



ARVIKA KOMMUN

ProVAb
NordMiljö



**UNDERSÖKNINGAR I KYRKVIKEN
2008-2010
Etapp 1**

Arvika kommun, Teknisk försörjning

Innehåll

	Sida
SAMMANFATTNING	1
RESULTAT	5
Vattenkemi	5
Skiktningar & salthalter (Avloppsvattnets utspädning och spridning).....	5
Kväve	8
Fosfor	12
Fosforfraktionering av sediment.....	17
Undersökningar i tillflöden.....	18
Syre.....	21
Syretäringsförsök på sediment	22
Diskussion	24
Referenser.....	26

SAMMANFATTNING

På uppdrag av Arvika kommun, Teknisk försörjning, har ProVAb och Nordmiljö i samarbete med Teknisk försörjning genomfört undersökningar i Kyrkviken och dess tillflöden under perioden 2008-2010. Föreliggande rapport är en delredovisning av undersökningar baserade på förslag som presenterats i en tidigare redovisad rapport: "Förslag till åtgärdsstrategi för att förbättra miljöförhållandena i Kyrkviken". Syftet med undersökningarna är att få fram ett dataunderlag som beskriver olika källbidrag av föroreningar och resultaten skall leda fram till förslag på ytterligare åtgärder för att förbättra vattenmiljön i Kyrkviken och på sikt minska risken för algbloomningar, förhöjda bakteriehalter och syrebrist.

Under perioden 2008-2009 har intensivprovtagningar och analyser av vatten utförts i Kyrkviken. Även Kyrkvikens huvudtillflöden har provtagits och analyserats under den aktuella perioden. Sediment har undersöks med avseende på syretäring och fosforläckage.

Undersökningarna visar att de flesta algbloomningar i Kyrkviken orsakas av tillfälliga höga vattenflöden i samband med stor nederbörd och avrinning. I samband med sådana händelser tillförs flera hundra kilo lättillgänglig fosfatfosfor till Kyrkviken. Detta resulterar i en snabb haltökning av fosfor i Kyrkvikens vatten i storleksordningen 5-10 µg/l, vilket är tillräckligt för inducera en algbloomning om efterföljande väderlek är gynnsam d v s sol värme och lugnt väder. Även fosforläckage till följd av syrebrist i bottenvattnet kan i viss mån bidra till algbloomning under hösten när sjön vänder om väderleken är gynnsam. Sådana algbloomningar bedöms dock förekomma i mindre omfattning än i samband med kraftigt regn och tillfälligt höga vattenflöden.

Fosforfraktionering av sediment visar att huvuddelen av fosfor i Kyrkvikens sediment är hårt bundet. Detta stämmer också väl överens med mängdberäkningar av frigjord mängd fosfor utgående från uppmätta halter i samband med syrebrist under hösten 2008 och 2009. Då frigjordes i storleksordningen 500 respektive 900 kg fosfor från bottensedimentet. Med utgångspunkt från utfallet av dessa undersökningar samt bedömningen att endast en mindre del av algbloomningarna orsakas av fosforläckage från sedimentet, bedöms det ej som motiverat att behandla sedimentet med aluminiumsalter för att på så sätt låsa den sedimentbundna fosfor.

När det gäller syrebristen i Kyrkvikens bottenvatten under vintern bedöms syretäringen från reningsverkets utsläpp av ammoniumkväve ha liten betydelse. Sannolikt är det syretäring från sedimentet som står för huvuddelen av syreförbrukningen under vintern. Detta utgående från genomförda syretäringförsök på sediment från Kyrkviken samt erfarenheter av syreförbrukning av ammonium vintertid från ett reningsverk som belastar Norra Bergundasjön i Växjö (ALcontrol 2010).

Under sommaren kan dock avloppsvattnet från reningsverket ha betydelse för syrebristen i sjöns bottenvatten om detta huvudsakligen inlagras under språngskiktet. Huruvida detta är fallet eller ej går dock inte att helt säkert fastställa utgående från hittills genomförda undersökningar. Teoretiskt kan avloppsvattnet förbruka 84 ton syre om allt renat avloppsvatten inlagras under språngskiktet och om det i avloppsvattnet förekommande ammoniumet oxideras till nitrat.

Syreförbrukning från reningsverkets utsläpp kan dock minskas om man anlägger ett nytt utsläppsrör med diffusor med alternativa utsläppsdjup.

Under sommaren bedöms även syreförbrukningen från sedimentet ha betydelse. Med stöd av genomförda syretäringsförsök förbrukar sedimentet 91 ton syre (= 54 %) i bottenvattnet jämfört med tillgängligt syreförråd som är beräknat till 168 ton. Alger och högre växter som produceras i sjön och tillförda organiska ämnen från tillflödena har också betydelse för syrebristen. Dessa förbrukar syre i bottenvattnet. I slutänden är det också dessa källor som ger syreförbrukningen i sedimenten då dessa i form av organiska partiklar sjunker ned på botten och bildar sediment tillsammans med lera och andra oorganiska partiklar. Således kommer åtgärder som minskar tillförseln av fosfor och organiska ämnen till Kyrkviken att minska syrebristen i sjön.

På årsbasis bedöms sedimentet ha störst betydelse för syrebristen i sjön. Därefter är det mest troligt att organiska ämnen som tillförts via algproduktion och tillflöden är den näst största källan till syrebrist. Denna syreförbrukning går dock ej att kvantifiera utgående från tillgängligt analysunderlag. Som tredje största källan av syreförbrukande material bedöms utsläppet från reningsverket vara.

När det gäller undersökningar i tillflödena (Viksälven, Sävsjökanalen och Mötterudsbäcken) visar undersökningar genomförda under perioden 2008-2010 att fosforbelastningen från dessa källor är av större betydelse än utsläppet från reningsverket vad gäller både totalbelastning av sjön samt orsak till algblomningar. Förutom dessa tillflöden bedöms dagvatten och bräddningar i samband med höga vattenflöden (t.ex. vid kraftiga regn) ha betydelse för uppkomsten av algblomningar. Vilka av dessa delbidrag som är av störst kvantitativ betydelse får fortsatta undersökningar visa.

Arvika 2010-08-19

ProVAb

Nordmiljö

Holger Torstensson

Olle Grahn

Bakgrund

Arvika kommun, Teknisk försörjning, har utgående från "Förslag till åtgärdsstrategi för att förbättra miljöförhållanden i Kyrkviken" genomfört undersökningar 2008-2010. Detta gäller vattenkemiska undersökningar i Kyrkviken och dess tillflöden samt sedimentundersökningar i Kyrkviken.

Syftet med undersökningarna är att öka kunskapsunderlaget vad gäller orsakerna till algblomningar och syrebrist i Kyrkviken samt att utgående från dessa resultat besluta vilka åtgärder som är mest kostnadseffektiva.

Provtagning och genomförande

Provtagning av vatten har utförts på fyra olika djupnivåer vid sjöns djuphåla två gånger per månad under perioden 4 mars 2008 t.o.m. 19 mars 2009. Därefter har prov tagits en gång/månad under april, juni, juli, augusti, september och avslutats med två provtagningar i oktober 2009.

Proverna analyserades med avseende på följande parametrar: totalfosfor (P), fosfatfosfor (PO₄), totalkväve (N), ammonium (NH₄), nitrat/nitrit (NO₃/NO₂). Vid varje provtagningstillfälle mättes dessutom syrgashalten och temperaturen i en profil på varje meter från ytan till botten (0,5-15,5 m). Konduktiviteten har också mätts på de djup där vattenprovtagning utfördes.

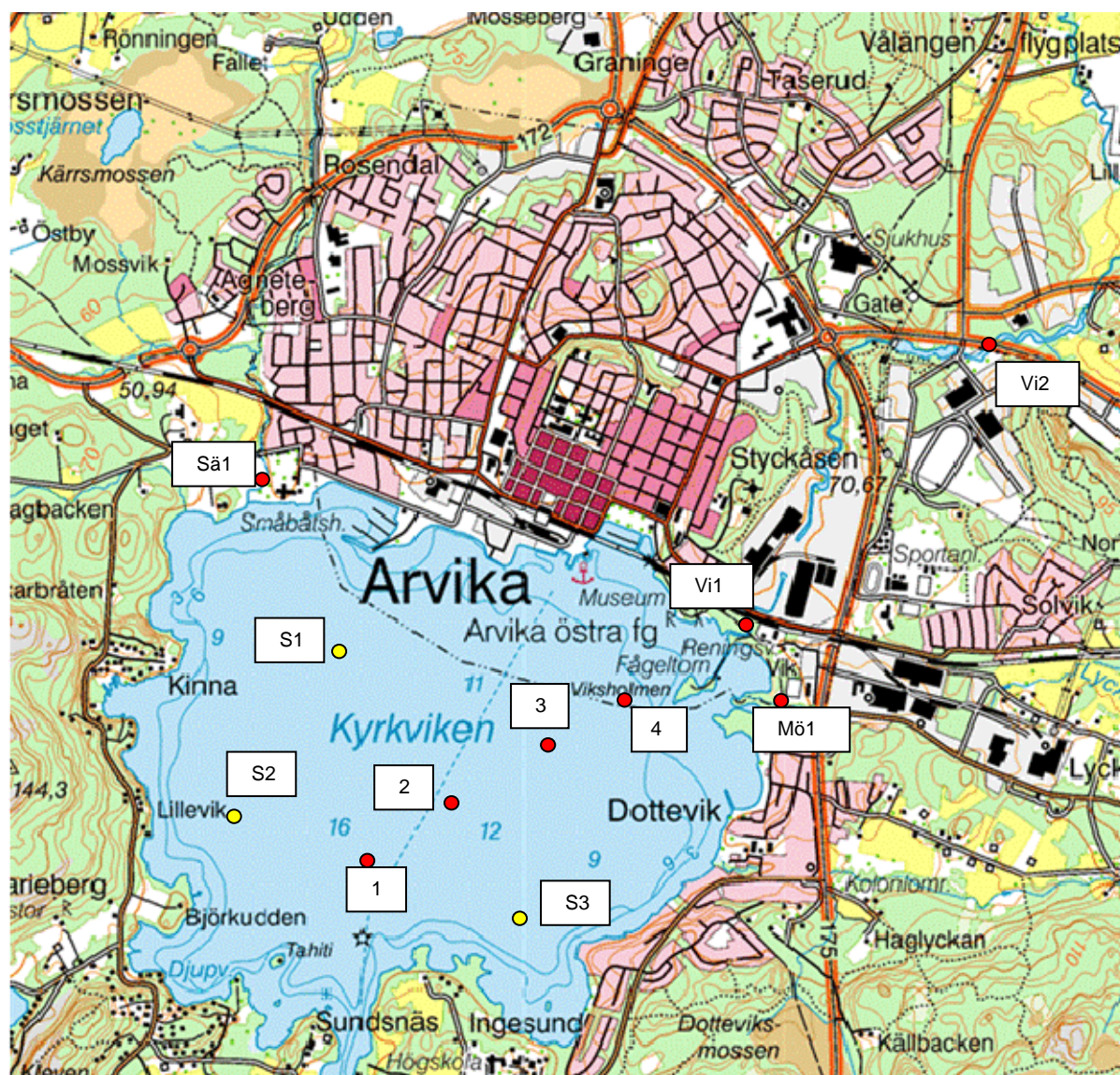
Syrehalt, temperatur och konduktivitet i vattnet har också mätts 1 gång per månad längs en transekt från utsläppspunkten för avloppsvatten och ut mot de centrala delarna av sjön.

Vattenprover har också tagits i Kyrkvikens tillflöden, Sävsjökanalen (1 station), Mötterudsbäcken (1 station) och i Viksälven (2 stationer) en gång/månad under perioden juni 2008 t.o.m. juni 2009. Totalfosfor, ammoniumkväve och totalkväve har analyserats.

Provtagning och mätningar i vatten har utförts från personal på Arvika avloppsreningsverk. Vattenkemiska analyser på vatten från Kyrkviken har utförts av Erkenlaboratoriet i Norrtälje. Analyser på vattenprover från tillflöden har utförts av Britt-Inger Hoff på laboratoriet vid Arvika avloppsreningsverk.

Provtagning av sediment utfördes på tre platser i Kyrkviken av Naturvatten i Roslagen AB den 9 oktober 2008. Sedimentet fraktionerades med avseende på fosfor för att fastställa andelen lättillgänglig fosfor som kan frigöras vid syrebrist. Syretäringsförsök genomfördes på sedimentet för att ge underlag för beräkning av hur mycket syre som sedimentet förbrukar i botenvattnet.

Provtagningsplatser för vatten och sediment framgår av Figur 1 och Tabell 1.



