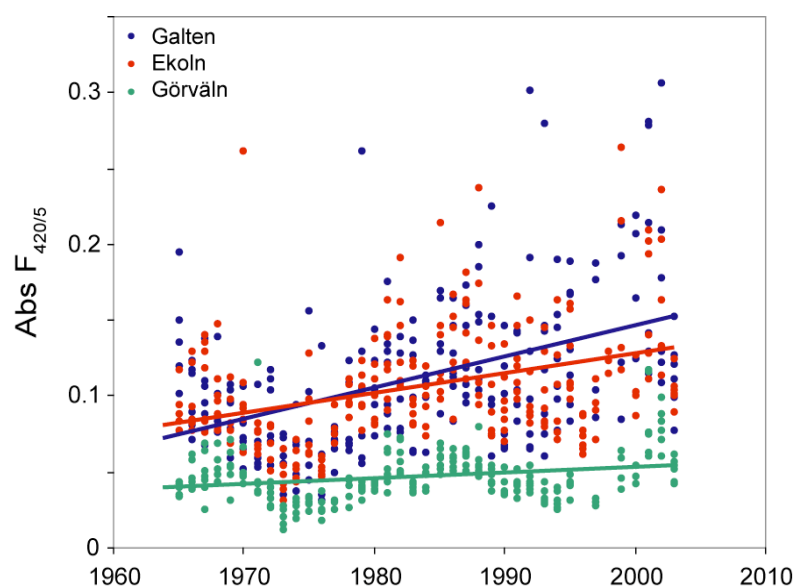


Figur 1. Grumlighet och vattenfärg, mät som absorbans på ofiltrerad vatten i en 5 cm kuvett vid 420 nm våglängd ($Abs OF_{420/5}$), och bara vattenfärg, mät som absorbans på filtrerad vatten ($0,45 \mu m$ membranfilter) i en 5 cm kuvett vid 420 nm våglängd ($Abs F_{420/5}$) i Mälarens bassäng Galten i ytvatten i mars från 1965 till 2003. Linjerna visar en linjär positiv trend i vattenfärg över tid.

INLEDNING

Vattenfärgen bildas bland annat av akvatiska humusämnen vilka är en del av det lösta organiska material som förekommer mer eller mindre i flesta ytvatten. Höga humushalter återfinns oftast i sådana system som har ett avrinningsområde dominerat av myr och skog (Steinberg 2003). I Mälarens västra del har vattenfärgen alltid varit relativt hög eftersom en stor del av tillrinningen kommer från skogsdominerade områden. I Mälarens östra och centrala delar däremot, vid t.ex. Görväln, är vattenfärgen vanligtvis lägre (figur 2). Detta beror på en utspädningseffekt och på en biologisk och fotokemisk nedbrytning av det lösta organiska material som transporteras in i den centrala delen (Steinberg 2003). Året 2001 nådde dock koncentrationerna av löst organiskt material och särskilt humus höga värden även i Mälarens centrala delar. Konsekvenserna av sådana höga halter är flera (Steinberg 2003): Humusämnen påverkar energibalansen i ett ekosystem

och de är också viktiga för transporten och biotillgängligheten av oorganiska och organiska miljögifter genom att dessa binds till humösa ämnen. Humusämnen förändrar vattnets ljusklimat och därmed algförekomsten. Dessutom har vissa humusämnen en stor påverkan på dricksvattenkvaliteten genom att de kan reagera med klor, som tillsätts till dricksvatten för desinficering, och bilda klorerade ämnen som kan vara cancerframkallande (Nikolaou och Lekkas 2001, Reckhow och Singer 1990). Humus kan även utnyttjas av bakterier och svampar, vilket kan bidra till en kraftig tillväxt av mikroorganismer i vattenledningsnätet. Detta kan i sin tur medföra sekundära problem med bakterietillväxt och obehaglig smak och lukt (Löfgren m. fl. 2003). Ökade humushalter i Mälarens vatten skulle därför leda till mer komplicerade och därmed dyrare vattenreningsprocesser.



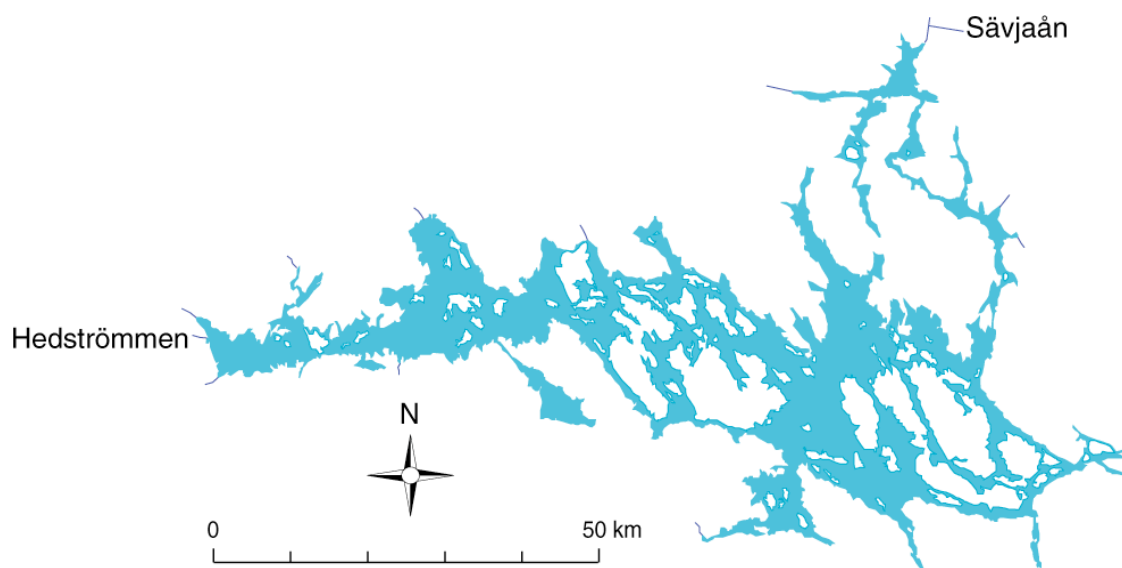
Figur 2. Vattenfärg, mät som absorbans på filtrerad vatten (0,45 μ m membranfilter) i en 5 cm kuvett vid 420 nm våglängd ($Abs F_{420/5}$) i Mälarens bassänger Galten, Ekoln och Görväln i ytvatten från 1965 till 2003. Linjerna visar en linjär trend i vattenfärg över tid.

METODER

Mätstationer

I augusti/september 2003 installerades två automatiska mätstationer vid Mälaren, en i Hedströmmen och en i Sävjaån, vilket är ett tillflöde till Fyrisån (figur 3). Platserna representerar den västra och norra delen av Mälarens avrinningsområden och valdes för att kunna få en uppfattning hur mycket löst organiskt material transporteras in till

Mälarens östra och centrala delar där dricksvatten tas ut. Mälarens östra centrala delar får ca 70 % vatten från väst och ca 30 % från norr. Dessutom installerades en automatisk mätstation i Kristineholm vilket är ett inflöde till den 24 km² stora sjön Erken i Uppland.



Figur 3. Sjö Mälaren och lokaler av de två automatiska mätstationerna Hedströmmen och Sävjaån.

Mätutrustning

Både i Hedströmmen och Sävjaån installerades en CDOM ("colored dissolved organic matter") fluorometer (excitation vid våglängd 370 nm, emission vid våglängd 460 nm; figur 4) och en

transmissometer (våglängd 660 nm; figur 5) i ett litet hus som tillhör SMHI (figur 6). En vattenpump installerades 1 m ovanför botten i ån. Varannan vecka rengjordes mätutrustningen manuellt.



Figur 4. CDOM fluorometer som installerades i Hedströmmen, Sävjaån och Kristineholm.



Figur 5. Transmissometer som installerades i Hedströmmen, Sävjaån och Kristineholm.



Figur 6. Installationen av hela mätutrustningen i SMHI's hus.

Mätningar

De automatiska mätstationerna mätte en gång per timme vattenflöde, vattentemperatur, CDOM fluorescens och turbiditet vid 660 nm, genom att pumpa vatten från ån in i det lilla huset där mätutrustningen befann sig. Mätresultaten

sparades i en datalogger som tömdes en gång per vecka. Resultaten kunde sedan kontrolleras på

<http://www.kungsor.se/~segels/VaderMast/Granska.htm>

Flera problem uppstod i början och under mätningarnas lopp:

1. "Fouling", dvs. förorening av CDOM fluorometern. Efter rensning minskade CDOM fluorescensen mycket snabbt, särskilt i Sävjaån. Föroreningen var inte biologiskt men orsakades förmodligen av ett mycket fint sediment. Vi försökte höja intagsnivån till vattenpumpen så att mindre sedimentet skulle pumpas upp.
2. Bromidlösningen som behövs för korrekta transmissometermätningar tog slut.
3. Läckage. Det förekom att vatten pumpades på ett felaktigt sätt så att mätningar inte kunde genomföras.
4. En CDOM fluorometer gick sönder och behövdes skicka in för reparation. Under denna tid kunde inga mätningar utföras i Sävjaån.

Vattenprover

För att kunna bedöma tillförlitligheten av de automatiska mätningarna togs vattenprover i Hedströmmen, Sävjaån och Kristineholm varannan vecka från december 2003 till juni 2004. Ett

vattenprov togs innan att mätutrustningen rengjordes, ett vattenprov togs därefter. Följande analyser av vattenproverna utfördes:

1. halten organisk kol (TOC)
2. halten löst organisk kol (DOC)
3. kemisk syreförbrukning (COD_{Mn})
4. halten suspenderad material (SS)
5. halten oorganisk material, dvs. glödningsförlust (SPIM)
6. vattenfärg, mät som absorbans på filtrerad vatten ($0,45 \mu m$ membranfilter) i en 5 cm kuvett vid 420 nm våglängd ($Abs F_{420/5}$)
7. grumlighet, mät som absorbans på ofiltrerad vatten i en 5 cm kuvett vid 420 nm våglängd ($Abs OF_{420/5}$)

Dessutom togs vattenprover under korta tidsperioder (antingen en gång per dag under 24 dagar eller en gång per timme

under 24 timmer) med en automatisk vattenprovtagare (figur 7) från juli till oktober 2004.



Figur 7. Automatisk vattenprovtagare.

Databearbetning

En del mätningar visade orimliga värden p.g.a. problem med utrustningen. CDOM mätningar togs bort när ett värde skilde sig från nästa värde med mer än $30 \mu g l^{-1}$, dvs. när värdeförändringar från en timme till nästa timme var mer än $30 \mu g l^{-1}$.

c-värden mätningar togs bort när ett värde skilde sig från nästa värde med en faktor mer än två, dvs. när värdeförändringar från en timme till nästa timme skilde sig mer än en faktor två.

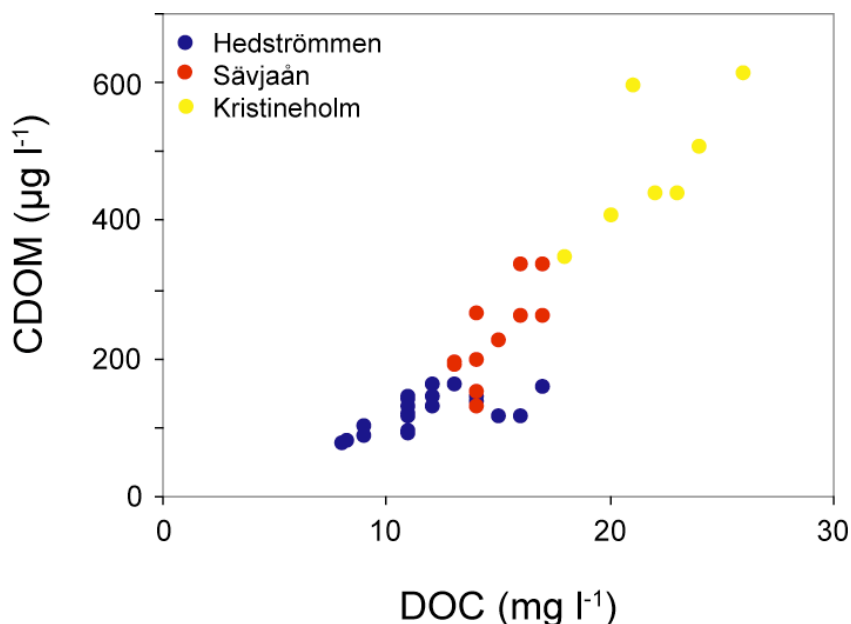
RESULTAT

Vad mäts med CDOM fluorometern och med transmissometern?

CDOM fluorometer

CDOM fluorescensen har i andra undersökningar visat sig bra relaterad till organiskt material, mätt som DOC, COD_{Mn} och TOC. I denna undersökning så var sambandet i Hedströmmen, Sävjaån och Kristineholm (figurer 8-10 samt tabell 1-3) mycket varierande. Det bästa sambandet erhöles i Sävjaån (tabell 1-3). Det finns även en möjlighet att sambandet kan variera mellan olika årstider. Detta kan vi dock inte säkerställa med våra data eftersom mätningar av DOC, COD_{Mn} och TOC under årets lopp var för få. Teorin av varierande samband mellan CDOM fluorescensen och en vattenparameter under ett år bekräftas dock med vattenprover från den automatiska vattenprovtagare i Kristineholm. Här var

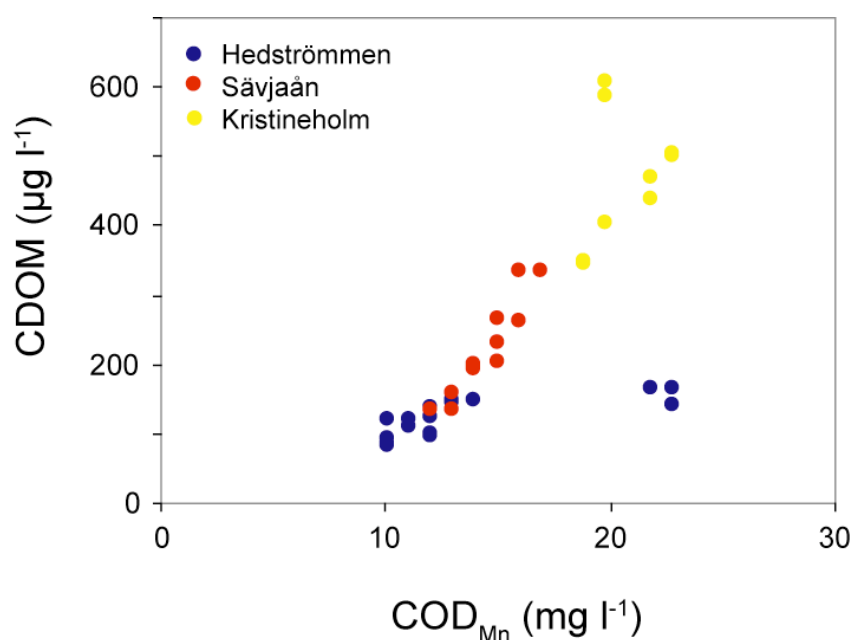
vattenfärgen, mätt som Abs F_{420/5} en gång per dag, olika relaterad till CDOM fluorescensen vid tre tillfällen under perioden juli till oktober 2004. Vid första tillfället i juli/augusti var sambandet mellan Abs F_{420/5} och CDOM fluorescensen $y = 1009x + 68$ och i högsta grad signifikant med $r^2 = 0,94$ och $n = 24$, vid andra tillfället i augusti/september var sambandet inte alls signifikant och vid tredje tillfället i september hade sambandet en helt annan ekvation och r^2 -värden var bara 0,40. Att sambandet mellan CDOM fluorescensen och en vattenparameter varierar mellan stationerna och mellan säsongerna kan bero på att kvalitén av löst organiskt material varierar mellan stationerna och även mellan säsongerna.



Figur 8: Samband mellan manuella mätningar av löst organisk kol (DOC) och automatiska mätningar av CDOM fluorescensen i tre inflöden från december 2003 till juni 2004.

Tabell 1. Samband mellan CDOM fluorescensen och halten löst organisk kol (DOC) (regression av CDOM på DOC) i tre inflöden från december 2003 till juni 2004.

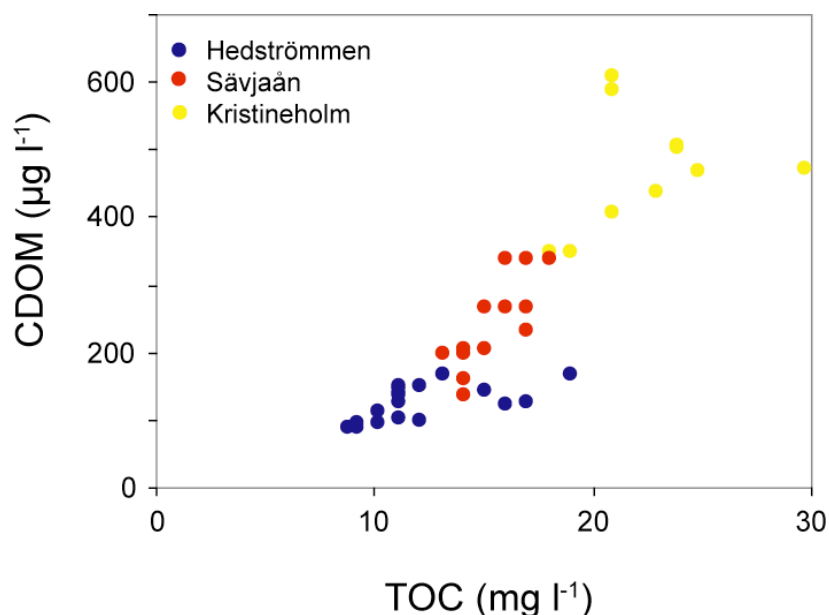
Inflöde	Ekvation regression	r ² -värde	p-värde	Antal mätningar
Hedströmmen	7,1 x + 42	0,39	< 0,01	23
Sävjaån	41,5x - 388	0,67	< 0,01	16
Kristineholm	27,6 - 133	0,62	< 0,01	12
Alla tre tillsammans	30,2x - 218	0,85	< 0,01	51



Figur 9: Samband mellan manuella mätningar av den kemiska syreförbrukningen (COD_{Mn}) och automatiska mätningar av CDOM fluorescensen i tre inflöden från december 2003 till juni 2004.

Tabell 2. Samband mellan CDOM fluorescensen och den kemiska syreförbrukningen (COD_{Mn}) (regression av CDOM på COD_{Mn}) i tre inflöden från december 2003 till juni 2004.

Inflöde	Ekvation regression	r ² -värde	p-värde	Antal mätningar
Hedströmmen	4,4x + 65	0,52	< 0,01	23
Sävjaån	48,2x - 475	0,87	< 0,01	16
Kristineholm	ej signifikant		> 0,05	12



Figur 10. Samband mellan manuella mätningar av organisk kol (TOC) och automatiska mätningar av CDOM fluorescensen i tre inflöden från december 2003 till juni 2004.

Tabell 3. Samband mellan CDOM fluorescensen och halten organisk kol (TOC) (regression av CDOM på TOC) i tre inflöden från december 2003 till juni 2004.