Figur 1. Provtagningsplatser för vattenprov (röda punkter) och sediment (gula punkter) i Kyrkviken, Viksälven, Sävsjökanalen och Mötterudsbäcken. © Lantmäteriverket Gävle 2009. Medgivande I 2009/1212.

Tabell 1. Provtagningsplatser för vatten och sediment i Kyrkviken med tillflöden

Plats	Beskrivning	Koordinater (RT90)
1	Station 1 Kyrkviken, ca 16 m	6617715-1317960
2	Station 2 Kyrkviken, ca 15-16 m	6617985-1318495
3	Station 3 Kyrkviken, ca 13-14 m	6618145-1318820
4	Station 4 Kyrkviken, ca 11-12 m	6618290-1319050
Sä1	Sävsjökanalen, utlopp	6619455-1317510
Vi1	Viksälven, utlopp	6618685-1319810
Vi2	Viksälven, ovan Gatedammen	6620350-1321490
Mö1	Mötterudsbäcken, utlopp	6618325-1319985
S1	Sedimentstation 1 Kyrkviken, 14,2 m	6618616-1317814
S2	Sedimentstation 2 Kyrkviken, 14,4 m	6617792-1317306
S3	Sedimentstation 3 Kyrkviken, 14,3 m	6617324-1318765

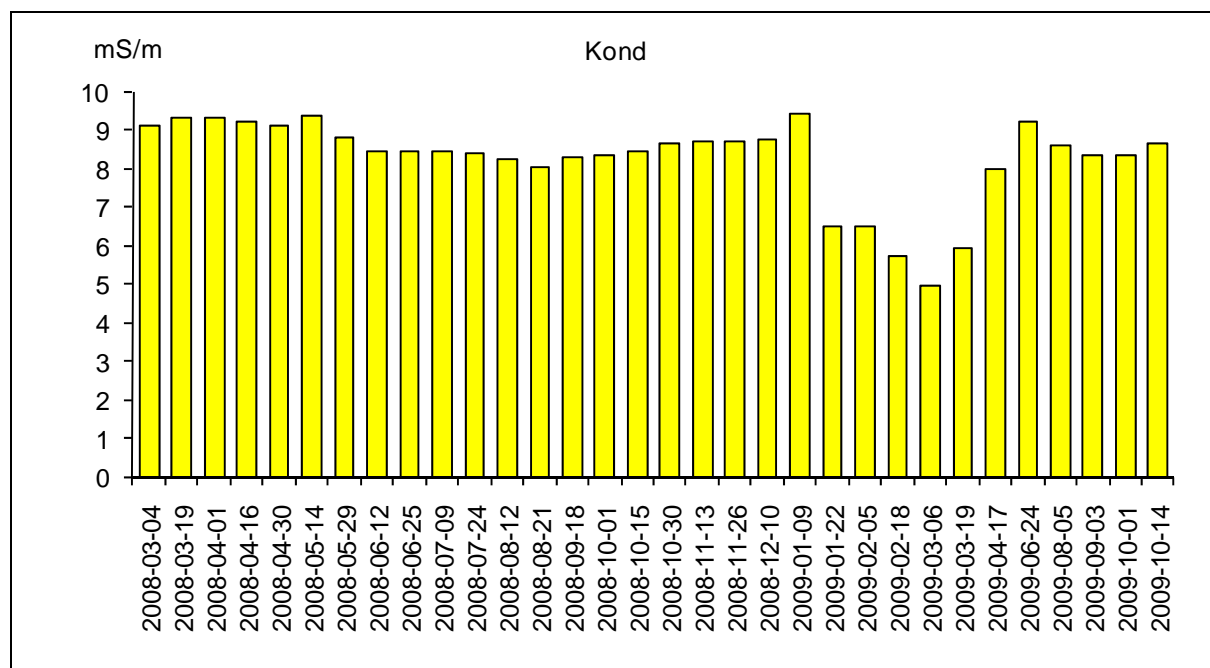
RESULTAT

Vattenkemi

Samtliga vattenkemiska analysresultat finns redovisade i Bilaga 1.

Skiktningar & salthalter (Avloppsvattnets utspädning och spridning)

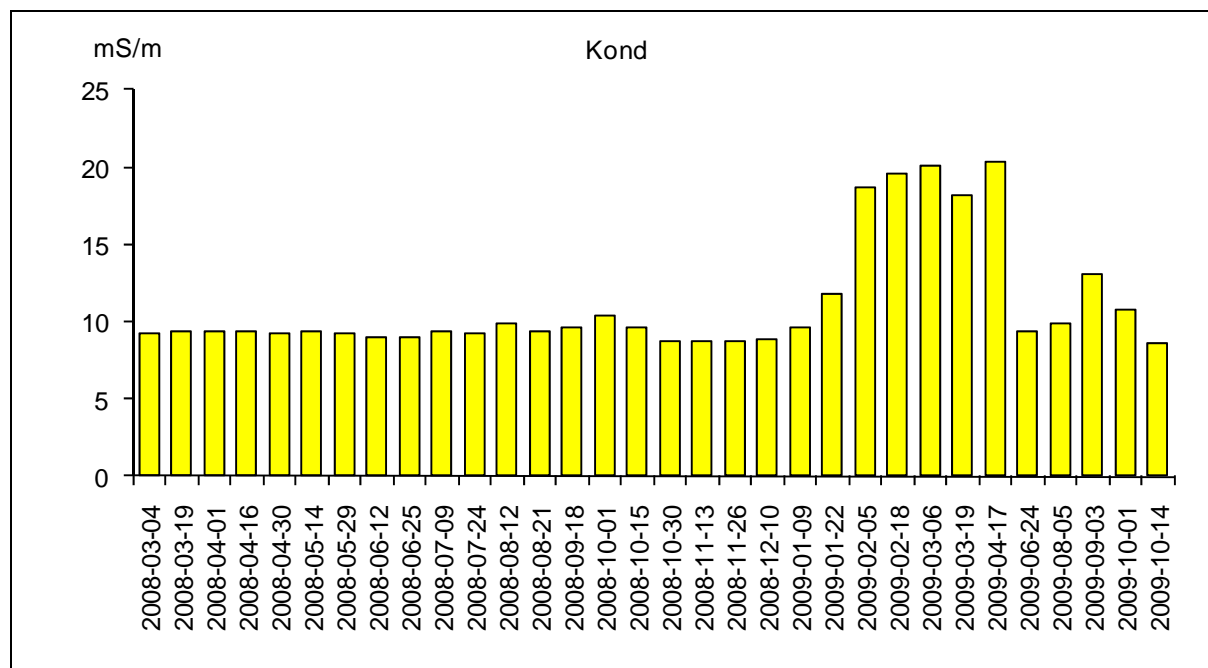
I Figur 2 och Figur 3 redovisas salthalter i Kyrkvikens yt- respektive bottenvatten under 2008-2009. Salthalten (konduktiviteten) mäts i syfte att spåra inblandningen av vatten från tillflödena och avloppsvatten från reningsverket. I ytvattnet minskade salthalten under vintern 2008-2009 när sjön var istäckt (Figur 2). Detta berodde på att vatten från sjöns tillflöden (Viksälven, Sävsjökanalen och Mötterudsbäcken) inlagrades under isen utan att omblandas i någon större utsträckning. Beroende på att tillflödesvattnet är kallare än sjövattnet och därmed har en lägre densitet än sjövattnet sker sådana inskiktningar, vilket kan ske när vindomblandning förhindras av is.



Figur 2. Konduktivitet (salthalt) i Kyrkvikens ytvatten (0,5 m) vid station 1 april 2008-oktober 2009.

I bottenvattnet kan man se en tydlig ökning av salthalten under vintern 2008-2009. Under denna tid var sjön istäckt. Ökningen beror på att renat avloppsvatten från reningsverket inlagrades vid botten utan någon större omblandning med sjövattnet. Detta bekräftas av de vattenkemiska analyserna bl.a. i form av mycket höga ammoniumkvävehalter. Inskiktning av avloppsvatten vid botten sker därför att detta vatten har en högre densitet än sjövattnet p.g.a. högre salthalt och att omblandning förhindras av isen under vintern. Inlagring av avloppsvat-

ten i sjön har även verifierats vid den ordinarie recipientkontrollen i området som utförs av By- och Borgviksälvens Vattenvårdsförbund under de vintrar som sjön varit isbelagd under en längre tidsperiod. Utflöde av saltrikt grundvatten kan uteslutas som orsak till saltökningen. Om detta vore fallet skulle en tydlig saltökning även ske under sommaren. Även vattenkemiska analyser i denna utredning och ordinarie recipientkontroll (ammonium, alkalinitet, fosfor m.m.) stödjer att det är avloppsvatten som orsakar saltökningen.

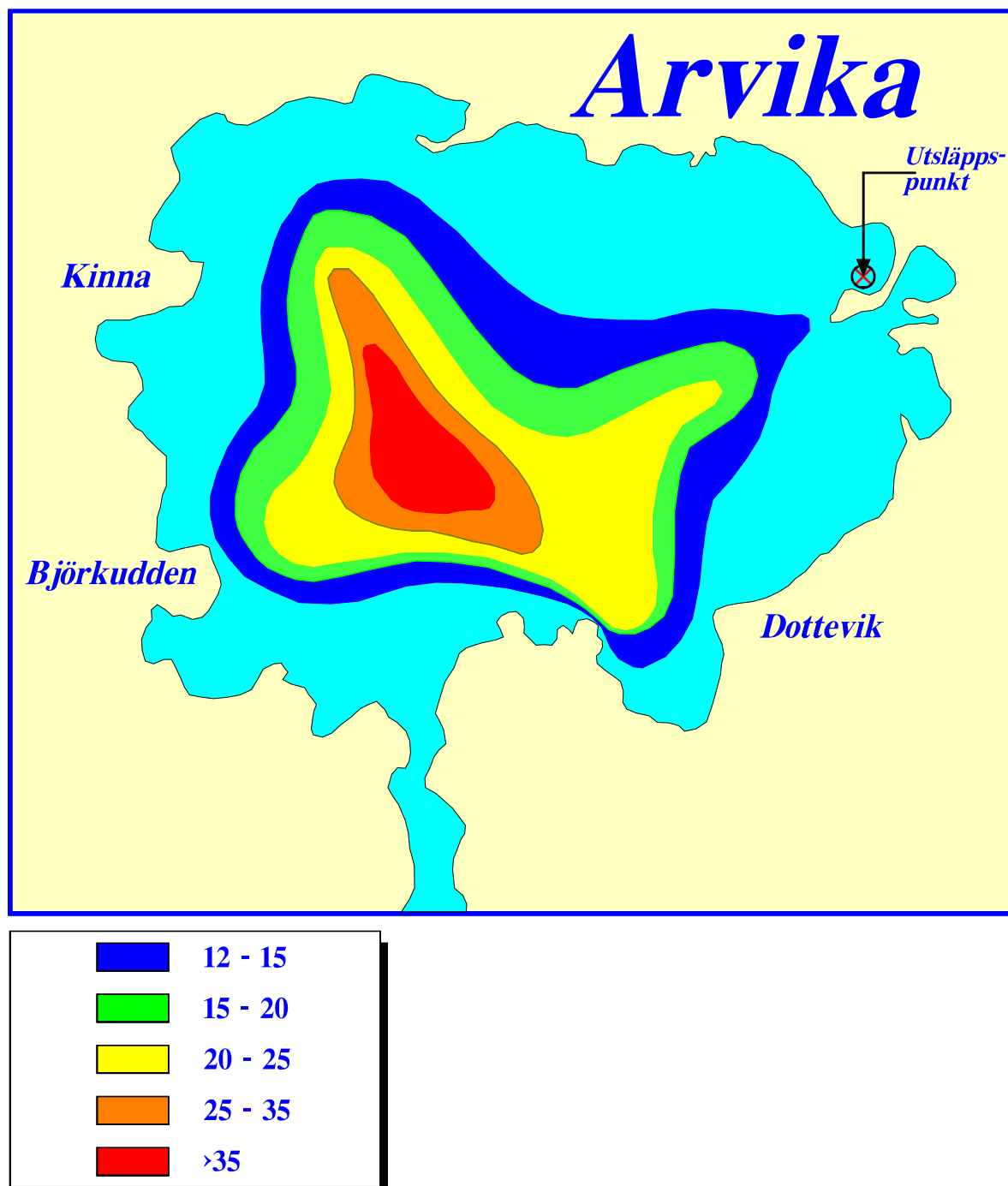


Figur 3. Konduktivitet (salthalt) i Kyrkvikens bottenvatten vid station 1 april 2008-oktober 2009.

År 2000 gjordes en utredning av reningsverkets inverkan på Kyrkviken genom utökad provtagning på isen under mars 2000 (KM lab 2000). Denna visade en tydlig inskiktning av utsläppsvatten vid botten i sjöns djupområde (Figur 4). Beroende på djupförhållande i sjön inlagras det tyngsta vattnet som kommer från reningsverket i sjöns centrala djupa delar. Det vattnet som kommer från Viksälven har låg densitet och lagras in under isen utan att blanda om vattnet från reningsverket som rinner utmed botten mot sjöns djupområden.

En bidragande orsak till att inlagringen av renat avloppsvatten sker vid botten i sjöns djupområde är utsläppspunktens läge och utformning. Nuvarande huvudtub, som är tillverkad av trä, har en diameter på ca 800 mm, vilket innebär att vattnet har en låg utgångshastighet med ett flöde på ca 0,13 m³/s.

För att öka utspädningen av avloppsvattnet har det i förslag till åtgärdsstrategi för Kyrkviken föreslagits att man skall konstruera ett nytt utlopp från reningsverket. Detta bör vara utformat som en diffusor där vattnet sprids ut med hög hastighet via flera hål i avloppstuben så att omblandning optimeras och inskiktning vid botten förebyggs. Placeringen av utloppsröret har också betydelse för utspädningen. Om UV-anläggning installeras är det mest fördelaktigt att lägga utsläppspunkten några meter över språngskiktet (4-6 m djup). Alternativt utsläppsrör läggs några meter under språngskiktet. Detta kan nyttjas vid bräddning (sommartid) och för utsläpp under språngskikt sommartid om inte UV-behandling sker.



Figur 4. Salthalt (konduktivitet; mS/m) i Kyrkvikens bottenvatten den 17-18 mars 2000. Källa KM lab 2000.

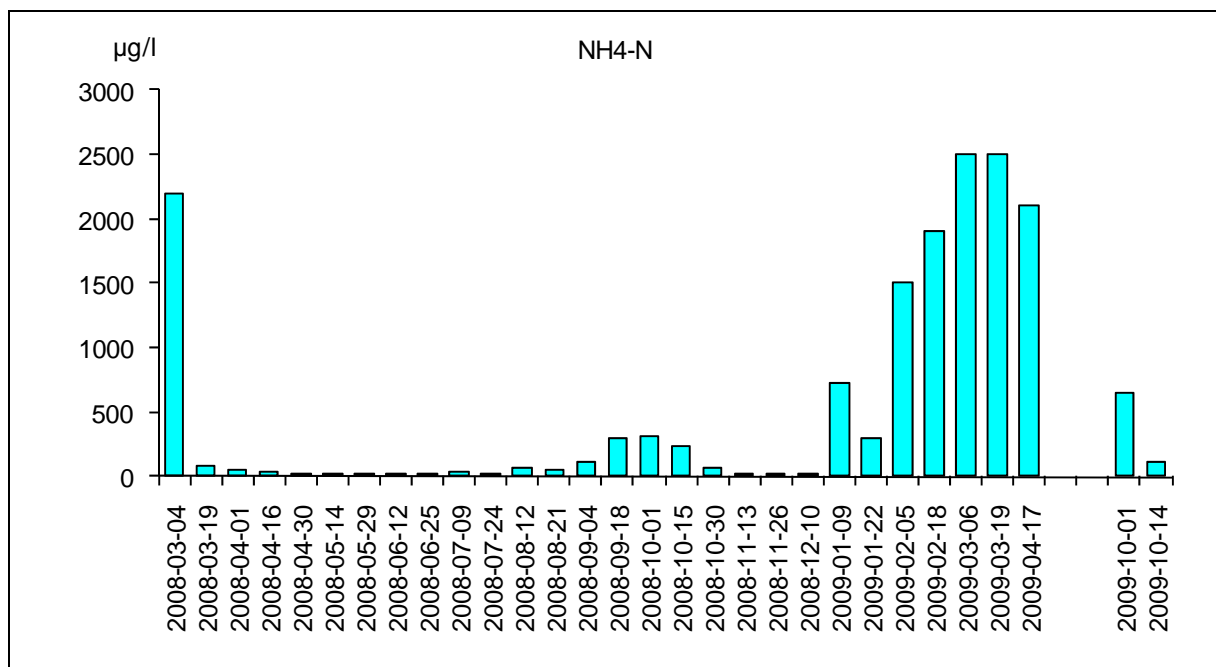
Under sommaren kan man inte se någon tydlig inskiktning av avloppsvatten vid botten beroende på den utspädning som sker av vinden på sommaren. Huruvida huvuddelen av avloppsvattnet blandas in under eller över språngskiktet går ej att bedöma utgående från tillgängliga data. Det behövs göras noggranna mätningar av salthalt nära botten under sommaren för att få klarhet om detta. Att syrebristen periodvis kan bli mycket omfattande under språngskiktet på sensommaren kan tyda på att inlagring av avloppsvattnet under språngskiktet har betydelse.

se. Dock kan även syreförbrukningen från sediment och algrester i bottenvattnet vara tillräckligt för att orsaka den observerade syrebristen.

Kväve

Den dominerande förekomstformen i avloppsvattnet från reningsverket är ammoniumkväve. Det är också ammonium som står för huvuddelen av syreförbrukningen i reningsverkets utsläpp till Kyrkviken (> 80 %). När temperaturen är hög och syrehalten hög omvandlas ammoniumkväve till nitratkväve (nitrifikation), vilket är en process som är syreförbrukande. Teoretiskt förbrukar 1 kg ammoniumkväve 4,6 kg syre vid omvandling till nitratkväve. Vid låg temperatur sker nitrifikationen mycket långsamt (månader) medan samma process sker på något dygn när vattnet är varmt på sommaren. I Figur 5 redovisas ammoniumhalten i Kyrkvikens bottenvatten under 2008-2009. Halterna var mycket höga i mars 2008 då provtagningarna påbörjades och under vintern 2008-2009, beroende på inlagring av avloppsvatten från reningsverket. (I mars 2008 hade vattnet ej omblandats av vinden när prov togs direkt efter islossning.) Halterna var också något förhöjda under sensommaren 2008 och 2009. I detta fall kan orsaken vara nedbrytning av organiskt kväve i samband med syrebrist, vilket är ett normalt fenomen i bottenvatten vid syrebrist.

I Kyrkvikens ytvatten var ammoniumkvävehalterna generellt låga under hela undersökningsperioden.

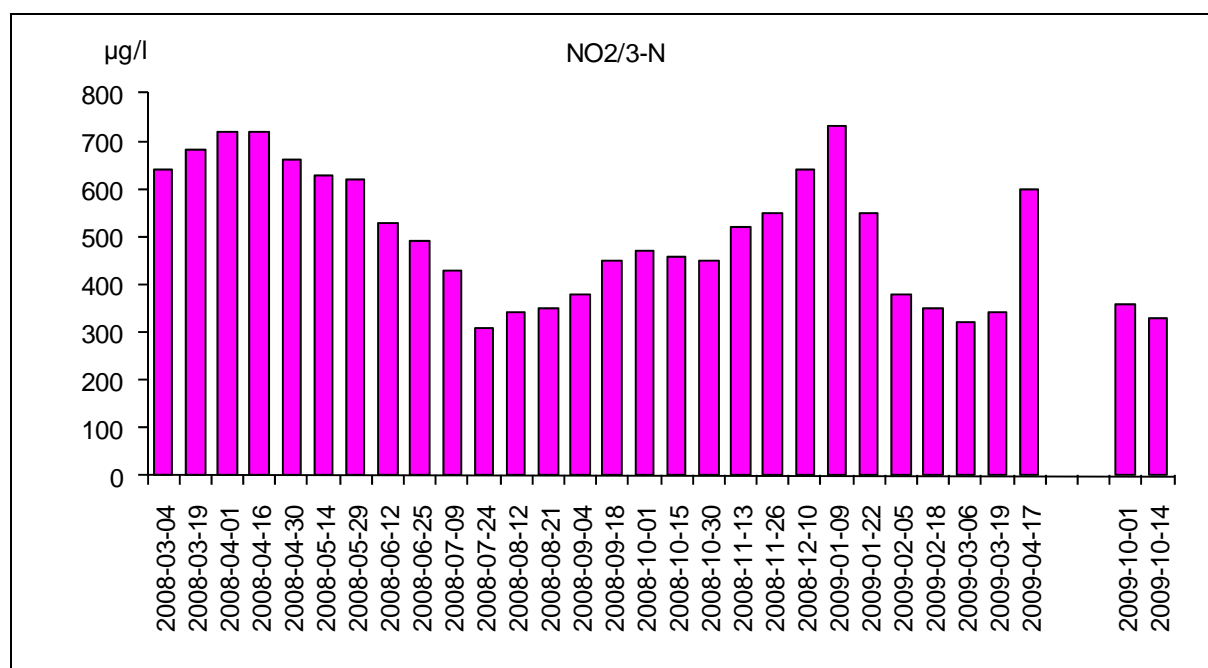


Figur 5. Ammoniumkvävehalt i Kyrkvikens bottenvatten vid station 1 april 2008-oktober 2009. Efter april 2009 har analys endast skett den 1 och 14 oktober.

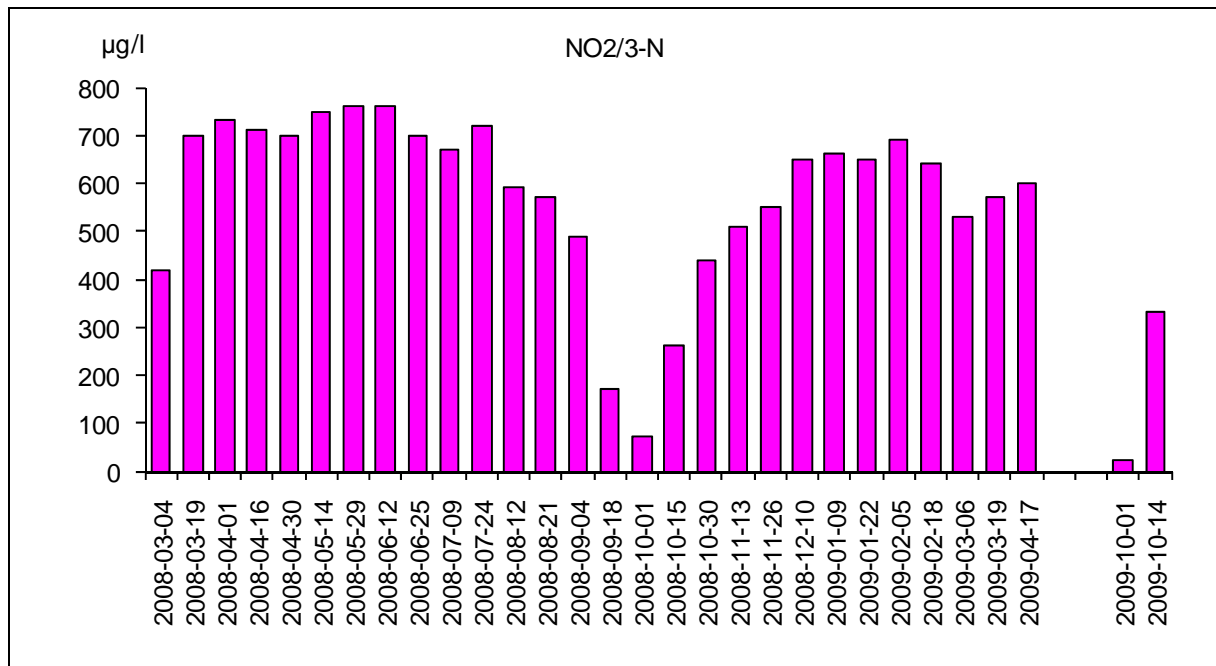
Under vintern 2009/2010 gjordes en utredning av utsläppens påverkan från ett reningsverk i Norra Bergundasjön i Växjö. Denna utredning (ALcontrol 2010) som genomförts i samarbete mellan ProVAb och ALcontrol visade att huvuddelen (>90 %) av det ammoniumkväve som

släpps ut under vintern när sjön är isbelagd kvarstår som ammoniumkväve och oxideras till nitratkväve först efter att vårcirkulationen kommit i gång.

Nitratkvävehalterna i ytvattnet i Kyrkviken (Figur 6) ökade som en följd av tillflöde i samband med vår- och höstcirkulation. Även oxidation av ammoniumkvävet som upplagrats i bottenvattnet under vintern bidrog till en ökning av nitratkvävet under våren. 2008 förekom högsta halter i samband med vårfloden i början på april och i samband med nederbördspåverkan i december och början av februari. Under sommaren 2008 och 2009 minskade nitratkvävehalterna i ytvattnet till följd av upptag i alger. Dock fanns kväveöverskott i form av tillgängligt nitratkväve båda somrarna. Under hela perioden 1997-2009 har lägsta uppmätta nitratkvävehalt i ytvattnet varit 190 µg/l (källa By- och Borgviksälvens VVF).