Inflöde	Ekvation regression	r ² -värde	p-värde	Antal mätningar
Hedströmmen	5,1x + 63	0,25	< 0.01	22
Sävjaån	40,2x - 383	0,68	< 0.01	16
Kristineholm	ej signifikant		> 0.05	12

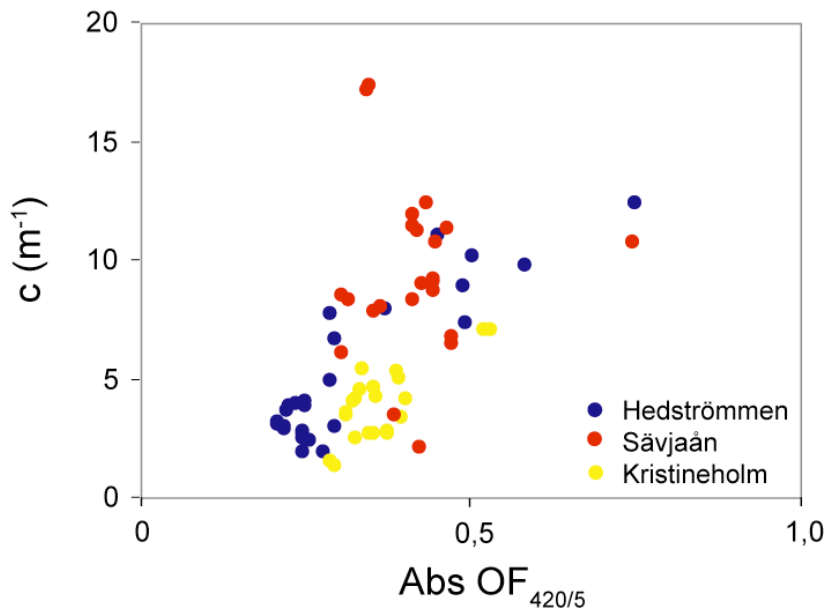
Det förekom även ett svagt samband mellan CDOM fluorescensen och vattenfärgen, mät som absorbans på

filtrerad vatten under en ett års period, men bara i Hedströmmen.

Transmissometer

I jämförelse med mätningar av CDOM fluorescensen är transmissometermätningar vid 660 nm (c) generellt mindre bra relaterad till en manuellt mät vattenparameter. Detta beror förmodligen på de stora variationer som c kan uppvisa. Liksom med CDOM fluorescensen varierar sambanden mycket mellan de tre olika

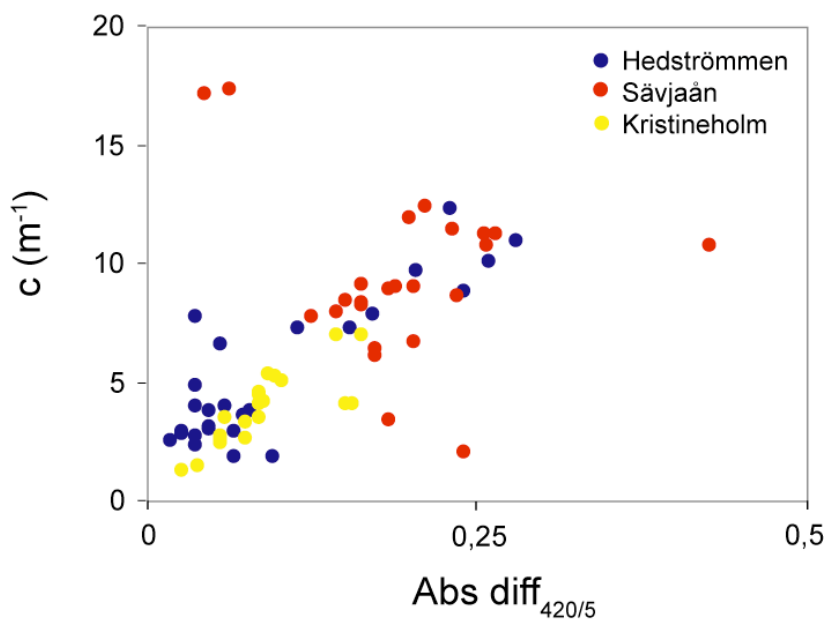
inflöden (figurer 11-13, tabeller 4-6). Det bästa sambandet mellan c och en vattenparameter som återspeglar mängden suspenderat material observerades i Hedströmmen (tabell 4). Även generellt var de olika vattenparameter bäst relaterad till c i Hedströmmen. Inga samband observerades i Sävjaån.



Figur 11. Samband mellan manuella mätningar av grumlighet och vattenfärg ($Abs\ OF_{420/5}$) och automatiska transmissometermätningar (c) i tre inflöden från december 2003 till juni 2004.

Tabell 4. Samband mellan transmissometermätningar (c) och grumlighet och vattenfärg ($Abs\ OF_{420/5}$) (regression av c på $Abs\ OF_{420/5}$) i tre inflöden från december 2003 till juni 2004.

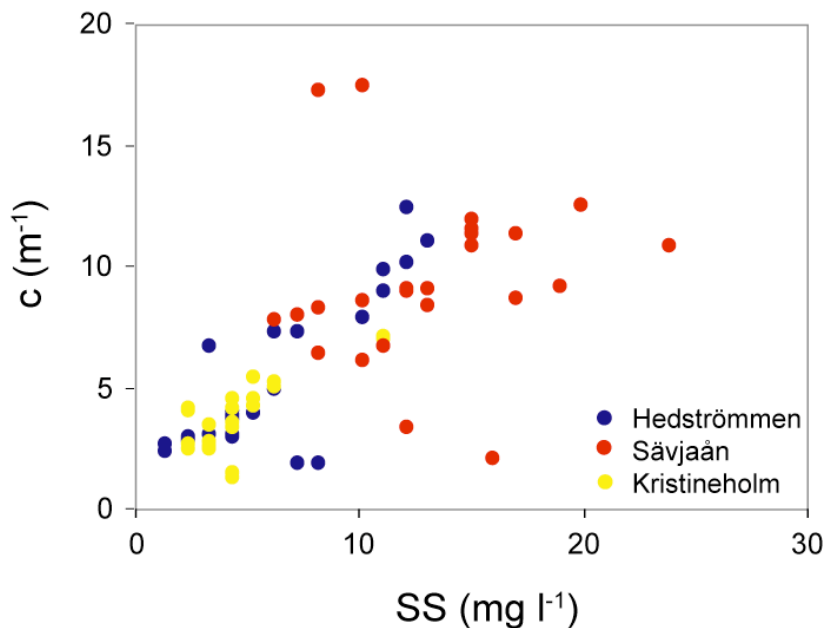
Inflöde	Ekvation regression	r^2 -värde	p-värde	Antal mätningar
Hedströmmen	$19,9x - 1,2$	0,78	$< 0,01$	27
Sävjaån	ej signifikant		$> 0,05$	25
Kristineholm	$18,6x - 2,9$	0,57	$< 0,01$	22



Figur 12. Samband mellan manuella mätningar av grumlighet ($Abs\ diff_{420/5}$) och automatiska transmissometermätningar (c) i tre inflöden från december 2003 till juni 2004.

Tabell 5. Samband mellan transmissiometermätningar (c) och grumlighet (Abs diff_{420/5}) i tre inflöden från december 2003 till juni 2004. (regression av c på Abs diff_{420/5})

Inflöde	Ekvation regression	r ² -värde	p-värde	Antal mätningar
Hedströmmen	33,4x + 2,2	0,74	< 0.01	27
Sävjaån	ej signifikant		> 0.05	25
Kristineholm	32,6x + 1,1	0,65	< 0.01	22



Figur 13. Samband mellan manuella mätningar av suspenderat material (SS) och automatiska transmissiometermätningar (c) i tre inflöden från december 2003 till juni 2004.

Tabell 6. Samband mellan transmissiometermätningar (c) och halten suspenderat material (SS) (regression av c på SS) i tre inflöden från december 2003 till juni 2004.

Inflöde	Ekvation regression	r ² -värde	p-värde	Antal mätningar
Hedströmmen	0,73x + 1,0	0,70	< 0.01	27
Sävjaån	ej signifikant		> 0.05	25
Kristineholm	0,50x + 1,0	0,62	< 0.01	22

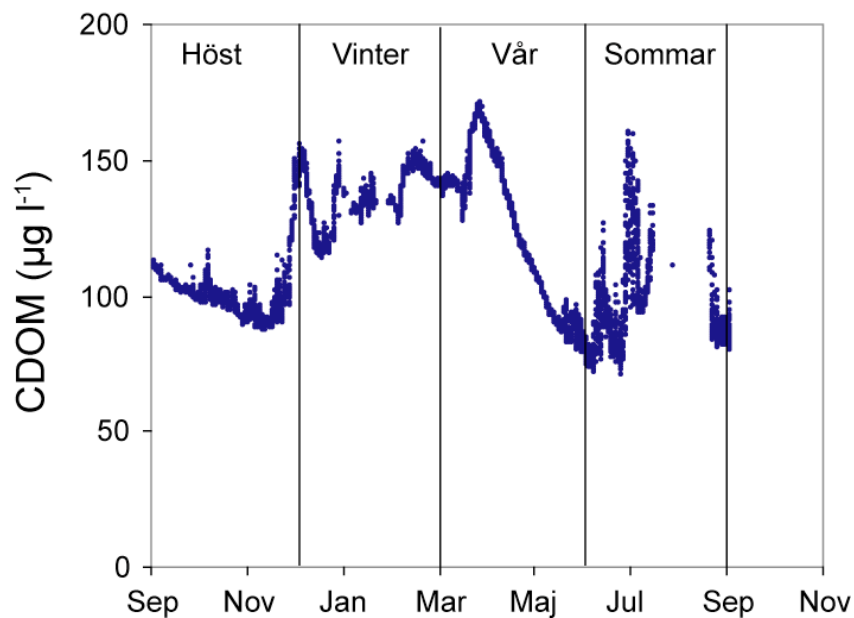
Hur varierar mängden löst organiskt material under året?