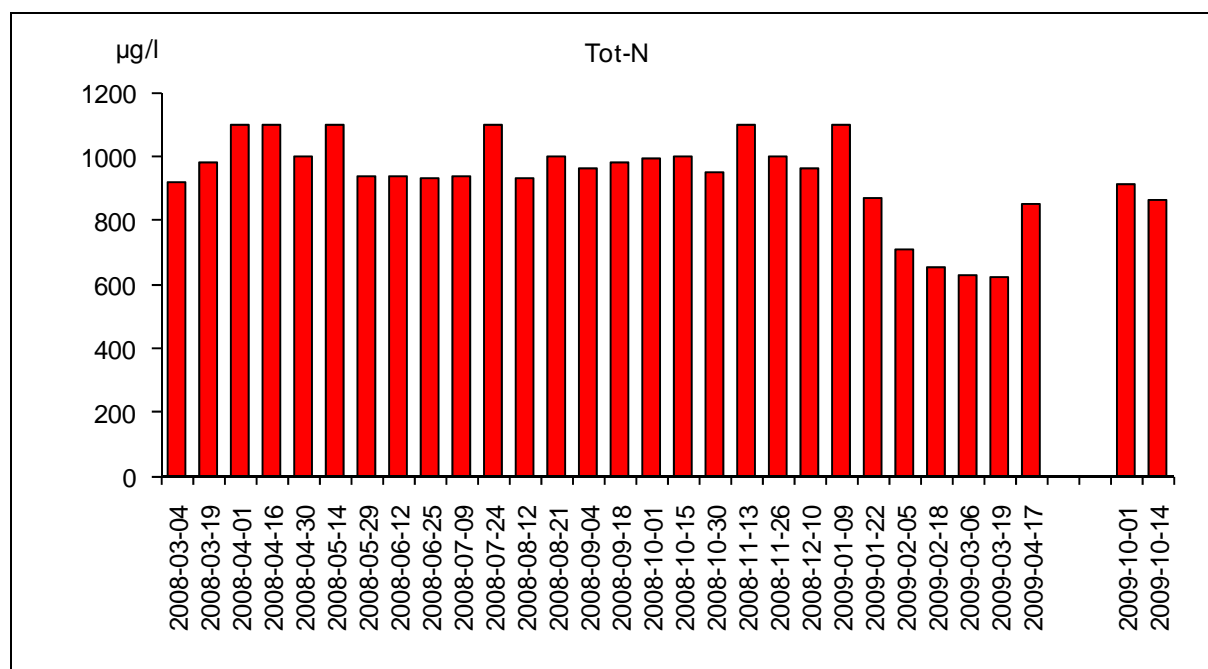
Figur 6. Nitratkvävehalt i Kyrkvikens ytvatten vid station 1 april 2008-oktober 2009. Efter april 2009 har analys endast skett den 1 och 14 oktober.



Figur 7. Nitratkvävehalt i Kyrkvikens bottenvatten vid station 1 april 2008-oktober 2009. Efter april 2009 har analys endast skett den 1 och 14 oktober.

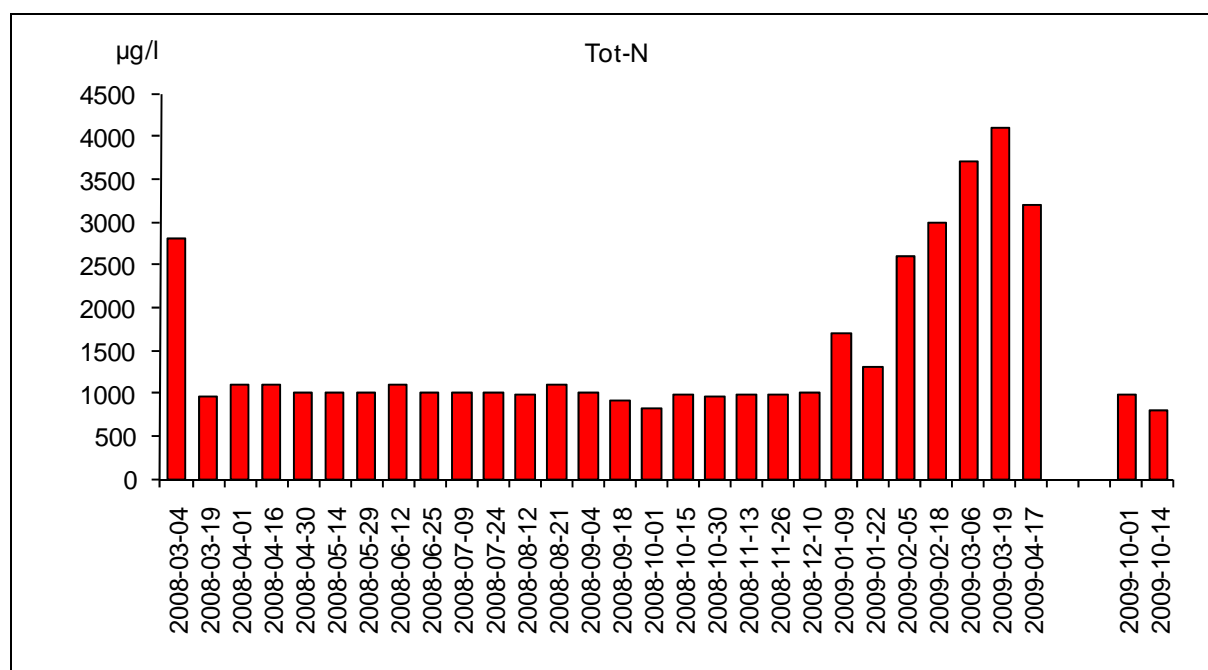
I bottenvattnet (Figur 7) skedde en markant minskning av nitratkvävehalterna under sommarperioderna 2008 och 2009, vilket berodde på att nitratkvävet omvandlades till kvävgas (denitrifikation) i samband med syrebrist. Endast vid ett tillfälle under perioden 1997-2009 har en markant minskning av nitratkvävehalten skett i bottenvattnet under vintern. Detta var i mars 1999 då nitratkvävehalten var 50 µg/l. Under mars 1999 uppmättes den största inlagringen av avloppsvatten från reningsverket i bottenvattnet. Ammoniumhalten var då 4500 µg/l, alkaliniteten 1,18 mekv/l och konduktiviteten 25,6 mS/m.

I Figur 8 och Figur 9 redovisas totalkvävehalterna i Kyrkvikens vatten 2008-2009. I ytvattnet var halterna relativt konstanta med undantag för vinterperioden då vatten från tillflöden inlagrades under isen utan omblandning. Den minskning som sker av nitratkväve under sommaren i ytvattnet återspeglas inte i minskade totalkvävehalter. Detta beror på att nitratkvävet omvandlas till organiskt kväve via upptag i alger.



Figur 8. Totalkvävehalt i Kyrkvikens ytvatten vid station 1 april 2008-oktober 2009. Efter april 2009 har analys endast skett den 1 och 14 oktober.

I bottenvattnet ökade totalkvävehalterna under vintern beroende på inlagring av ammonium från reningsverket.



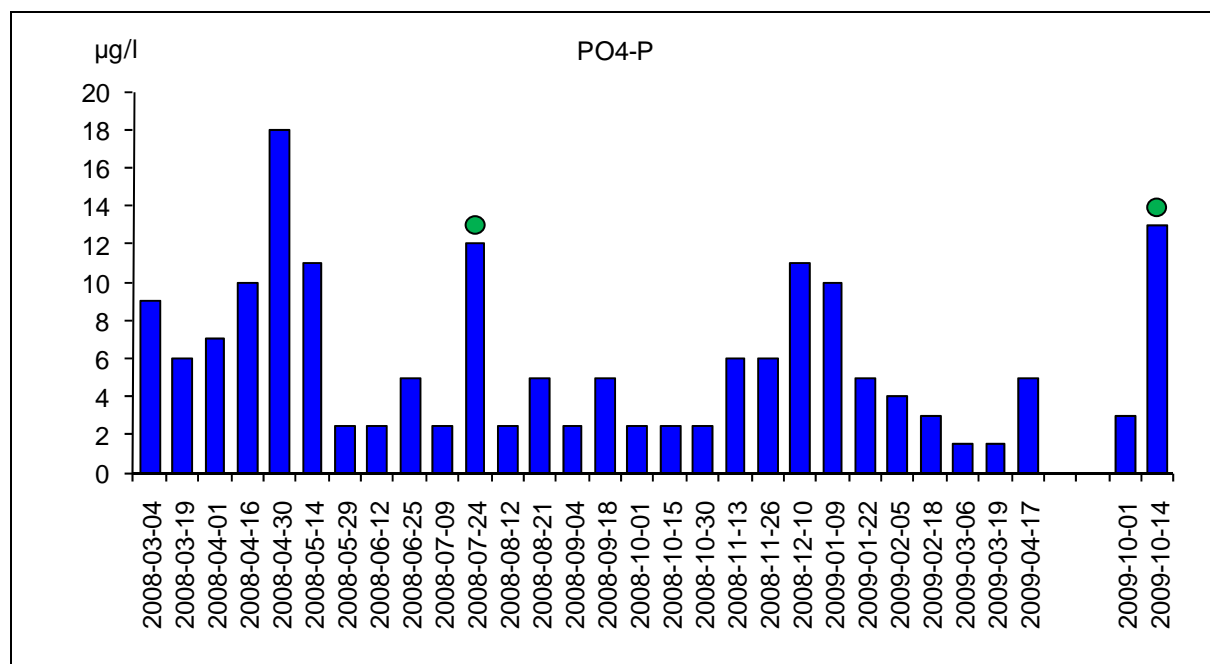
Figur 9. Totalkvävehalt i Kyrkvikens bottenvatten vid station 1 april 2008-oktober 2009. Efter april 2009 har analys endast skett den 1 och 14 oktober. Observera annan skala än för ytvattnet.

Fosfor

Fosfor är det växtnäringsämne som har avgörande betydelse för uppkomsten av algblomningar i sjöar. Det är den lättillgängliga fosfatfosfor som tas upp av algerna. I Kyrkviken har algblomningar förekommit vid upprepade tillfällen under den senaste tioårsperioden. Dock har den ordinarie recipientkontrollen som sker i regi av By- och Borgviksälvens Vattenvårdsförbund under sensommar (augusti) och senvinter (mars/april) endast lyckats pricka in en algblomning under hela perioden 1997-2009. Detta var 2007 då en klorofyllhalt på 60 µg/l uppmättes i augusti.

Totalfosforhalterna i ytvattnet har generellt sett varit måttligt höga, vilket normalt inte resulterar i några algblomningar. Detta stämmer väl överens med resultaten från den ordinarie recipientkontrollen. Dock kvarstår det faktum att algblomningar registrerats ganska regelbundet i Kyrkviken. I Figur 10 redovisas fosfatfosforhalten i Kyrkvikens ytvatten. Av denna framgår att stora variationer förekommer där de högsta halterna uppmättes i samband med stor vattentillrinning till sjön, t.ex. i slutet av april, den 24 juli och under senhösten 2008 samt efter att språngskiktet brutits i oktober 2009. Eftersom lättillgänglig fosfatfosfor kan frigöras i bottenvattnet vid syrebrist kan denna fosfor föras upp i ytvattnet och vid vissa tillfällen ge upphov till algblomningar efter att temperaturskiktningen bryts under vår och höst. Under våren är dock förhållande mindre gynnsamma för algblomningar.

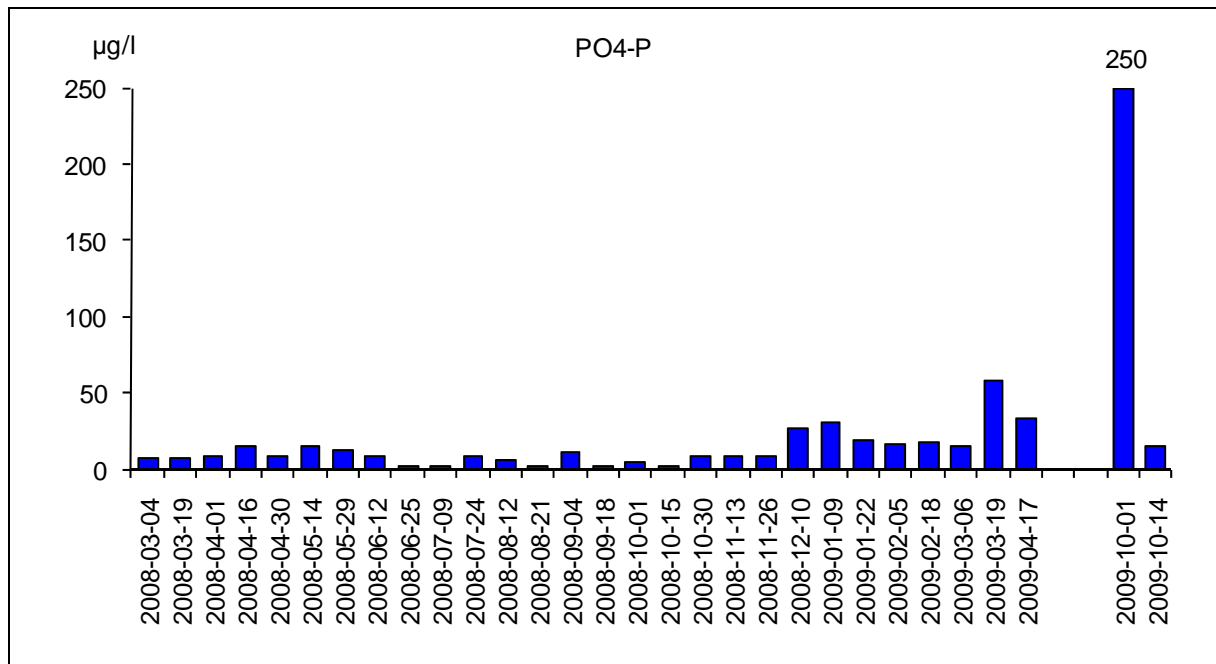
Under vintrar då syretäringen är begränsad sker inga nämnvärda ökning av fosfatfosforhalten när vårcirkulationen börjar så till vida att denna inte sammanfaller med stor vårfloed och extern fosfattillförsel. Ingen nämnvärd ökning av fosfathalten skedde i samband med islossningen 2008 och 2009 (Figur 10).



Figur 10. Fosfatfosforhalt i Kyrkvikens ytvatten vid station 1 april 2008-oktober 2009. Efter april 2009 har analys endast skett den 1 och 14 oktober. Grön punkt markerar observerad algblomning.

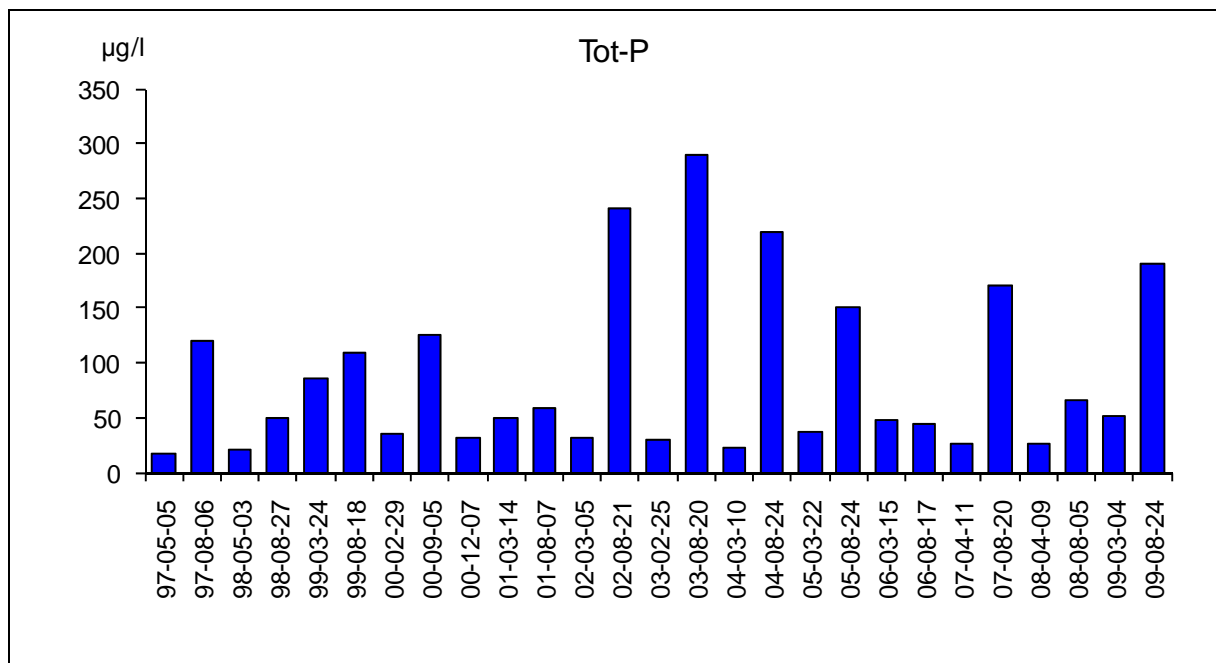
I Figur 11 redovisas fosfatfosforhalten i Kyrkvikens bottenvatten 2008-2009. Av denna framgår att en viss mängd fosfatfosfor frigörs i samband med längre perioder av syrebrist, vilket var fallet vintern 2008-2009 och hösten 2009 (Figur 16). Undersökningar i regi av Byälvens vattenvårdsförbund (1997-2009) visar att halten totalfosfor och därmed också fosfatfosfor i bottenvattnet som regel är låg under vinterperioderna. I de flesta fall ligger totalfosforhalten mellan 20-40 µg/l. I stället var fosforhalten betydligt högre under sensommaren (50-250 µg/l).

Syrgasförhållandena i bottenvattnet under sommaren 2008 och 2009 skiljde sig åt genom att låga syrgashalter < 4 mg/l, inträffade i bottenvattnet relativt sent 2008 (juli) och tidigt 2009 (februari). Den mer omfattande syrebristen under 2009 ledde till en betydligt högre fosfatfosforhalt i bottenvattnet med ett extremvärde på 250 µg/l som högst den 1/10 (Figur 11).



Figur 11. Fosfatfosforhalt i Kyrkvikens bottenvatten vid station 1 april 2008-oktober 2009. Efter april 2009 har analys endast skett den 1 och 14 oktober. Observera annan skala än för ytvattnet.

Under perioden 1997-2009 översteg totalfosforhalten i bottenvattnet 100 µg/l vid nio av trettion sensommarprovtagningar, vilket tyder på att syrebrist orsakat utläckage av fosfatfosfor. Endast sommaren 1998, 2001, 2004 och 2008 understeg halten 100 µg/l i bottenvattnet.



Figur 12. Totalfosforhalt i Kyrkvikens bottenvatten (Ky2 = station 1) 1997-2009. Källa Byälvens vatten-vårdsförbund.

Variationen i fosfatfosforhalt (Figur 10) och totalfosforhalt (Figur 14) under 2008-2009, som till stor del är kopplad till tillrinningen, och förhöjda fosforhalter i bottenvattnet under sen-

sommar 1997-2009 (Figur 12) samt observerade algbloomningar, pekar på att tillförsel av fosfor till sjön via vattendrag och dagvatten/bräddning samt läckage från sediment, under år med omfattande syrebrist under sommaren orsakar ökning av fosforhalter i sjön. Dessa ökning orsakar algbloomningar när fosforökningarna sammanfaller med gynnsamma väderleksförhållanden (värme, sol och lugnt väder). Detta var fallet i slutet på juli 2008 då ett kraftigt regn som åtföljdes av värme och sol resulterade i en omfattande algbloomning i Kyrkviken (Figur 13). Då den period som fosforhalten är förhöjda under hösten p.g.a. omblandning av bottenvatten är kort bedöms risken för algbloomningar vara mindre än vid fosfortillskott under sommaren. Sannolikheten att brytningen av skiktningen, vilket förutsätter blåsig väder under hösten, skall följas av en lugn period med värme inom några dagar efter brytningen är liten.

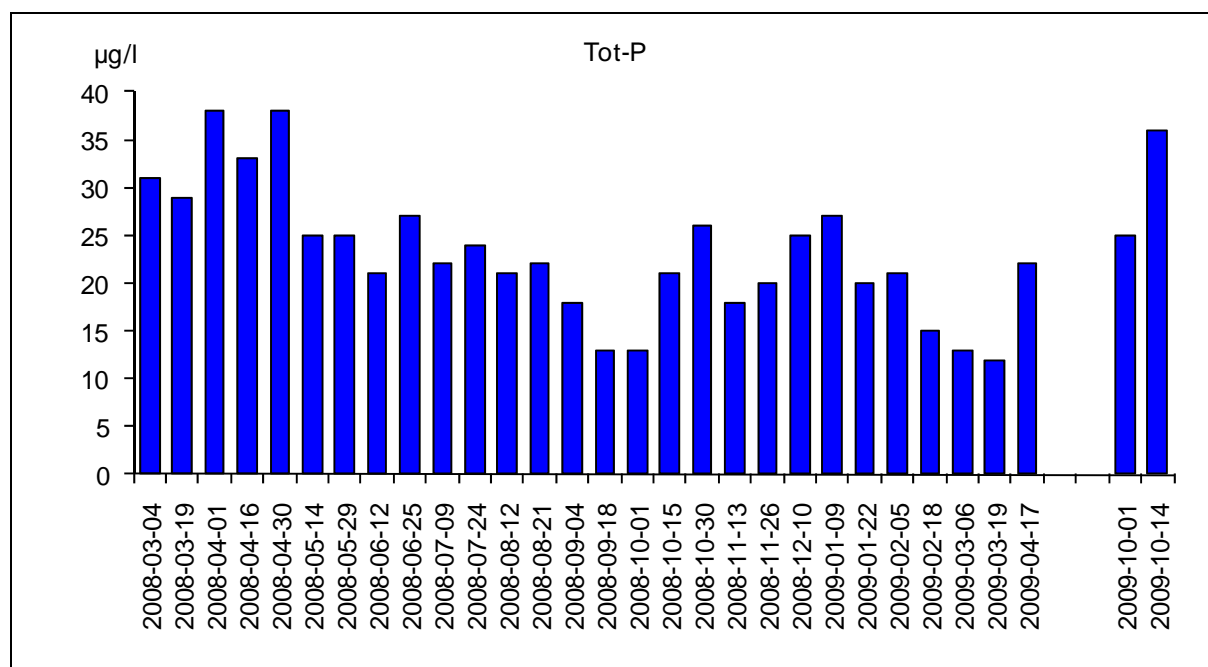
Det är ofta en snabb ökning av lättillgänglig fosfatfosfor som startar algbloomningar. Detta kan ske även om totalfosforhalten är förhållandevis låga. I Mellan-Fryken, som är en sjö med betydligt lägre fosforhalter än Kyrkviken, har omfattande algbloomningar skett två gånger de senaste 20 åren. Båda gångerna sammanföll stor vattentillrinning med efterföljande värmebölja. I Mellan-Frykens närområde finns stora jordbruksområden och bebyggelse samtidigt som marklutningen är stor mot sjön, vilket gör att en stor ytavrinning under kort tid kan tillföra en stor mängd lättillgängligt fosfor.



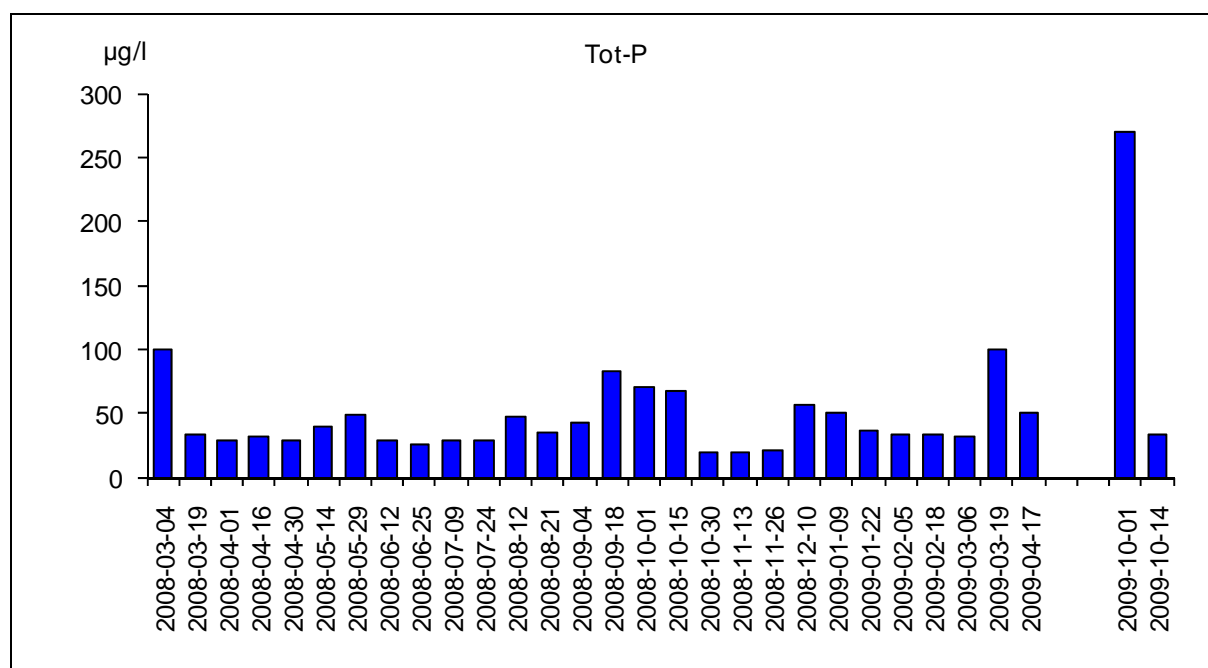
Figur 13. Algbloomning i Kyrkviken den 24 juli 2008.