Beroende på tekniska problem och en del osäkra mätvärden har det varit svårt att utvärdera mätresultaten, dvs. mängden organiskt material mätt som CDOM, från de olika stationerna. Vi bedömer att

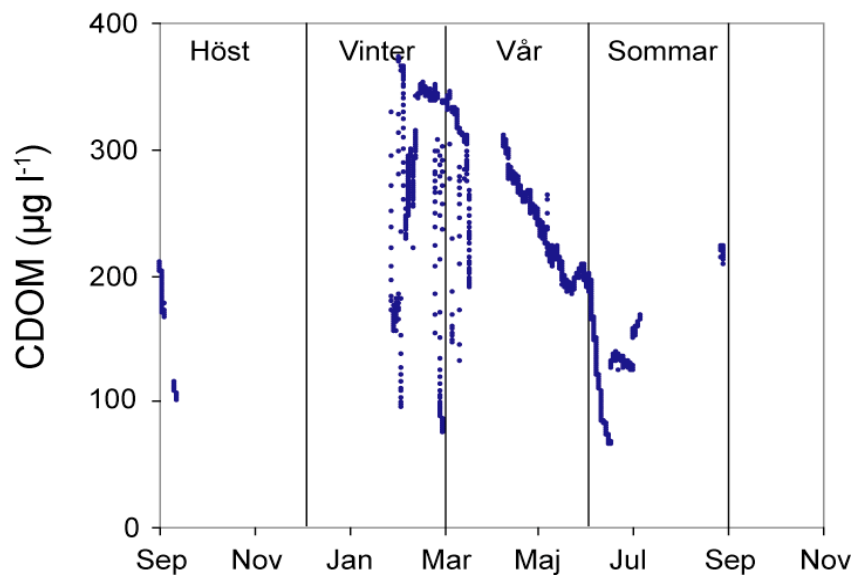
mätresultaten från Hedströmmen är de mest tillförlitliga och i våra statistiska utvärderingar använder vi oss i huvudsak av mätdata från denna station. Men vi visar även resultaten från de övriga stationerna,

Kristineholm och Sävjaån, eftersom resultaten bedöms ändå vara relevanta då variationerna i vattenflöde, vatten-

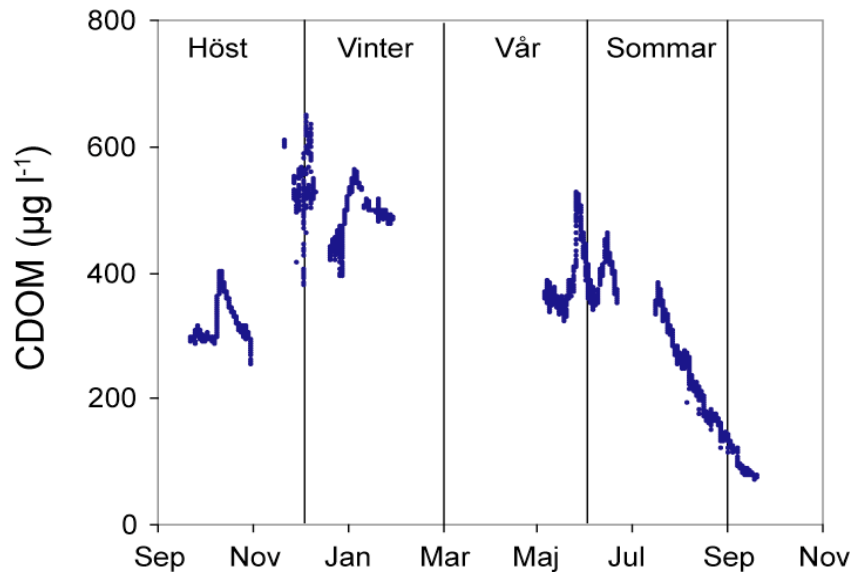
temperatur och även CDOM fluorescensen följer varandra i de tre inflöden (figurer 14-18).



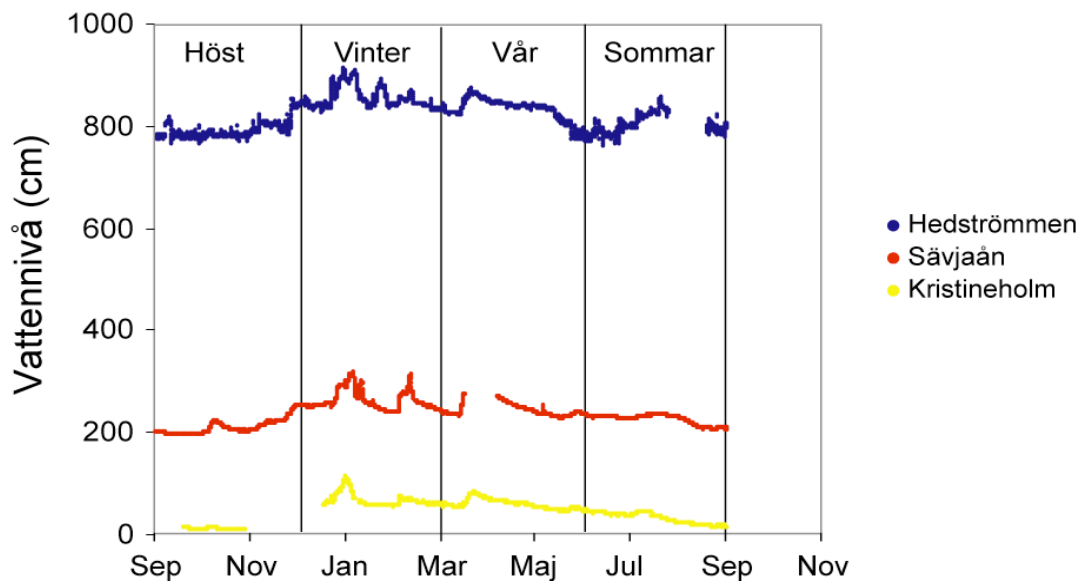
Figur 14. Automatiska mätningar av CDOM fluorescensen i Hedströmmen från september 2003 till september 2004.



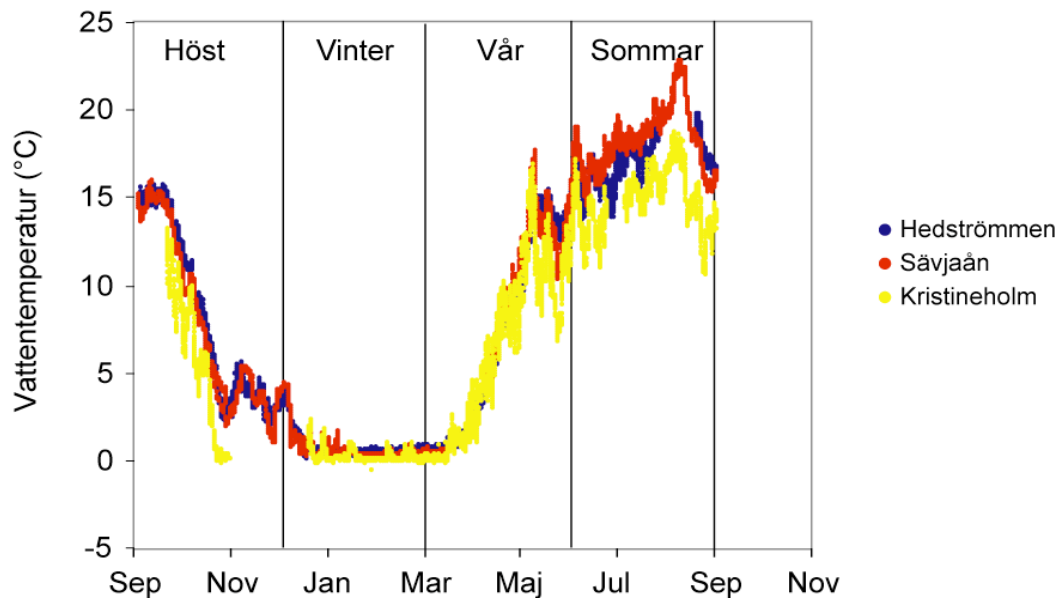
Figur 15. Automatiska mätningar av CDOM fluorescensen i Sävjaån från september 2003 till september 2004.



Figur 16. Automatiska mätningar av CDOM fluorescensen i Kristineholm från september 2003 till september 2004.



Figur 17. Automatiska mätningar av vattennivån i tre inflöden från september 2003 till september 2004.

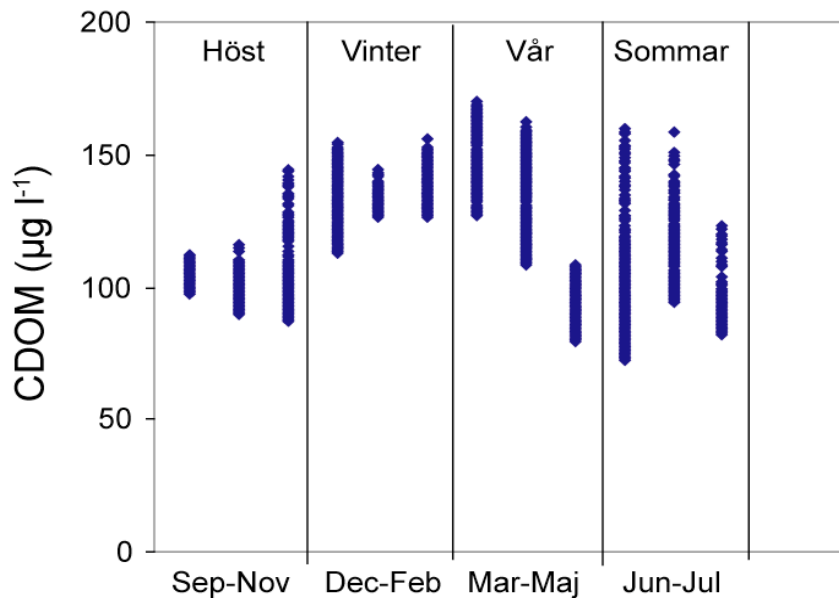


Figur 18. Automatiska mätningar av vattentemperatur i tre inflöden från september 2003 till september 2004.

CDOM värden var relativt låga under hösten och varierade lite under september och oktober månaden (figur 19). Sedan i början på december ökade CDOM värdena och även variationerna. Detta sammanfaller med en ökning i vattenflöde (figur 17). Under hela vintern var CDOM värdena höga och variationerna lite. Vid två tillfällen nådde vattenflödet maximala värden vilket ledde i Hedströmmen till CDOM värden upp till $157 \mu\text{g l}^{-1}$. Men först i mars uppmättes årets maximala CDOM värden med $172 \mu\text{g l}^{-1}$ (figur 14). Detta värde sammanfaller med vårflödet (figur 17) och är 1,5 gånger högre än årsmedelvärdet på $115 \mu\text{g l}^{-1}$. I Sävjaån och Kristineholm kunde årsmaximum-

värden ej fastställas, där det saknas CDOM mätningar under vårflödet.