I Figur 14 redovisas totalfosforhalterna i Kyrkvikens ytvatten under perioden 2008-2009. Av denna framgår att halterna ökade i samband med tillrinning på våren (vårflod) och hösten samt vid höstcirkulationen 2009. Minskningar kan noteras under sensommar och senvinter beroende på sedimentering och upptag i alger. Det är också under sensommar och senvinter som provtagning sker i vattenvårdsförbundets regi, vilket innebär att provtagning normalt sker när halterna är som lägst. Utgående från genomförda recipientundersökningar inom ramen för By- och Borgviksälvens VVF klassas Kyrkviken som måttligt näringsrik. Av undersökningarna 2008-2009 framgår dock att det periodvis råder näringsrikt (totalfosforhalt $\geq 25 \mu\text{g/l}$) tillstånd i sjön.

I bottenvattnet (Figur 15) gäller i stort sett det omvända förhållandet jämfört med ytvattnet. Halterna ökar under sensommar och senvinter dels beroende på anrikning av fosfor via sedimentering men också genom att fosfatfosfor frigörs från sedimentet vid syrebrist.



Figur 14. Totalfosforhalt i Kyrkvikens ytvatten vid station 1 april 2008-oktober 2009. Efter april 2009 har analys endast skett den 1 och 14 oktober.



Figur 15. Totalfosforhalt i Kyrkvikens bottenvatten vid station 1 april 2008-oktober 2009. Efter april 2009 har analys endast skett den 1 och 14 oktober. Observera annan skala än för ytvattnet.

Fosforfraktionering av sediment

Genom att utsläpp av kommunalt avloppsvatten skett till Kyrkviken under de senaste 100 åren har fosfor tillförts till sjön i betydande omfattning. För att fastställa vilka fosformängder som finns upplagrade i sedimenten samt i vilken grad fosfor är biologiskt tillgänglig för produktion av alger och högre växter togs sedimentprover 2008 varvid halten av olika förekommande fosforfraktioner bestämdes i sediment. Fosforfraktioneringen utfördes av Naturvatten i Roslagen AB och sedimentprover togs på tre platser i sjöns djupområde.

Den fosformängd som beräknas kunna frigöras med tiden under ogynnsamma förhållanden (syrgasbrist) är låg; $1,5 \text{ g P/m}^2$ (P=fosfor). Med stöd av detta värde kan det potentiella fosfortillskottet från sedimentytor på syrefria områden beräknas. Under vintern kan det vara syrefritt under 12 m djup, vilket motsvarar en yta på 291 ha (= $2\,910\,000 \text{ m}^2$). Under sommaren är det ofta syrefritt under nivån 8 m djup, vilket motsvarar en yta på 412 ha ($4\,120\,000 \text{ m}^2$). Dessa sedimentytor skulle teoretisk kunna läcka ut 4,4 ton (vinter) respektive 6,2 ton fosfor (sommar).

Kyrkviken har en volym på $59\,500\,000 \text{ m}^3$. Vid en genomsnittlig halt på 20 µg/l ger detta en sammanlagd mängd fosfor 1,2 ton fosfor i vattenmassan. Vid syrebrist har man dock uppmätt halter på $100\text{--}200 \text{ µg/l}$ i bottenvattnet ($\geq 12 \text{ m}$). En beräkning med en halt på 150 µg/l i bottenvattnet ($6\,000\,000 \text{ m}^3$) och en halt på 20 µg/l i övrigt vatten ($53\,500\,000 \text{ m}^3$) skulle ge en sammanlagd mängd fosfor på 2,1 ton. Av denna mängd har ca 0,9 ton beräknats komma från bottenskiktet ($2,1 - 1,2 = 0,9 \text{ ton}$). Således verkar endast ca 20 % av den tillgängliga fosforpoolen (4-6 ton) att frigöras vid syrebrist. I samband med att sjön börjande cirkulera hösten 2009 ökade fosforhalten i ytvattnet från 25 till 36 µg/l . Räknat på hela sjövolymen motsvarade detta ett tillskott på ca 650 kg fosfor, vilket ligger ganska nära den beräknade mängden på upp till

900 kg (0,9 ton). I samband med cirkulationen hösten 2008 ökade fosforhalten med 8 µg/l i sjön, vilket motsvarar ett tillskott på 475 kg.

Då en stor del av fosfor i sedimentet är hårt bunden t.ex. till lera och fällningsrest från reningsverket samt är hårt järnbundet, bedöms det ej vara relevant och kostnadseffektivt att behandla sedimenten med polyaluminiumklorid för att binda upp lättillgänglig fosfor.

Utgående från resultaten av fosforfraktioneringen bedöms således inte sedimenten vara en betydande fosforkälla i Kyrkviken, jämfört med flertalet näringsrika sjöar. Därför bedöms inte heller åtgärder för att öka den fosforbindande förmågan behövas. I sedimenten finns dock en stor pool järnbundet fosfor som visade sig vara relativt svårörlig.

Fosfortillskottet från sedimentet vid syrebrist har beräknats till ca 900 kg, utgående från mätningar i sjön. Detta kan jämföras med utsläppet från avloppsreningsverket som är ca 600 kg. Således är sannolikt tillskottet från sedimentet av större betydelse än utsläppet från reningsverket. Dock återstår fosfor från dagvatten, tillflöden och bräddning i dagvattennätet. "Fosforhaltigt" vatten från dessa källor rinner dessutom direkt ut i det produktiva ytvattenskiktet i sjön där algbloomingar kan ske. Både utsläppet från reningsverket liksom tillförsel från sedimenten belastar främst bottenvattnet och förs därför upp till ytskiktet endast under vår och höst när sjön cirkulerar.

Undersökningar i tillflöden alt Källbidrag av fosfor och kväve

Provtagning i sjöns huvudtillflöden utfördes under perioden mellan juni 2008 t.o.m. juni 2009 i Sävsjökanalens, Mötterudsbäckens och Viksälvens nedre del liksom i Viksälven uppströms Arvika (Figur 1). Vattendragen är både påverkade av jordbruk och enskilda avlopp samt av dagvattenutsläpp och eventuell bräddning från avloppsnätet i Arvika tätort. Provtagning utfördes en gång/månad. Följande medelhalter uppmättes i vattendragen:

Viksälven uppströms – totalfosfor 17 µg/l, totalkväve 379 µg/l
Viksälven nedströms – totalfosfor 52 µg/l, totalkväve 510 µg/l
Sävsjökanalen nedströms – totalfosfor 115 µg/l, totalkväve 885 µg/l
Mötterudsbäcken nedströms – totalfosfor 111 µg/l, totalkväve 891 µg/l

Fosforhalterna i utflödesområdena till Kyrkviken var generellt mycket höga till extremt höga och betydligt högre än vad som man kan förvänta sig utgående från förekommande markanvändning vid Sävsjökanalen och Mötterudsbäcken. Detta tyder på ett stort tillskott av fosfor från annan källa än markanvändning t.ex. dagvatten, bräddning och/eller enskilda avlopp. Utgående från SMHI-Hypemodellen kan man få fram vattenföring, samt fosfor- och kvävetransporter för Viksälven och Sävsjökanalen utgående från förekommande markanvändning. Baserat på dessa data kan man beräkna medelhalter för respektive vattendrag för samma period, vilka redovisas nedan:

Viksälven – totalfosfor 51 µg/l, totalkväve 4124 µg/l
Sävsjökanalen – totalfosfor 37 µg/l, totalkväve 970 µg/l
(Data saknas för Mötterudsbäcken)

För Viksälven stämmer den modellerade fosforhalten ganska väl med den uppmätta halter medan kvävehalten avviker kraftigt. I detta fall bedöms Hype-värdet för kväve som orealistiskt högt. Sannolikt har man i Hype-modellen inte tagit hänsyn till att en stor del av jordbruksmarken ligger i träda eller används till vall.

För Sävsjökanalen gäller det omvända. Uppmätt fosforhalt är betydligt högre än beräknat från Hype troligen beroende på att tillskott från enskilda avlopp är underskattat. Kvävehalten överensstämmer dock ganska väl.

Under 2010 påbörjades provtagningen i tillflödena i slutet av mars med en frekvens av provtagning varannan vecka. Dessa prover har fr.o.m. 29 mars t.o.m. 25 november gett följande halter:

Viksälven uppströms – totalfosfor 18 µg/l, totalkväve 462 µg/l
Viksälven nedströms – totalfosfor 31 µg/l, totalkväve 462 µg/l
Sävsjökanalen uppströms - totalfosfor 78 µg/l, totalkväve 1032 µg/l
Sävsjökanalen nedströms – totalfosfor 71 µg/l, totalkväve 981 µg/l
Mötterudsbäcken uppströms - totalfosfor 36 µg/l, totalkväve 638 µg/l
Mötterudsbäcken nedströms – totalfosfor 63 µg/l, totalkväve 867 µg/l

Halterna som uppmättes under 2010 var med avseende på fosfor lägre än under föregående period 2008-2009. Detta berodde sannolikt på att provtagningen under perioden 2008-2009 i större grad sammanföll med nederbörd och ytavrinning än under 2010. Fosforhalterna i berörda vattendrag är till stor del flödesrelaterade med starkt ökade halter med ökat flöde. En interkalibrering på vatten från ingående stationer i rinnande vatten genomfördes i september 2010. Denna visade endast små avvikelser mellan ALcontrol som utförde analyser på fosfor, kväve och organiska ämnen 2010 och laboratoriet på Vik som utförde motsvarande analyser 2008-2009. Avvikelsen för laboratoriet på Vik jämfört med ALcontrol var -6 % för fosfor, 0 % för kväve och -7 % för TOC. Dessa avvikelser är så små att de bedöms sakna betydelse i sammanhanget.

Utgående från uppmätta halter 2008-2009 har transporterade mängder av fosfor (kg) och kväve (ton) beräknas för sjöns tillflöden och utlopp. Dessa värden redovisas i Tabell 2. Tillskott från sediment har bedömts vara ca 600 kg/år. Luftnedfallet av fosfor över Kyrkviken kan beräknas till 48 kg/år utgående från ett antagande av att nedfallet uppgår till 8 kg/km² år.

Totalt från Viksälven, Sävsjökanalen och Mötterudsbäcken blir summan 2,4 ton fosfor och 23,5 ton kväve, vilket kan jämföras med utsläppet från reningsverket som var ca 448 kg fosfor och 56 ton kväve 2009. När det gäller fosfor, som är styrande för algbloomningar är således tillskottet från tillflödena betydligt större än från reningsverket.

Beroende på att vattenutbytet ej är känt när denna rapport skrivs kan inte en fullständig budget med retentionsberäkningar redovisas.

Tabell 2. Beräknad tillförsel av fosfor och kväve till Kyrkviken 2008-2009

	Fosfor kg/år	Kväve kg/år
Viksälven	1273	13300
Sävsjökanalen	990	8500
Mötterudsbäcken	173	1700
Kyrkvikens närområde (exkl dagvatten)	69	1200
Reningsverket	448	56000
Dagvatten i närområde	196	1300
Luftnedfall	48	3900
Läckage sediment	600	0
Summa tillskott	3797	85900

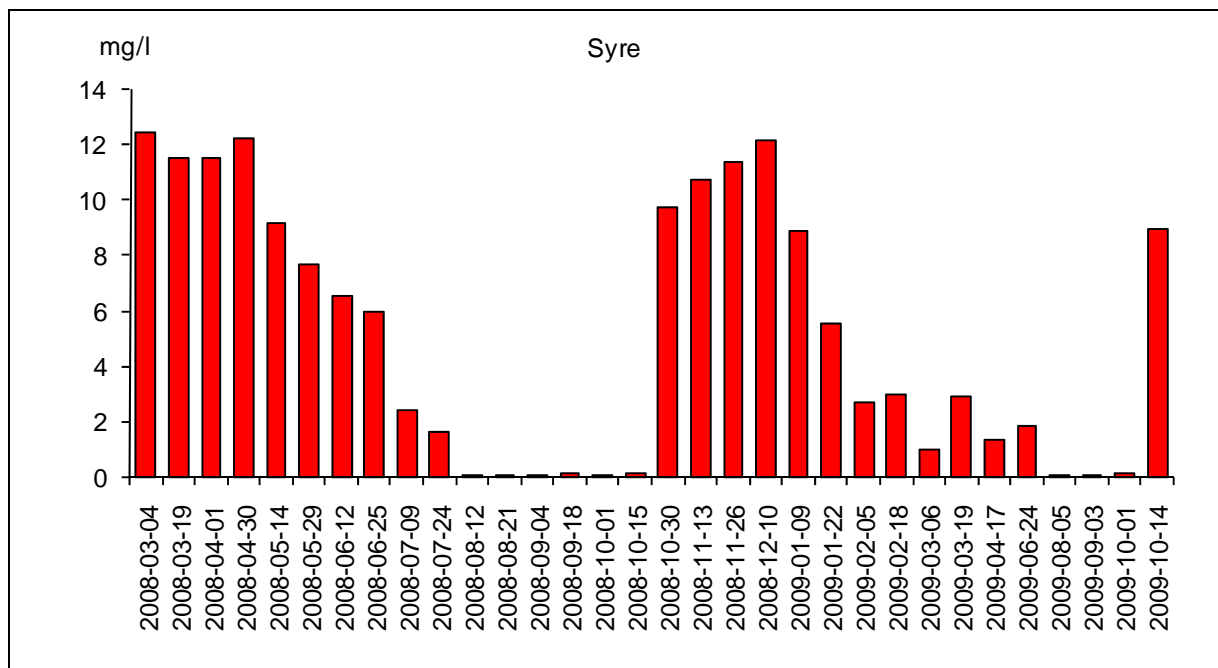
Utgående från den haltökning som skedde i samband med skyfallet i juli 2008 kan en beräkning av fosfortillskottet göras utgående från antagandet att halten är den samma från ytan ner till språngskiktet. Då ökade totalfosforhalten med 2 µg/l och fosfathalten med minst 7 µg/l. Språngskiktet låg under denna period på nivån ca 6 m. Volymen i ytvattenskiktet (0-6 m) uppgår till 29 750 000 m³. Detta innebär en ökning med 60 kg (från 645 till 714 kg) med avseende på totalfosfor och ca 280 kg (från <149 kg till 357 kg) med avseende på fosfatfosfor. Provtagningen utfördes några dagar efter skyfallet. Troligen hade en del tillförd fosfor hunnit sedimentera i Kyrkviken samtidigt som tillförda partiklar hade aggregerat med fosfor som fanns i sjövolymen vilka också till viss del hade sedimenterat, vilket förklarar skillnaden i ökning av totalfosforhalt och fosfatfosforhalt. Lösligt tillförd lättillgänglig fosfatfosfor fanns dock kvar i vattenvolymen. Sannolikt tillfördes mer än 280 kg fosfatfosfor till sjön i samband med det aktuella skyfallet.

Mellan den 18 och 30 april 2008 (under vårcirkulation) i samband med högflöde ökade fosfathalten från i medeltal 11 till 17 µg/l (+ 6 µg/l) i skiktet 0-8 m som upptar en volym på 38 700 000 m³. Detta ger ett tillskott på ca 230 kg fosfatfosfor. Således verkar det som om det kan tillföras åtminstone 200-300 kg fosfatfosfor från tillflöden, dagvatten och eventuell brädd i samband med tillfälliga högflöden. Då en del av den tillförda fosfatfosfor sannolikt hade aggregerat och sedimenterat innan berörda provtagningar genomfördes var sannolikt de momentana tillskotten större. Utgående från genomförda undersökningar och observationer av algblomningar bedöms det som sannolikt att tillskott i nämnda mängder kan utlösa algblomningar. Som tidigare nämnts kan också tillskottet från sediment ge likartade effekter i samband med att språngskiktet bryts under hösten. Hösten 2009 tillfördes 650 kg fosfor från sedimentet som utlöste en algblomning.

Huruvida det är fosforkällor via dagvatten, bräddning eller jordbruk/enskilda avlopp m.m. som är orsaken till de stötvisa fosfortillskotten får fortsatta undersökningar visa. ***

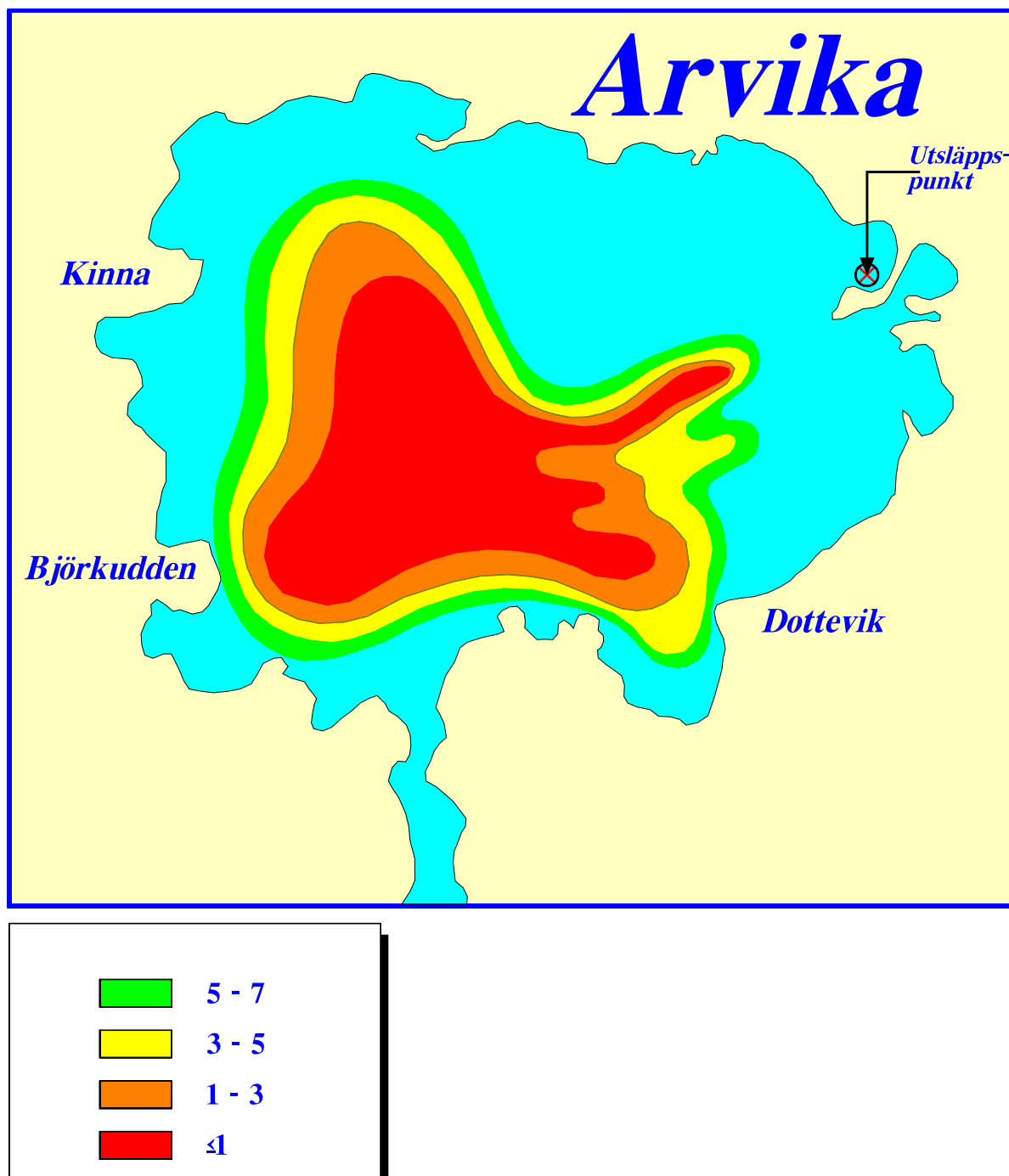
Syre

Syrehalterna i Kyrkvikens bottenvatten 2008-2009 redovisas i Figur 16. Av denna framgår att syrehalterna minskar under stagnationsperioderna (när sjön är skiktad) på vintern och sommaren. Jämförelse mellan sommaren 2008 och 2009 visar att syreförhållandena var mer ansträngda 2009. Den 25 juni 2008 var syrehalten 6 mg/l och den 24 juni 2009 var motsvarande syrehalt 1,8 mg/l. Skillnaden mellan dessa år var främst att vårflo den var betydligt större 2009 jämfört med 2008. Således verkar tillförseln av organiska ämnen från tillflöden, dagvatten m.m. ha stor betydelse för syrebrist i sjöns bottenvatten under sommaren.



Figur 16. Syrehalt i Kyrkvikens bottenvatten vid station 1 april 2008-oktober 2009.

Syrebristen i Kyrkviken är omfattande. Under sensommaren kan det vara syrefritt ända upp till språngskiktet som ligger på nivån 6-8 m. På vintern är syrebristen mer begränsad i djupled. Syrebrist förekommer då endast i de djupaste delarna av sjön (12-16 m). Eftersom djupområdet är mycket stort och utgör en jämförelsevis stor andel av Kyrkvikens yta kommer en stor del av sjöns botten att påverkas av syrebristen, vilket framgår av Figur 17.



Figur 17. Syrehalter i Kyrkvikens bottenvatten (mg/l) den 16-17 mars 2000. Källa KM lab 2000.

Syretäringsförsök på sediment

Syretäringsförsök utfördes av Naturvatten i Roslagen AB. Sedimentproppar togs på tre platser i sjöns djupområde. Sedimentpropparna inkuberades i 4 och 15°C i 12 respektive 10 dagar. Detta gav en syretäring på 5 mg syre/m²h vid 4°C och 12 mg syre/m²h vid 15°C. Uppmätt syreförbrukning (syretäring) var ej anmärkningsvärt hög utan bedöms ligga i nivå med opåverkade sjöar. Slutsatsen är att syretäringen i Kyrkvikens sediment inte bedöms vara förhöjd. I

Kyrkviken är det dock en jämförelsevis stor andel av botten som ligger under språngskiktet och förbrukar syre under sommaren varför även en normal syreförbrukning kan ha betydelse. Sjön bedöms vara skiktad under ca 4 månader på sommarhalvåret och isbelagd upp till 4 månader under vinter. Antar man att syretäringen är konstant under angiven tidslängd blir syreförbrukningen 14,4 g syre/m² vid 4°C och 34,6 g syre/m² vid 15°C under 4 månader. Utgående från de provtagningar som utförts under 2008-2009 är temperaturen botten är 2-3°C under is på vintern och 6-9°C under språngskiktet på sommaren. Med stöd av syretäringsförsöken bedöms syreförbrukningen bli 9,5 g syre/m² vid 2,5°C och 22,2 g syre/m² vid 7,5°C. Med dessa data beräknat på en sedimentyta på 606 ha (= 6 060 000 m²) under is 412 ha (4 120 000 m²) under nivån 8 m blir syreförbrukningen totalt 58 ton under is och 91 ton under språngskiktetsnivån 8 m under 4 månader. Detta kan jämföras med den teoretiskt beräknade syreförbrukningen från avloppsvattnet som är 84 ton för samma tidsperiod. Då beräkningen av sedimentytan ej tar hänsyn till topografin (bottens lutning i djupled) är ytberäkningarna sannolikt underskattade. Dock utgörs en del av sedimenten av erosions sediment som sannolikt har en lägre syretäring än de sediment som används vid försöken.

Det tillgängliga syreförrådet under språngskiktet (8 m) på sommaren är 167 ton, beräknat på en utgångshalt på 8 mg syre/l. Om allt renat avloppsvatten lagras in under språngskiktet innebär detta att normalförbrukningen från sediment och utsläpp från reningsverket blir 168 ton. Till detta skall läggas syreförbrukning från syretärande ämnen som finns i Kyrkvikens vatten som tillförs via tillflöden, dagvatten, bräddning och växt-/algproduktion i sjön. Således finns förutsättningar att förbruka allt syre under språngskiktet.

Under vintern lagras vattnet från avloppsreningsverket in närmast botten i sjöns djupområde (djup > 12 m) på en yta omfattande ca 291 ha (= 2 910 000 m²). I denna vattenvolym (6 miljoner m³) finns ett tillgängligt syreförråd på 72 ton (utgående från en starthalt på 12 mg/l). Detta kan jämföras med den teoretiska förbrukningen från avloppsreningsverket som är 77 ton och förbrukningen från sedimentet som är 28 ton. Under vintern när omvandlingen från ammonium till nitrat är mycket långsam bedöms endast en liten del av den potentiella syretäringen ske. Denna bedöms vara maximalt 14 ton utgående från erfarenheter från Norra Bergundasjön (ALcontrol 2010). Totalt kan således sediment och avloppsutsläppet tillsammans förbruka 42 ton av det tillgängliga förrådet på 72 ton syre varav sedimentet står för 67 % av syretäringen. Till detta skall adderas syretäring från de organiska ämnen som finns lösta eller suspenderade i själva bottenvattnet.