Efter vårflödet minskade CDOM fluorescensen kontinuerligt (figurer 14-16). Samtidigt minskade vattenflödet i alla tre inflöden (figur 17). CDOM variationen i mars och april blev större än under vintern men sedan mycket låga i maj (figur 19). Lägsta CDOM värden observerades i början på sommaren i juni då även vattenflödet var lägst. Samma månad nådde CDOM också höga värden, vilket resulterade i en mycket stort CDOM variation. Variationen förblev stort i juli men minskade sedan i augusti för att bli liten i september.

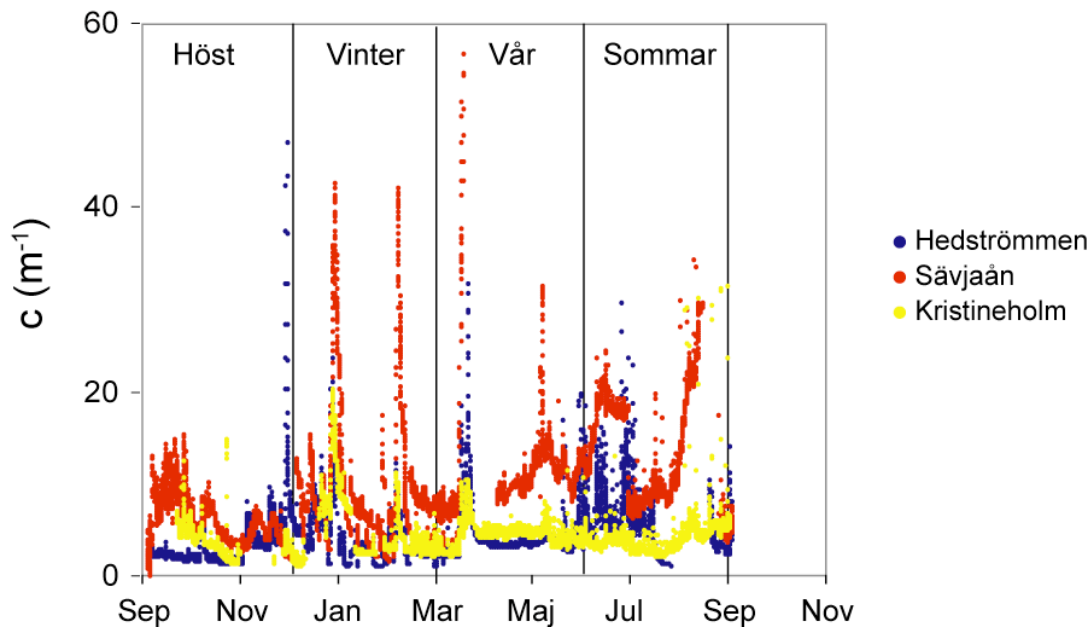


Figur 19. Variation av CDOM fluorescensen i Hedströmmen för varje månad från september 2003 till september 2004.

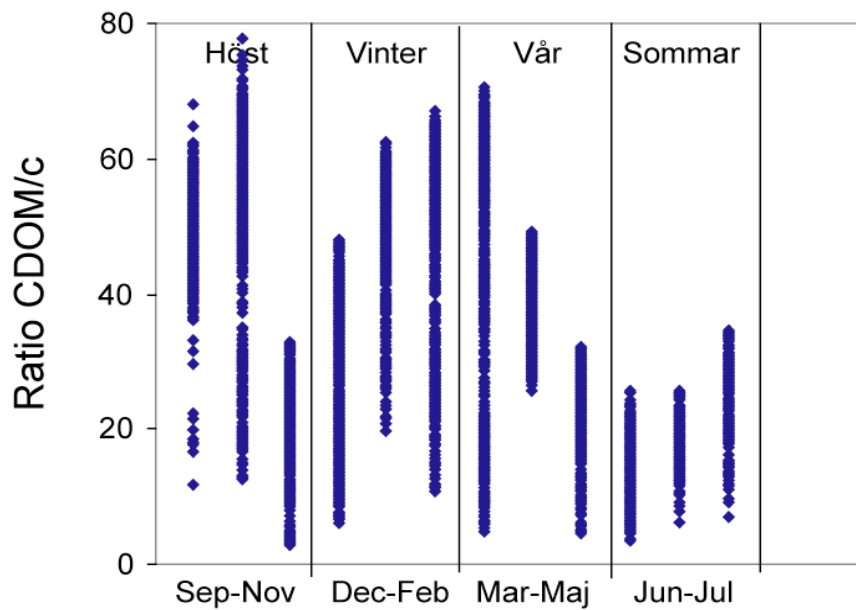
Hur varierar den totala mängden suspenderat material under året jämfört med löst organiskt material?

Den totala mängden suspenderat material i de olika tillflödena, mätt som c , var betydligt mer kongruenta än CDOM fluorescensen (figur 20). Dessutom visade c större och kortvarigare variationer än CDOM fluorescensen. En liten ökning i vattenflöde resulterade i maximala c värden. Toppar registrerades i december, vid de två tillfällena av maximala vattenflöden under vintern och vid vårflödet (figurer 17 och 20). c visade inga säsongsvariationer och värdena under alla fyra årstider liknade varandra. Därmed kunde över hela tidsperioden inget lineärt samband mellan c och CDOM observeras. Det förekom dock ett tydligt samband

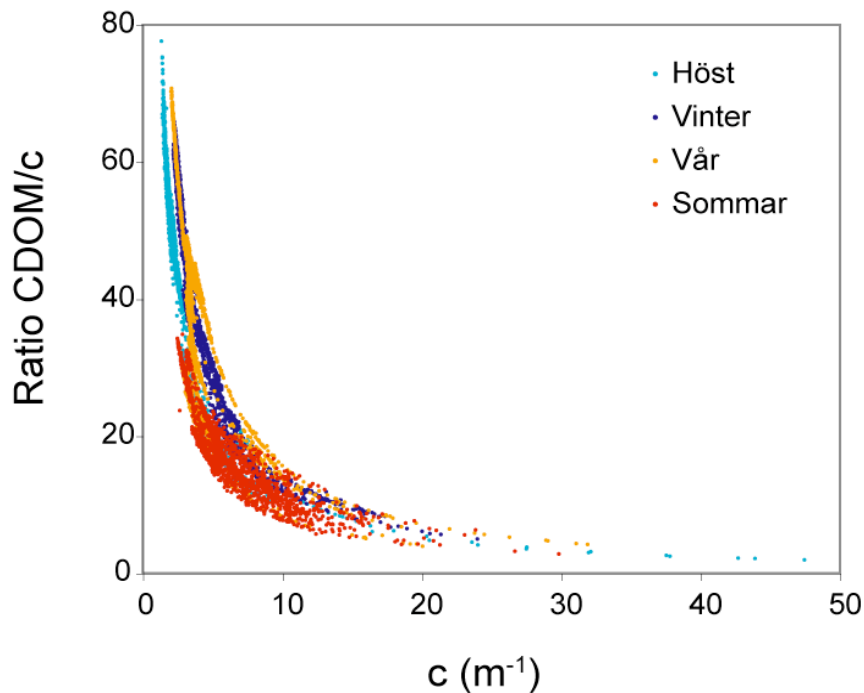
mellan c och andelen CDOM av c . Andelen CDOM av c återspeglar andelen löst organiskt material av den totala mängden suspenderat material. Andelen var hög i september, oktober och under vårflödet i mars och mycket låg under växtperioden maj till juli (figur 21). Andelen var generellt låga vid höga värden av c och höga vid låga värden av c men detta samband varierade från säsong till säsong (figur 22). Under vintern nåddes vid samma c alltid en högre andel av CDOM än under sommaren. Detta betyder att kvalitén på det suspenderade materialet som kommer in till Mälaren är starkt säsongberoende.



Figur 20. Automatiska mätningar av c i tre inflöden från september 2003 till september 2004.



Figur 21. Andel CDOM av c (ratio CDOM/ c) i Hedströmmen för varje månad från september 2003 till september 2004.

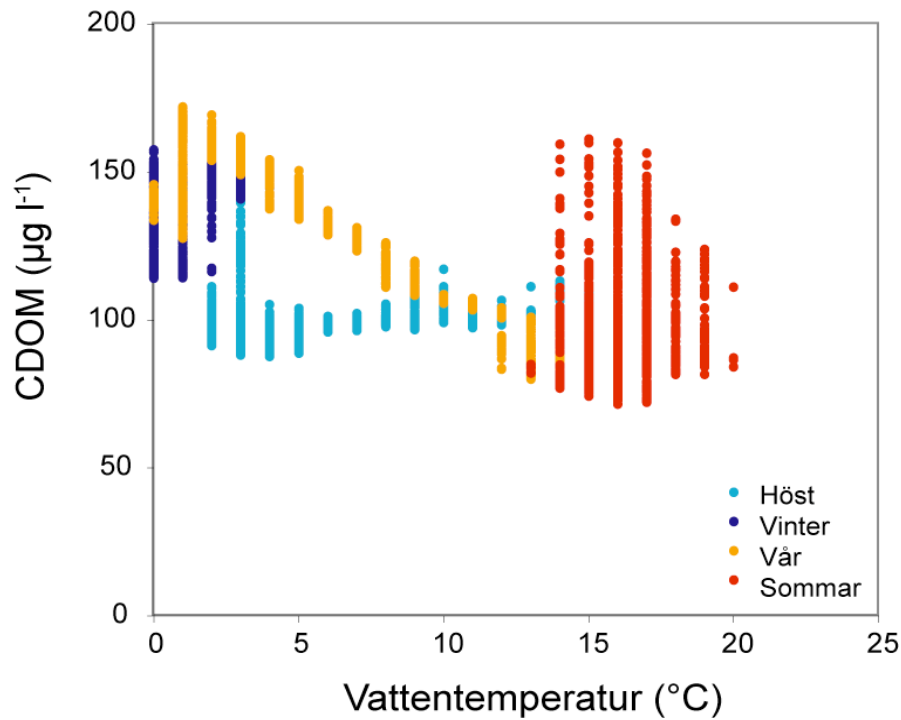


Figur 22. Andel CDOM av c (ratio CDOM/ c) i förhållande till c i Hedströmmen för fyra säsonger från september 2003 till september 2004.

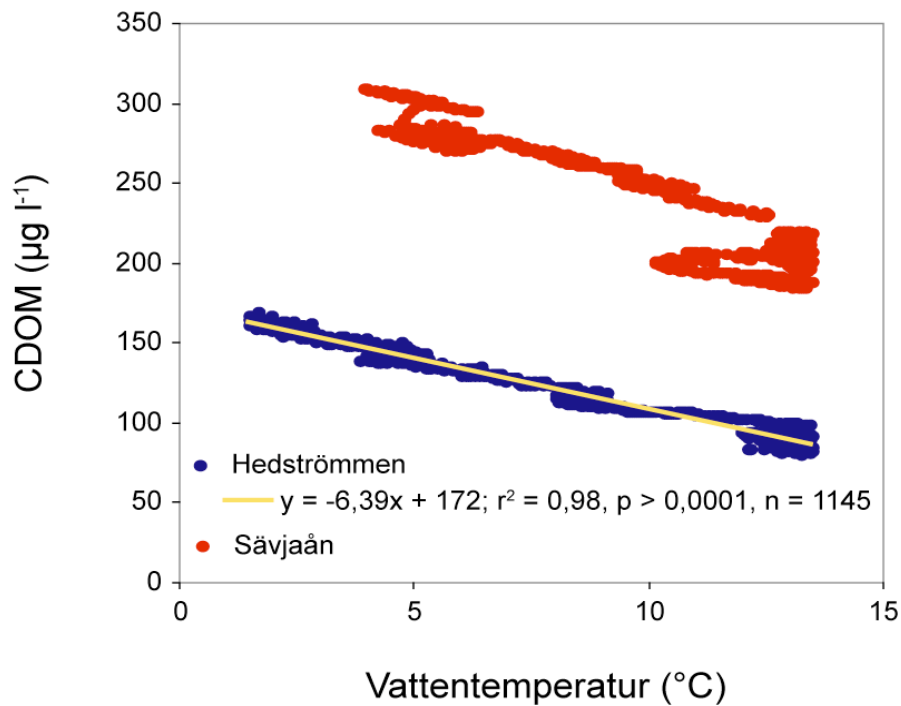
Vilka faktorer styr mängden löst organiskt material?

CDOM fluorescensen visade ett tydligt säsongsmönster med månadsmedelvärden mer än $130 \mu\text{g l}^{-1}$ i Hedströmmen under perioden december till april och månadsmedelvärden mellan 87 och $111 \mu\text{g l}^{-1}$ under resten av året. Vi kunde se ett tydligt samband mellan vattentemperatur och CDOM fluorescensen under våren men inte under de andra säsongerna (figur 23). I Hedströmmen kunde vattentemperatur under våren, dvs. vattentemperaturer mellan $1,5^\circ\text{C}$ och $13,5^\circ\text{C}$, förklara 98 % av variationen i CDOM fluorescensen (figur 24). Samma mönster visade sig i Sävjaån

(figur 24). CDOM fluorescensen minskade när temperaturen ökade. Ett negativt samband mellan vattentemperatur och CDOM fluorescensen kunde även bekräftas med labbförsök. En ökning av vattentemperaturen i ett vattenprov visade en minskning i CDOM fluorescensen. Det betyder att CDOM fluorescensen är stark temperaturberoende. Även Patsayeva m.fl. (2004) hittade ett samband mellan temperatur och CDOM fluorescensen i labb. Därmed antas att CDOM fluorescensen är temperatur- och inte i första hand solinstrålningsberoende.



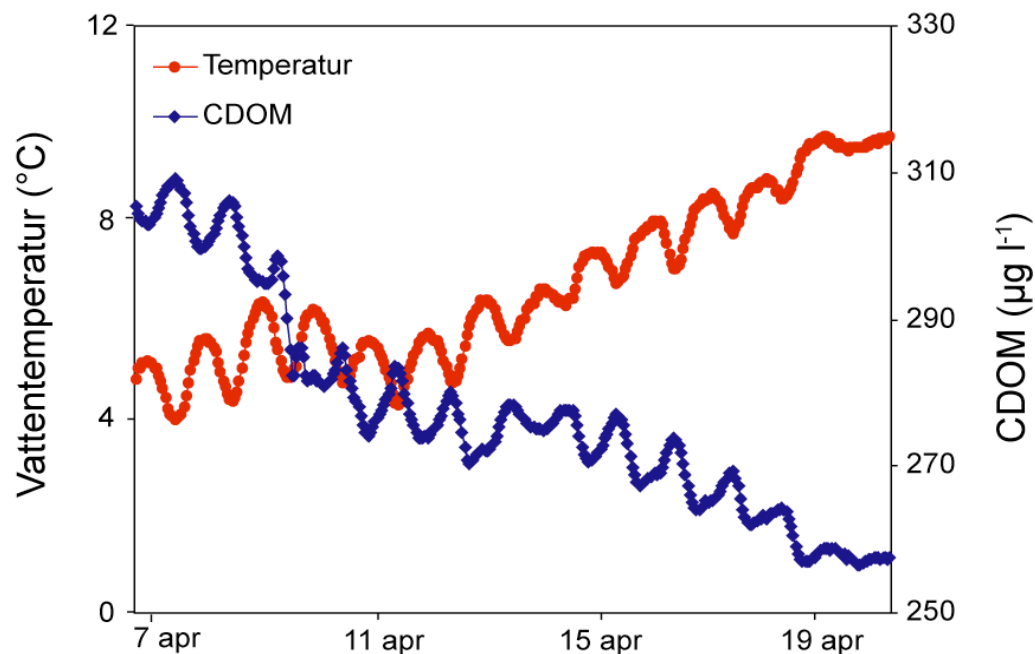
Figur 23. CDOM fluorescensen i Hedströmmen för varje grad Celsius under fyra säsonger från september 2003 till september 2004.



Figur 24. Samband mellan vattentemperatur och CDOM fluorescensen i Hedströmmen och Sävjaån under våren 2004 för vattentemperaturer mellan 1,5 $^{\circ}\text{C}$ och 13,5 $^{\circ}\text{C}$.

Sambandet mellan temperatur och CDOM fluorescensen var så starkt under våren att även dygnsvariationerna i temperatur

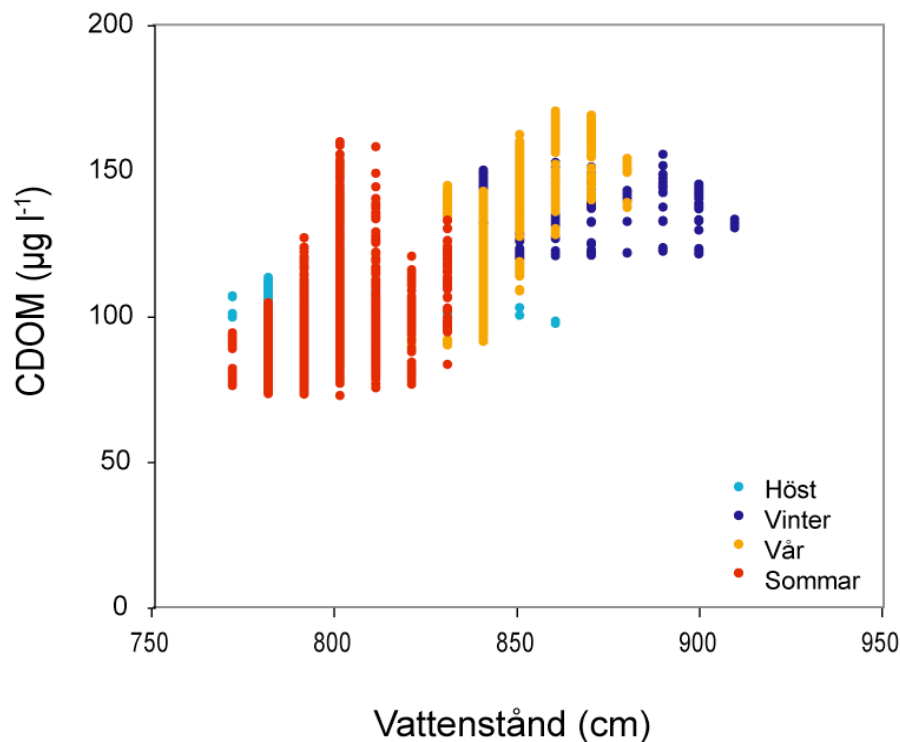
visade sig i CDOM fluorescensen. Dygnsvariationerna i CDOM fluorescensen blev tydligast i Sävjaån (figur 25).



Figur 25. Dygnsvariationen i vattentemperatur och i CDOM fluorescens i Sävjaån under perioden 7 april till 20 april 2004.

Frågan som återstår att besvara är varför CDOM fluorescensen inte alltid visade ett starkt samband med vattentemperaturen. Vi fann ett tydligt samband när vattenflödet var relativt konstant och inte visade särskilda toppvärden. Detta var fallet under våren 2004. När dock vattenflödet visade starkt varierande värden, vilket var fallet under resten av året, doldes temperatureffekten av en flödeseffekt. CDOM fluorescensen ökade när vattenflödet ökade men bara tills det nåddes ett optimum (figur 26). Därefter minskade CDOM fluorescensen med ökande vattenflöde, dvs. en

utspädningseffekt blev kännbart. Även här observerades ett starkt säsongberoende eftersom optimumet varierade under årets lopp. Under våren uppmättes t.ex. högsta CDOM värden vid ett vattenstånd av 860 cm i Hedströmmen. Under sommaren uppmättes däremot de högsta CDOM värdena redan vid ett vattenstånd av 800 cm (figur 26). Det betyder att redan ett relativt litet vattenflöde under sommaren kan leda till en stark ökning av CDOM fluorescensen. Våra mätningar visar tydligt att mängden löst material styrs av både temperatur och vattenflöde.



Figur 26. CDOM fluorescensen i Hedströmmen för varje 10 cm vattenstånd under fyra säsonger från september 2003 till september 2004.

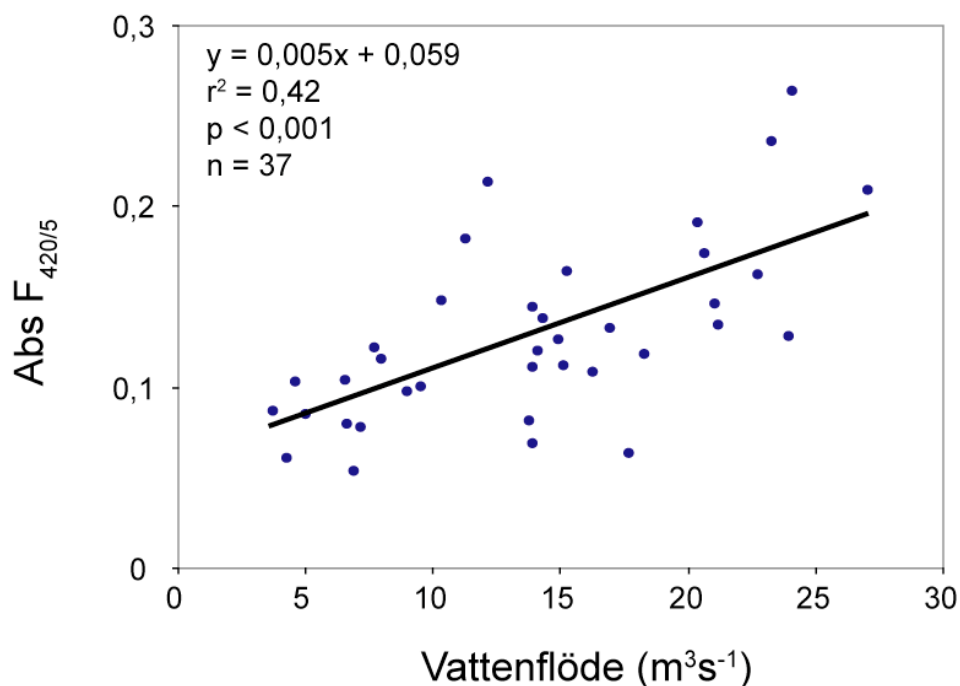
Vilka väderförhållanden ger största mängden löst organiskt material?

Största mängden löst organiskt material, mätt som CDOM fluorescens, förekom i samband med vinter- och vårfloöden. Under vintertiden uppvisade floöden från avrinningsområden de högsta halterna av löst organiskt material, dvs. inflödet av material under denna tid verkar vara det mest avgörande för mängden löst organiskt material i Mälaren. Eftersom CDOM fluorescensen minskar kontinuerligt med mycket höga vattenstånd påverkar förmodligen korta intensiva vattenfloöden CDOM fluorescensen mindre än långvariga mindre intensiva vattenfloöden. För denna teori talar även de observerade mycket stora mängderna löst organiskt material i Mälaren i slutet på 2000 och under hela året 2001. I slutet på 2000 förekom inga korta intensiva vattenfloöden men istället var det en mycket ovanligt långvarig regnperiod. En sådan långvarig

regnperiod, särskilt när den förekommer under vintertiden när floöden håller största mängderna organiskt material, verkar ge de största bidragen av löst organiskt material i Mälaren. Detta kan även bekräftas med långtidsdata av löst organiskt material i Mälarens bassäng Ekoln. Ett samband mellan den genomsnittliga vinter-vattenfloöde (december till februari) i Fyrisån och mängden löst organiskt material, mätt som Abs $F_{420/5}$, i Ekoln observerades under perioden 1965 till 2003 (figur 27). Materialet som kommer in i samband med vinter- och vårfloöden håller sig kvar länge i sjön och är avgörande för mängden löst organiskt material under hela året. Detta kan visas genom sambandet mellan mängden löst organiskt material i mars och årsmedelvärdena av löst organiskt material i Ekoln ($y = 0,53x + 0,04$, $r^2 = 0,76$, $p < 0,001$, $n = 37$). Från

Ekoln transporteras sedan löst organiskt material snabbt in i den östracentrala bassängen Görväln, där råvatten för dricksvattenproduktionen tas ut. Det finns ett bra samband mellan årsmedelvärdena

av löst organiskt material i Ekoln och årsmedelvärdena av löst organiskt material i Görväln ($y = 0,36x + 0,01$, $r^2 = 0,60$, $p < 0,001$, $n = 37$).



Figur 27. Sambandet mellan Fyrisåns vintervattenflöde (medelvärde från perioden december till februari) och vattenfärg, mät som absorbans på filtrerad vatten (0,45 μm membranfilter) i en 5 cm kuvett vid 420 nm våglängd ($\text{Abs } F_{420/5}$), i Mälarens bassäng Ekoln i mars under perioden 1965/1966-2002/2003.

Även under sommartiden uppmättes höga halter löst organiskt material, dvs. väderförhållanden under sommaren verkar också spela en viktig roll för mängden löst organiskt material i Mälaren. Liksom på

vintern krävs det inte särskilt intensiva utan istället långvarigt höga vattenflöden för att nå höga halter i löst organiskt material.

Kan vi förvänta oss en ökning i mängden löst organiskt material i framtiden?

För dricksvattenproduktionen är det viktigt att kunna få ett svar på frågan om en ökning av mängden löst organiskt material i Mälaren är sannolik i framtiden. Svaret är beroende av hur vädret kommer att förändra sig, eftersom enligt denna studie

så är mängden löst organiskt material i tillflödena starkt beroende av vädret, dvs. det finns ett starkt samband mellan mängden löst organiskt material och vattenflöde, och mellan löst organiskt material och vattentemperatur. Generellt

minskar mängden löst organiskt material i vatten med ökande temperaturer. Därför kan en global uppvärmning inte vara den direkta orsaken till ökande halter löst organiskt material. Däremot leder en global uppvärmning till bl.a. varmare vintertemperaturer. Varmare vintertemperaturer ger i regioner där vintertemperaturerna varierar kring 0°C, som t.ex. i Mälarenområden, fler tillfällen med temperaturer över 0°C. Detta leder vanligtvis till ett ökat vattenflöde under vintern och en minskning i vårflödet. Vintervattenflödet i de regioner där temperaturen alltid är högre än 0°C kommer sannolikt att drabbas mindre av varmare vintertemperaturer eftersom vattnet i sådana regioner redan rinner under hela vintern. På samma sätt kommer sannolikt vattenflödet i regioner med vintertemperaturer som är betydligt lägre än 0°C att drabbas mindre av varmare vintertemperaturer då temperaturen trots uppvärmning inte blir mer än 0°C. I sådana regioner är flödet under vintern fortfarande lågt, men det som händer är att vårflödets tidpunkt kommer att förflyttas.

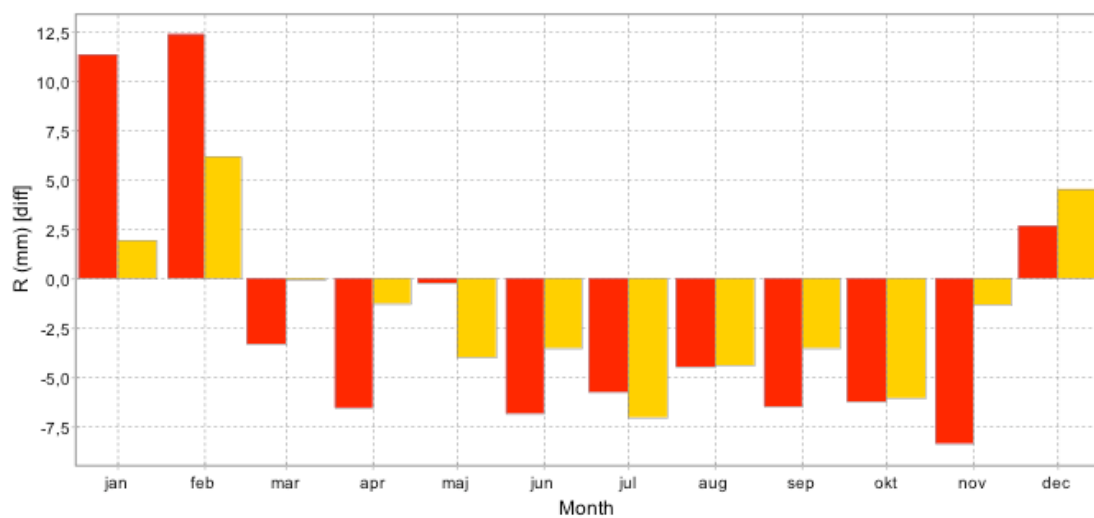
Mest känsliga mot en uppvärmning blir därför regioner där vintertemperaturen varierar kring 0°C. Här ersätts vårflödet med långvariga måttliga vintervattenflöden. Enligt denna studie verkar detta vara en av orsakerna till det stora bidraget av löst organiskt material i Mälaren. Teorin bekräftas av observationen att mängden löst organiskt material i Mälaren ökade mest kring månaden mars och inte lika mycket på sommaren eller hösten (Wallin och

Weyhenmeyer 2000). Enligt SWECLIMs klimatscenarier för Sverige kommer vintertemperaturen (dec-feb) i Mälarenområde (58,5-59,5°N och 16,5-19,5°E) vara i genomsnitt 2,8°C högre under perioden 2071-2100 jämfört med perioden 1961-1990 med scenario HAD/A2 eller till och med 4,1°C högre med scenario HAD/B2 (figur 28). Detta leder till en genomsnittlig ökning i vintervattenflöde med ca 12 % med scenario HAD/A2 (3,8 mm ökning under perioden 2071-2100 jämfört med den genomsnittliga vintervattenflöde av 33 mm under perioden 1961-1990) eller en ökning med ca. 26 % med scenario HAD/B2 (figur 29). Snö förekommer allt mer sällan (figur 30) och därmed minskar också vårflödena. Under sommaren är förändringarna i klimatet inte lika stark utpräglade. Det blir till och med torrare varför största mängden löst organiskt material även i framtiden förväntas uppmätas under vintern. Om vinterflödena kommer att förändra sig i samma takt som sedan slutet på 80-talet är det sannolikt att mängden löst organiskt material i Mälaren kommer att öka ytterligare. Används sambandet mellan det genomsnittliga vintervattenflödet och mängden löst organiskt material i Ekoln (figur 27), skulle den simulerade 12% ökning av vinterflödena öka Fyrisåns genomsnittligt vinterflöde från nuvarande (1965-2003) 14,21 m³s⁻¹ till 15,68 m³s⁻¹ under 2071-2100. Därmed skulle mängden löst organiskt material, mät som Abs F_{420/5}, ökar från nuvarande 0,1293 till 0,1377. Det innebär i så fall en ökning med i genomsnitt ca. 6,5 %.



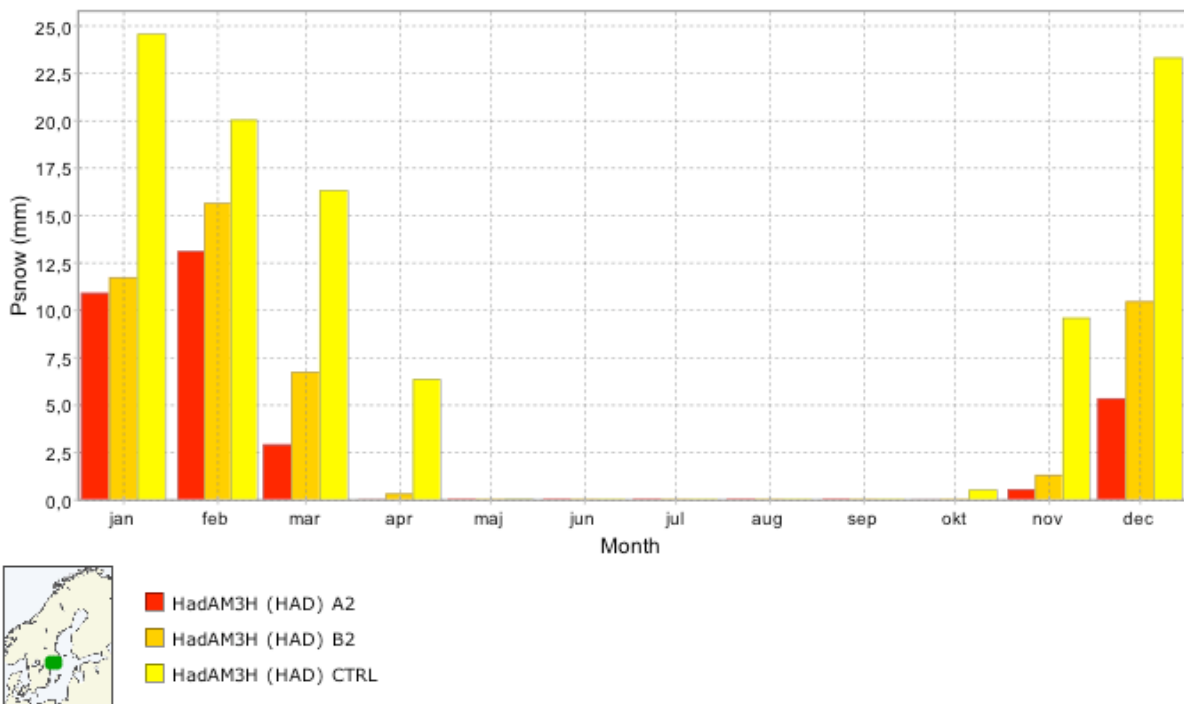
■ HadAM3H (HAD) A2
■ HadAM3H (HAD) B2

Figur 28. Genomsnittlig skillnad i lufttemperatur i Mälardalen (grön markering på kartan) mellan perioden 2071-2100 och referensperioden 1961-1990. Två olika klimatscenarier visas, HAD/A2 och HAD/B2. Figuren är gjort med SWECLIMs CD "SWECLIM data and visualization tool". Mer information finns i bl.a. Räisänen m.fl. (2003) och Tjernström m.fl. (2003).



■ HadAM3H (HAD) A2
■ HadAM3H (HAD) B2

Figur 29. Genomsnittlig skillnad i avrinning i Mälardalen (grön markering på kartan) mellan perioden 2071-2100 och referensperioden 1961-1990. Två olika klimatscenarier visas, HAD/A2 och HAD/B2. Figuren är gjort med SWECLIMs CD "SWECLIM data and visualization tool". Mer information finns i bl.a. Räisänen m.fl. (2003) och Tjernström m.fl. (2003).



Figur 30. Snötäcke i Mälardalen (grön markering på kartan) under perioden 2071-2100 modellerad HAD/A2 och HAD/B2 och under referensperioden 1961-1990. Figuren är gjort med SWECLIMs CD "SWECLIM data and visualization tool". Mer information finns i bl.a. Räsänen m.fl. (2003) och Tjernström m.fl. (2003).

SLUTSATSER

1. CDOM fluorescens mätningar ger en bra information om mängden löst organiskt material i vatten. Därmed är utrustningen lämplig för en kontinuerlig övervakning av mängden löst organiskt material, vilket kan vara mycket värdefullt för vattenverken kring Mälaren. Det rekommenderas att i nästa steg även försöka använda CDOM fluorometern för att kunna skilja mellan olika sorter löst organiskt material. Det råder dock fortfarande en viss osäkerhet om temperaturberoendet, dvs. om detta reflekterar en verklig skillnad i halten organiskt material eller om det delvis även kan vara ett mättekniskt fenomen.
2. Löst organiskt material, mät som CDOM fluorescens, varierar förhållandevis lite under loppet av en dag, månad eller även år och är därför inte särskilt dynamiskt jämfört med den totala mängden suspenderat material. CDOMs maximum, vilket var 1,5 gånger årsmedelvärden, registrerades i samband med vårfloeden i mars.
3. CDOM fluorescensen är generellt högre under vintern än under sommaren. Detta orsakas bl.a. av ett högre vattenflöde på vintern men även av en högre andel organiskt material av den totala mängden suspenderat material.
4. CDOM fluorescensen är starkt temperaturberoende, där fluorescensen minskar linjärt med

ökande temperaturer. Dessutom är CDOM fluorescensen starkt flödesberoende med ett samband som är icke-linjärt, dvs. CDOM fluorescensen ökar först och minskar sedan med ökande vattenflödet. Genom ett starkt varierande vattenflöde döljs temperatureffekten på CDOM fluorescensen.

5. Ett icke-linjärt samband mellan vattenflöde och CDOM fluorescensen gör att långvariga regnperioder förmodligen orsakar större mängder löst organiskt

material i Mälaren än korta mycket intensiva regnperioder.

6. Mängden löst organiskt material i Mälarens bassäng Ekoln kunde bestämmas med Fyrisåns genomsnittliga vintervattenflöde under perioden 1965/1966 till 2002/2003.
7. En ökning av måttliga vattenflöden särskilt under vintertiden är sannolikt enligt SWECLIMs klimatscenarier för Sverige, och kommer förmodligen att leda till en ytterligare ökning av mängden löst organiskt material i Mälaren.

REFERENSER

Bergström, S., Carlsson, B., Gardelin, M., Lindström, G., Pettersson, A. and Rummukainen, M. 2001. Climate change impacts on runoff in Sweden – assessments by global climate models, dynamic downscaling and hydrological modelling. *Clim. Res.* 16: 101-112.

Christensen, J.H., Raisanen, J., Iversen, T., Bjorge, D., Christensen, O.B. and Rummukainen, M. 2001. A synthesis of regional climate change simulations – A Scandinavian perspective. *Geophysical Research Letters* 28: 1003-1006.

Johansson, L. 2003. Utvärdering av långsiktiga trender i Mälaren. en studie av råvattenkvalitet vid Lovö vattenverk 1935-2002. Master- Thesis. Dept. of Soil Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences.

Löfgren, S., Forsius, M. och Andersen, T. 2003. Climate induced water color increase in Nordic lakes and streams due to humus. Nordic Council of Ministers, Brochure, Copenhagen, Denmark, 12 ss.

Nikolau, A.D. and Lekkas, T.D. 2001. The role of natural organic matter during formation of chlorination by-products: A review. *Acta Hydrochimica Et Hydrobiologica* 29: 63-77.

Patsayeva, S., Reuter, R. och Thomas, D.N. 2004. Fluorescence of dissolved organic matter in seawater at low temperatures and during ice formation. *EARSel eProceedings* 3: 227-238.

Reckhow, D.A. and Singer, P.C. 1990. Chlorination by-products in drinking waters – from formation potentials to finished water concentrations. *Journal American Water Works Association* 82: 173-180.

- Rummukainen, M., Räisänen, J., Bringfelt, B., Ullerstig, A., Omstedt, A., Willén, U., Hansson, U. and Jones, C. 2001. A regional climate model for northern Europe: model description and results from the downscaling of two GCM control simulations. *Climate Dynamics* 17: 339-359.
- Räisänen, J., Hansson, U., Ullerstig, A., Döscher, R., Graham, L.P., Jones, C., Meier, M., Samuelsson, P. och Willén, U. 2003. GCM driven simulations of recent and future climate with the Rossby Centre coupled atmosphere - Baltic Sea and regional climate model RCAO. SMHI Rapport 101.
- Steinberg, C.E.W. 2003. Ecology of humic substances in freshwaters. Springer-Verlag Berlin. 429 ss.
- Tilja, M. 2004. Water colour trends in Lake Mälaren. Master-Thesis. Dept. of Thematic Studies, Linköping University, Campus Norrköping.
- Tjernström, M., Rummukainen, M., Bergström, S., Rodhe, J. och Persson, G. 2003. Klimatmodellering och klimatscenarier ur SWECLIMs perspektiv. SMHI rapport 102.
- Wallin, M. och Weyhenmeyer, G. 2002. Mälaren har blivit brun. *Sötvatten* 2002, ss. 10-15.
- Wallin, M. och Weyhenmeyer G. 2001. Mälarens grumlighet och vattenfärg – effekter av det extremt nederbördsrika året 2000. SLU-Rapport, Inst. för miljöanalys, Uppsala, September 2001. 27 ss.
- Weyhenmeyer, G.A., Willén, E. och Sonesten, L. 2004. Effects of an extreme precipitation event on water chemistry and phytoplankton in the Swedish Lake Mälaren. *Boreal Environmental Research* 9: 409-420.