Under sommaren bedöms syreförbrukningen från sediment (91 ton) och avloppsvattnet (84 ton) vara av samma storleksordning. För att båda komponenterna skall ha lika stor betydelse för syrebristen i bottenvattnet förutsätter detta att allt avloppsvatten inlagras under språngskiktet, vilket sannolikt ej är fallet. När det blåser och vattnet är turbulent och när Viksälvens vatten är kallare än Kyrkvikens vatten, vilket gör att Viksälvens vatten inlagras efter botten, är förutsättningarna för omblandning och syresättning av avloppsvattnet goda. Vid sådana väderleksförhållanden lagras sannolikt inte avloppsvattnet in under språngskiktet.

Vad gäller syreförbrukningen från sediment och bottenvatten kan man förvänta sig att detta blir större under år med stor sedimentering (högflödesår) och lägre under år med liten sedimentering (torrår). Tillförseln av organiska ämnen via tillflöden är flödesberoende. Ett högflödesår blir halter av organiska ämnen (TOC) högre i tillrinnande vatten samtidigt som flödesmängderna blir större. Ett lågflödesår gäller motsatta förhållanden. Då blir halterna av or-

ganiska ämnen lägre i tillrinnande vatten samtidigt som flödesmängderna blir mindre. Då mängdbelastningen är produkten av halt och flöde gör detta att skillnaderna kan bli stora mellan enskilda år. Även fosforhalten i tillrinnande vatten är flödesberoende. Detta gör att fosforhalten på motsvarande sätt är högre och mängdbelastningarna av fosfor är större under ett högflödesår jämfört med ett lågflödesår. Produktionen av alger och därmed produktionen av organiska ämnen i sjön blir därför också normalt större under ett högflödesår.

År 2009 är att betrakta som ett högflödesår då nederbörden, särskilt under sommarhalvåret, varit betydligt större än normalt. År 2008, då sedimentproverna togs, kan betraktas som ett normalår. Under sommaren 2008 var syreförhållanden betydligt bättre i Kyrkvikens bottenvatten än under sommaren 2009 då syreförhållandena var mycket ansträngda. Eftersom ingen större skillnad förelåg med avseende på belastning från reningsverket tyder detta på att syretäringen i sediment och själva bottenvattnet har större betydelse för syrebristen på sommaren än utsläppet från avloppsreningsverket.

Diskussion

Av genomförda undersökningar har det framkommit starka indikationer på att belastningen av fosfor och organiska ämnen på Kyrkviken via vattendrag, dagvatten och eventuellt bräddning från avlopps nätet har stor betydelse för både syretäringen i sjön och förekommande algblomningar. Även fosforläckage från sediment i samband med längre perioder av syrebrist under sommaren, följt av gynnsam väderlek efter att språngskiktet har brutits på hösten kan ha betydelse för algblomningar i sjön. Algblomningar gynnas generellt av stötvis tillförsel av lättillgänglig fosfor (fosfatfosfor) i samband med riklig nederbörd och höga vattenflöden. Vilken kvantitativ betydelse bräddningen har går inte att fastställa med befintligt underlag men ett antal resultat och observationer pekar på att man inte helt kan bortse från detta källbidrag i samband med större skyfall. För närvarande har man kontroll på hur många timmar bräddning sker från nätet, dock ej på flöden. När det gäller bräddning från reningsverket i samband med högflöden görs mätningar av både flöden och halter. T.ex. var den totala bräddningen p.g.a. hög hydraulisk belastning (högflöden) 30 kg 2004, 2 kg 2005, 6 kg 2006 och 3 kg 2008. Dessa utsläpp från reningsverket bedöms som försumbara i sammanhanget och kan inte vara orsaken till algblomningar.

När det gäller bräddning på nätet kan man med utgångspunkt från att det behövs minst 50 kg fosfor vid skyfall för att detta skall ha någon betydelse för Kyrkviken, beräkna vilken bräddningsvolym som krävs. Vid bräddning i reningsverket ligger fosforhalten oftast mellan 3-4 mg/l i bräddat avloppsvatten som är förbehandlat (grovavskiljning/sedimentering). Obehandlat avloppsvatten ligger mellan 10-15 mg/l. Bräddat vatten på nätet är obehandlat men också blandat med regnvatten. Därför kan man förvänta sig en halt på ca 5 mg/l (avstämt med Stefan Alexandersson, reningsverket på Vik). Med detta som utgångspunkt blir den beräknade bräddningsvolymen 10 000 m³. I samband med skyfallet som inträffade den 13 augusti 2010 registrerades en bräddvolym vid reningsverket på ca 8 000 m³ (källa Stefan Alexandersson). En bräddning på nätet i storleksordning 10 000 m³ bedöms som fullt realistiskt i det aktuella fallet (källa Stefan Alexandersson). Den bräddning som skedde vid reningsverket den 13 augusti 2010 gav en beräknad fosforbelastning på ca 35 kg. Totalt kan således bräddningen ha

gett minst 85 kg fosfor (35 + 50 kg). Det bör dock påpekas att förekommande skyfall var ovanligt stort och att ett normalt skyfall (30-40 mm) ger ett lägre tillskott av fosfor.

I Arvika föll det i genomsnitt ca 60 mm regn den 13 augusti. Man kan antaga att huvuddelen av detta vatten blev ytavrinning. Dagvattenytorna i Arvika har en areal på ca 837 ha. Detta ger en vattenvolym på 502 000 m³. Om man antar att fosforhalten i dagvattnet uppgick till 0,1-0,2 mg/l blir detta 50-100 kg fosfor. (Uppmätt fosforhalt i Palmvikens dagvattenutsläpp var vid detta tillfälle 170 µg/l, vilket stöder kalkylerad halt). Summerar man brädd och dagvatten uppgår tillskottet till 140-190 kg fosfor. När det gäller dagvattnet, tillförs sannolikt mer fosfor beroende på renspolning i de dagvattenledningarna som mynnar i själva Kyrkviken. Både i dagvattensystemet vid Palmviken och Kattviken ligger de nedre grovt dimensionerade delarna av dagvattenledningarna i nivå med eller under Kyrkvikens nivå. Detta gör att det under perioder med litet eller normalt flöde står i det närmaste stillastående vatten i ledningarna varvid sedimentering sker. Vid Palmviken står det t.ex. normalt stillastående vatten ända upp till Palmviksrondden och i dagvattennätet som avvattnar östra innerstaden står det sjövattnet ända upp till Kyrkogatan. I samband med skyfall kommer en renspolning att ske som på en kort tid trycker ut sediment och inestående vattenvolym. På så sätt tillkommer fosfor som upplagrats under en längre tidsperiod.

I tillflödena bedöms flödena i samband med stora nederbörds mängder på dygnsbasis bli i samma storleksordning som vid en stor vårflod. I Sävsjökanalen kan högflödena normalt uppgå till upp till 2 m³/s enligt SMHI-Hype modellen. Motsvarande värden för Viksälven blir 5 m³/s och Mötterudsbäcken ca 0,4 m³/s. Med antagandet att fosforhalten är minst 100 µg/l exklusive inverkan från tillflöde av brädd- och dagvatten kan tillskottet från tillflödena uppskattas till 65 kg fosfor. Skulle halterna uppgå till 200 µg/l vilket inte bedöms som orealistiskt skulle belastningen uppgå till 130 kg fosfor. (Flödesviktad halt utgående på analyser på fosfor i tillflödena den 13/8 var 188 µg/l inklusive brädd.) Summerar vi alla tillskotten blir det totala tillskottet i storleksordningen 200-300 kg fosfor, vilket resulterar i haltökningar i nivå med vad som har verifierats i Kyrkviken i samband med högflöden. Till angivna siffror skall fosfor från renspolning av dagvattennätens lågområden och efterföljande högflöden i tillflöden adderas. Utgående från räkneexemplet är det högst sannolikt att de stötvisa fosfortillskotten i Kyrkviken vid skyfall, som utlöser algbloomingar, beror på den sammanlagda belastning från dagvatten, brädd och tillflöden.

Direktutsläpp av fosfor från avloppsreningsverket i Vik vid normal drift, bedöms ha en underordnad roll i sammanhanget. Belastningen från reningsverket uppgår normalt till ca 1,1 kg fosfor/dygn. Om renat avloppsvatten huvudsakligen inlagras under språngskiktet sommardag, skulle syreförbrukningen från avloppsvatten kunna bidra till att en viss del lättillgängligt fosfatfosfor frigörs från bottensedimentet. Detta skulle kunna ge algblooming i samband med att sommarskiktningen bryts på hösten och fosfor förs upp i ytvattnet. Utgående från genomförda undersökningar förutsätter dock detta att belastningen av syretärande ämnen från tillflöden och därmed också sediment har varit stor det aktuella året.

Fosfor från "gamla synder", d v s tidigare utsläpp under 1900-talet, bedöms inte vara huvudorsaken till algbloomingar i sjön, vilket är fallet i många sjöar i Sverige. Flera förekommande algbloomingar har skett före eller efter den kritiska perioden när sommarskiktningen bryts på hösten och uppträtt i samband med tillfälliga högflöden i kombination med gynnsam väderlek, vilket innebär perioder som är varma, soliga och vindstilla.

När det gäller syrebristen är sannolikt syretäring via sediment och organiska ämnen i bottenvattnet av störst betydelse. Syretäringen i sedimentet orsakas huvudsakligen av nedbrytning av organiskt material som tillförts via tillflöden och via produktion av organiskt material i sjön (alger/växter). Därför är syretäringen från sedimentet indirekt kopplat till tillförsel av organiskt material från tillflöden och från alg- och växtproduktion i sjön. Alg- och växtproduktionen är i sin tur kopplad till fosforhalten, särskilt till mängden lättillgänglig fosfatfosfor. Kan man minska tillförseln av fosfor, särskilt den stötvisa belastningen av fosfor, kan man sannolikt även minska syretäringen från sedimentet. För att kunna göra detta behöver man troligen minska den hydrauliska belastningen i dag- och spillvattennätet i kombination med åtgärder för att rena dag-/bräddvatten och minska fosforbelastningen i berörda vattendrag som mynnar i Kyrkviken. Sker inlagring av utsläppsvatten vid botten under språngskiktet på sommaren skulle åtgärder som ändrad utformning utsläppsrör och placering av utsläppspunkt kunna minska syretäringen liksom ökad nitrifikation i avloppsreningsverket. Det senare innebär dock en ganska stor investering och ökade driftkostnader.

Under vintern bedöms sedimentet stå för huvuddelen av syretäringen i bottenvattnet. Utsläppet från reningsverket bedöms ha mindre betydelse i sammanhanget.

Referenser

ALcontrol 2010. Växjö kommun. Effektbedömning av utsläpp från Sundets reningsverk till Norra Bergundasjön

Grahn, O. & Torstensson, H. 2008. Förslag till åtgärdsstrategi för att förbättra miljöförhållandena i sjön Kyrkviken Arvika

KM-Lab 2000. Kommunteknik Arvika. Utredning av Arvika reningsverks inverkan på Kyrkviken, mars 2000.

Kurt Pettersson 2009. Syretäring i sedimentproppar från Kyrkviken oktober 2008.

Naturvatten i Roslagen AB 2009. Utkast Fosfor i Kyrkvikens sediment.

ProVAb

är ett fristående personalägt konsult-/engineeringföretag inom miljö-, process- och vattenbyggnadsområdet med säte i Kramfors, Västernorrlands län.

Här finns vi



NordMiljö

Strandvägen 2

671 29 Arvika

070-63 11 800

0570-749430

olle.grahn@nordmiljo.se

KRAMFORS

Ringvägen 4
872 30 Kramfors
TEL: 0612-100 55
FAX: 0612-100 56

STOCKHOLM

Sjöängsvägen 17
192 72 Sollentuna
TEL: 08-444 39 30
FAX: 08-444 39 39

LINKÖPING

Nygatan 25
582 19 Linköping
TEL: 013-24 41 90
FAX: 013-24 41 99

ARVIKA

Strandvägen 2
671 29 Arvika
TEL: 0570-74 94 09
FAX: 0570-74 94 50

ÖRNSKÖLDSVIK

Uttersjö 111
890 50 Björna
TEL: 0661-240 88
FAX: 0661-240 88

SUNDSVALL

Skönhemsvägen 3
856 41 Sundsvall
TEL: 060-15 66 00
FAX: 060-15 66 01

SOLLEFTEÅ

Djupövägen 38
881 31 Sollefteå
TEL: 0620-104 95
FAX: 0620-104 96

GÖTEBORG

Masthuggsterassen 4B
413 18 Göteborg
TEL: 072-233 32 50
FAX: