

Bo Värnhed

Vattenvård

Tfn: 08-522 124 60

bo.varnhed@stockholmvatten.se



Inledning

I många år ansågs Flaten som Stockholms bästa badsjö, med påfallande stort siktdjup och begränsad planktongrumling. Under 1990-talet ökade fosforhalten kraftigt i sjön. Detta medförde återkommande blomningar av giftbildande blågrönalger som störde badlivet. Under 1999 genomfördes en utredning, som ledde fram till beslutet att sjöns bottenvatten, och framför allt dess sediment, skulle behandlas med ett aluminiumbaserat flockningsmedel. Behandlingen, som innebar att den lösta fosfor i bottenvattnet fälldes ut, och den fosfor som läckte ut från sedimenten bands/inaktiverades, genomfördes på sensommaren år 2000.

Föreliggande rapport beskriver sjöns tillstånd före och efter restaureringen, samt själva behandlingen och dess omfattning. Sjöns biologi – planktonalger, bottenfauna och fisk – kommer att behandlas i en särskild rapport.

Historik

Sjön Flaten ingår i Tyresåns sjösystem – ett stort sjösystem med mer än 30 sjöar – och avrinner till Drevviken. Sjön är belägen ca 10 km söder om Stockholms centrum, och är huvudsakligen omgiven av kuperad skogsmark. Den ligger inom ett planerat naturreservat, och dess stränder omfattas av strandskydd.

Flaten har ett livligt frekventerat strandbad, och är sedan gammalt ansedd som en utmärkt badsjö – kanske Stockholms bästa. Sjön upplåts också till fiske via Sportfiskekortet. Omgivningarna är populära strövområden för friluftsfolk och hundägare. En campingplats finns i anslutning till sjön.

Tillrinningsområdet

Cirka 250 ha – över 60 % av tillrinningsområdet, inklusive den norra bebyggda delen, avvattnas via det drygt kilometerlånga Flatendiket, som rinner till sjön norrifrån. Diket är i hela sitt lopp omgivet av koloniområden. Den södra delen av tillrinningsområdet - mestadels skogbevuxet - avrinner diffust till sjön. Den årliga tillrinningen via diket varierar mellan 0,6 och 0,9 Mm³.

Hydrologiska data

- Tillrinningsområdets yta: 403 ha
- Sjöyta: 63 ha
- Största djup: 13,6 m
- Medeldjup: 7,4 m
- Sjövolym: 4,56 Mm³
- Omsättningstid: 3 år
- Höh: 21,9 m

I samband med att Skarpnäcksfältet bebyggdes i början av 1980-talet, skedde flera väsentliga förändringar i tillrinningsområdet: Dagvattnet från vissa delområden avleddes åt annat håll, bort från Flaten, och allt dagvatten från Skarpnäcks koloniområde och Skogskyrkogården kopplades, på grund av dålig kvalitet, över till spillvattennätet. Skarpnäcksfältet ändrade karaktär, från i huvudsak grönområde, till bostads- och lätt industriområde. (Bil. 1).

Inom Skarpnäcks industriområde avleds idag dagvattnet från gator och gårdar till det kombinerade avloppsnätet, medan dagvattnet från takytor och grönområden leds kulverterat till Flatendiket. En mindre del av dagvattnet från flerfamiljsbebyggelsen – omkring de hårdast belastade genomfartsgatorna - leds till perkolationsbrunnar, varifrån det vid kraftigare nederbörd kan brädda till diket. Övrigt dagvatten från flerfamiljsbebyggelsen, plus avrinningen från halvannan kilometer av Tyresövägens sträckning avrinner, också det kulverterat, direkt till Flatendiket.

Dessa förändringar - som bara berörde avrinningen till det öppna Flatendiket - minskade sjöns tillrinningsområde med över 20 %. Stockholm Vattens flödesmätningar i diket under 80- och 90-talen visar på en motsvarande minskning av flödet. Senare års kontinuerliga flödesmätningar i utloppsbacken, ger sjön en omsättningstid på 2,5 till 3 år. (Tidigare uppskattningar, baserade enbart på tillrinningen, har legat på styvt 4 år). Skillnaden förklaras av ett stort grundvattenflöde – grundvattnets tillrinningsområde är betydligt större än ytvattnets, och omfattar förutom detta också hela skogskyrkogården, samt delar av Stockholmsåsen!

För att minska förorenings effekterna på sjön i samband med exploateringen, byggdes 1980 en ca 5000 m² stor, tvådelad damm, utanför Flatendikets mynning. Dammen har främst fungerat som avskiljningsbassäng för partikulärt material – vid undersökningar 1982-84 reducerades COD och totalfosfor med 30-40 % – men halterna av löst fosfor eller kväve minskade inte.

Närsaltsbelastningen

Årligen tillförs sjön 40-60 kg fosfor och cirka 1100 kg kväve med ytavrinningen. Denna externa belastning har inte ändrats nämnvärt från mitten av 80-talet. Tidigare beräkningar av vad som är en acceptabel fosforbelastning, kom fram till att den nuvarande belastningen är i överkant av vad sjön tål, utan att eutrofieras. Vår nya kunskap om vattenomsättningen – 3 års omsättningstid i stället för 4 – medför att vi inte behöver vara så pessimistiska på den fronten.

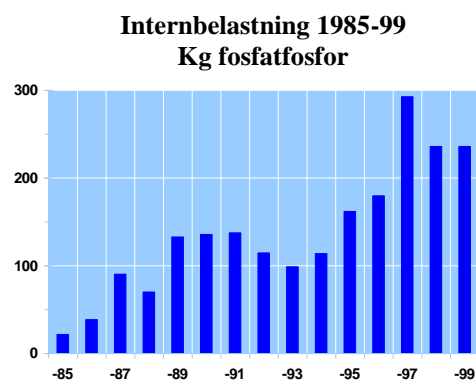


Fig.1

Under senare delen av 90-talet började fosforhalten i sjön att stiga markant, beroende på en kraftig uttransport av fosfor från botten-sedimenten. Som värst – under perioden maj till september 1997 – var den interna fosforbelastningen nästan 300 kg! Se figur 1.

Tillståndet i sjön

Flaten är en relativt djup, och väl skiktad sjö. Under sensommar och tidig höst – vissa år även vintertid – är syreförhållandena i djupvattnet ansträngda. Detta är normalt för den här typen av sjöar, och svavelvätebildning finns belagd redan 1910. Under 90-talet skedde dock en försämring, med kraftigt ökande svavelvätehalter – sommaren 1997 förekom svavelväte ända uppe på 8-metersnivån, vilket innebar att mer än 50 % av sjöns bottenyta var syrefri.

Konduktivitet, pH, alkalinitet och kväve har inte ändrat sig påtagligt sedan 70-talet. Klorofyllhalten ökade dock något under 90-talet, och siktdjupet minskade. Algblomningarna under våren blev mer omfattande – 1998 började en extrem blomning av *Planktothrix agardhii* direkt efter islossningen, och pågick ända in i oktober. Algen (en röd kallvattenform) gynnades av den ovanligt låga vattentemperatur som rådde denna sommar. Siktdjupet var som lägst 65 cm.

Ser man till ytvattnet i augusti, var fosforhalterna måttliga, alggrumlingen begränsad och siktdjupet relativt stort, ända fram till mitten av 90-talet. De första åren på 90-talet låg säsongsmedelvärdet (maj-okt) för totalfosfor på 25-30 µg/l, för att i slutet av decenniet ha ökat till 40-50 µg/l. Samtidigt blev konstaterat giftiga blomningar av blågrönalger frekventare, och störde badlivet.

Den bakteriologiska vattenkvaliteten har generellt varit hög i Flaten. Vid två tillfällen i juli 1995, konstaterades dock vattnet vara otjänligt för bad.

Några år in på 1980-talet noterades för första gången massförekomst av vattenväxten *Axslinga* (*Myriophyllum spicatum*), vid barnbadet. Slingan har sedan dess spritt sig till allt fler lokaler runt sjön, och förekommer nu i så täta bestånd att den har blivit besvärande för de badande och, på sina ställen gör det svårt att ta sig fram med båt. Återkommande avverkningar har inte minskat förekomsten.



Axslinga

Bottenfaunan domineras av några få, ytterst tåliga, arter av glattmaskar och fjädermygglarver, som är typiska för djupbottnar i en näringsrik sjö. Trots total syrebrist och svavelväte i djuphålan, hittades också djur på samtliga djup, vid den undersökning som genomfördes i februari 1999. Ansträngda förhållanden i djupvattnet är dock ingen nyhet – redan i juli 1945 kunde *Puke* konstatera att ”Bottenfaunan var ringa och vanligast var oligochaeterna ... På djupet förekom huvudsakligen *Chironomus plumosus*”.

Fisksamhället i sjön domineras av abborre, mört och björkna, och har bedömts som relativt rikt och divers. En ökning av antalet småvuxen mört och björkna har konstaterats, vilket möjligen kan ses som ett tecken på eutrofiering. Flera utsättningar av gös och signalkräfta har gjorts under 90-talet, men endast kräftan har hittills gett ett fiskbart bestånd.

Sedimenten

Metallhalterna i sjöns sediment är låga till måttliga, men förhöjda halter av koppar, bly och kadmium har konstaterats i sedimenteringsbassängerna vid Flatendikets utlopp i sjön. Organiska miljögifter, PCB och PAH, förekommer i låga halter.

Vid en undersökning i april 1999 befanns sedimenten på större djup än 9 m vara helt syrefria, trots att vårcirkulationen pågick, och syreförhållandena i vattnet var goda. På sedimentytan fanns rikligt med vita fält, som indikerar förekomst av svaveloxiderande bakterier av typen *Beggiatoa*. De översta 2-5 cm var dessutom laminerade, vilket tyder på att sedimenten inte bioturberats – blandats om av bottenjurens.

Ovan nämnda undersökning var speciellt inriktad på att beräkna mängder och former av s.k. rörlig fosfor i sedimenten. Med rörlig fosfor avses den fosfor som med tiden kommer att frigöras från sedimenten, och nå vattenmassan i biotillgänglig form. I Flaten hittades huvudparten av den rörliga fosfor i den översta decimetern av sedimenten, och framför allt i form av organiskt bunden fosfor, som efter långsam mineralisering kan diffundera upp i vattenmassan. Andelen löst bunden fosfor var relativt hög, och andelen järnbunden var låg, vilket tyder på att bindningsmöjligheter saknas för den vid internbelastningen direkt tillgängliga fosfatfosfor.

Undersökningen visade att sedimenten på större djup än 6 meter, innehöll mellan 2,7 och 3,6 g rörlig fosfor per m². För att permanent binda denna mängd fosfor, åtgår teoretiskt elva gånger så mycket aluminium, alltså mellan 30 och 40 g/m². Rydin, 1999¹.

Aluminiumbehandlingen

Metoden

I den utredning som genomfördes på Stockholm Vatten 1999, konstaterades att den interna fosforbelastningen var den direkta orsaken till sjöns snabba försämring. Ett antal kända behandlingsmetoder togs upp till diskussion, men endast muddring och aluminiumbehandling bedömdes ha den långsiktiga effekt som eftersträvades. Det slutliga valet föll på aluminiummetoden, då en muddring ansågs bli alltför dyr och svår att genomföra.

Metoden att fälla fosfor i vattenmassan med aluminiumklorid eller aluminiumsulfat utvecklades i Sverige under 1960- och 70-talen – då utan större framgång, främst beroende på för låg dosering. Metoden togs upp och utvecklades ytterligare i USA mot slutet av 70-talet, och där har ett stort antal sjöar behandlats, med gott resultat. USA:s motsvarighet till Naturvårdsverket – U.S. Environmental Protection Agency – har bedömt metoden som väl fungerande och kostnadseffektiv. I USA har man spritt aluminiumsulfat från vattenytan – en ganska grov metod, som påverkar hela vattenmassan, och dess biologi.

Vattenresurs AB, som utförde behandlingen i Flaten, har patenterat en metod som innebär att man fäller ut den lösta fosfor i bottenvattnet, men också fastlägger den löst bundna fosfor i sedimentens övre lager. På detta sätt skapas ett fosforbindande skikt som fungerar som en aktiv spärr för den fosfor som annars skulle läcka ut till vattenmassan. Spärren finns kvar, och fungerar lång tid efter behandlingen. Studier i USA talar om 10 år och däröver – vid fällning enbart i vattenmassan. En direkt behandling av sedimenten bör rimligen ge ännu längre verkan, men metoden är så ny att någon långtidsstatistik inte finns tillgänglig. En lyckad behandling förutsätter naturligtvis att den externa fosforbelastningen inte är större än sjön tål!

Medlet som användes var *Kemwater PAX 18* – en polyaluminiumkloridlösning; samma typ av fällningskemikalie som används i reningsprocessen vid våra vattenverk. När aluminiumföreningen sprids i vattnet, bildas momentant en gelatinliknande fällning – en flock – av aluminiumhydroxid, som sedimenterar och till sig binder oorganisk fosfor och organiskt material. Aluminiumklorid är en sur lösning, men doserad under kontrollerade former ger den en begränsad pH-sänkning i ett välbuffrat vatten, som det här är frågan om, och har inga nämnvärda negativa effekter på miljön. Ren giftverkan från Al³⁺-jonen, är bara aktuell vid pH-värden lägre än 5,5 eller högre än 9.

Behandlingen

Spridningen av aluminiumkloridlösningen skedde från en specialutrustad farkost med en undertill, på tvären hängande, 20 m lång spridarbom, som kunde regleras i djupled. Behandlingen av sedimenten utfördes genom ”harvning” med ett stort antal, från bommen utstickande doseringsrör, som framfördes i sedimentytan. Fällningsmedlet sprutades ut under högt tryck, och blandades med det uppvirvlande sedimentet. Med hjälp av programmeringsbara doseringspumpar och GPS-navigering, kunde hela tiden avsedd mängd fällningskemikalie pumpas ut på rätt ställe. Ovan angavs den teoretiska aluminiumdosen till 30 à 40 g Al/m². I praktiken är bindningen av fosfor inte lika effektiv som i teorin, så man valde att kraftigt öka den genomsnittliga dosen, för att säkerställa en långvarig verkan.

¹ Rydin, E: Aluminiumdosering för inaktivering av rörlig sedimentfosfor i Flaten och Kyrksjön. Rapport 1999

I Flaten behandlades vattenmassan och sedimenten från sex meters djup och nedåt. På grundare bottnar behövdes ingen behandling – sedimenten var där väl oxiderade, och aluminiumflock på så grunda bottnar riskerar dessutom att förflyttas p.g.a. vågverkan. Sexmetersnivån motsvarar cirka 40 ha – knappt 65 % av sjöytan och 35 % av sjöns volym.



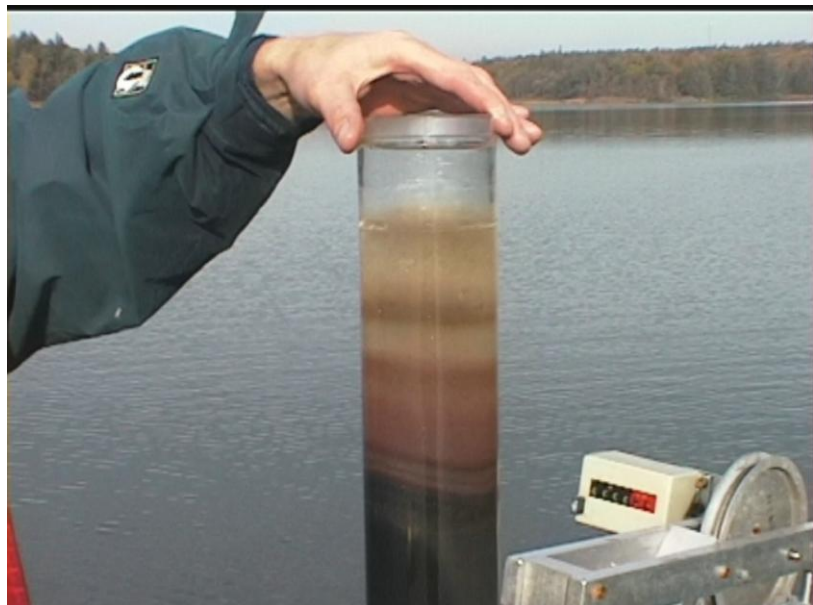
Spridning av fällningskemikalien

Behandlingen påbörjades den 5 september år 2000, och var avslutad den 12 oktober, medan sjön fortfarande var skiktad. Aluminiumtillsatsen skedde i omgångar, och under kontinuerlig pH-mätning, för att inte sänka pH till riskabla nivåer.

P.g.a. sjövattnets stora buffertförmåga (alkaliniteten i bottenvattnet var aldrig lägre än 1,6 mekv/l de sista somrarna på 90-talet) sjönk inte pH mer än cirka 0,4 enheter – från pH 7,1 till 6,7.

Först behandlades sedimentytan under sexmeterskurvan två gånger, med samma dos. Därefter behandlades vattenmassan genom fällning från respektive 8, 9, 10 och 11 meters djup. Detta innebär att bottnar mellan 6 och 9 meters djup fick cirka 40 g Al/m², bottnar mellan 9 och 10 meters djup fick cirka 54 g/m² och bottnar djupare än 10 meter, fick cirka 70 g/m². I snitt spreds alltså 61 g Al/ m² i och på sedimenten. Totalt användes 270 ton PAX 18, innehållande 9 % aluminium.

Direkt efter behandlingen var botten täckt av ett fluffigt, vattenhaltigt skikt av aluminiumflock – ju större djup, desto mäktigare lager. Vid en inspektion med dykare, i november samma år, uppmättes på sju meters djup ett cirka 10 cm tjockt skikt, medan det på de djupaste bottenarna var 40-45 cm tjockt. Fällningen kom sedan att komprimeras ytterligare – av sedimentproppar som togs i slutet av juli 2001, framgick att fällningen i djuphålan packats ihop till endast 8-10 cm tjocklek. På vidstående bild ser man den skiktade fällningen, där skikten motsvaras av de olika spridningsomgångarna.



Sedimentpropp från november 2000

Sjön efter behandlingen

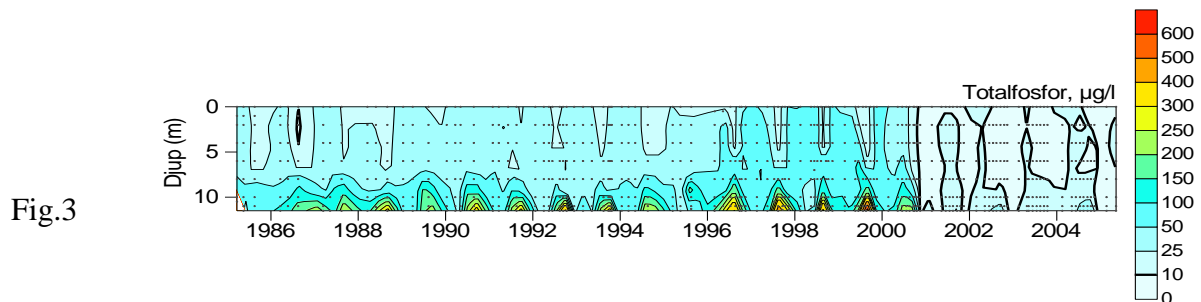
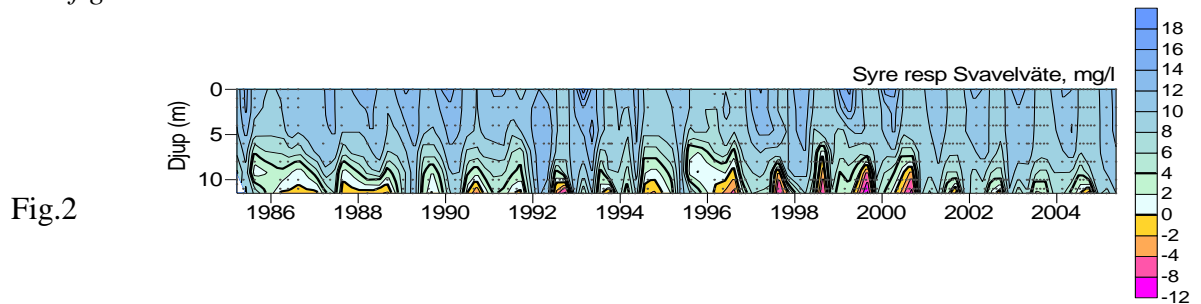
Internbelastningen

Effekten på sjöns interna fosforbelastning var förbluffande! De båda närmaste åren efter behandlingen, uppmättes internbelastningen under sommarstagnationen till blygsamma 0,7 kg – att jämföra med åren

närmast före behandlingen, då belastningen låg på cirka 240 kg! Trots några perioder med ganska ansträngda syreförhållanden och begränsad svavelvätebildning, har fosforutlösningen från sedimenten som mest varit cirka 2 kg (2004).

Tillståndet i sjön

Syresituationen har förbättrats snabbare än förväntat. Svavelvätebildning har, trots allt, bara konstateras vid ett några få tillfällen i september-oktober, och då endast på de allra största djupen. *Se figur 2.*



Internbelastningens markanta nedgång, medförde naturligtvis att sjöns totala fosforinnehåll sjönk. Åren efter behandlingen var det nere i 60-65 kg, efter att som mest ha varit cirka 400 kg, i oktober 1998.

Säsongsmedelvärdet av ytvattnets totalfosforhalt, som före behandlingen låg runt 40-50 µg/l, har efter behandlingen sjunkit till knappt 10 µg/l! *Se figur 3.*

Den omedelbara effekten av fosforminskningen var en lika markant nedgång i algproduktionen – blågrönalgbloomingarna har helt uteblivit de senaste somrarna. I *figur 4* kan man se att det genomsnittliga siktdjupet har förbättrats med över två meter! Vid sommarprovtagningarna är siktdjup på över 8 m, numera inte ovanliga, och i juli 2003 sattes rekord med 10,6 m!

Axslingans utbredning har inte minskat efter behandlingen – vid barnbadet har beståndet snarare vuxit tätare än före behandlingen. Det klara vattnet och det ökade siktdjupet medför förmodligen också att växten kan sprida sig utåt, till större djup än tidigare. I augusti 2003 växte de riktigt täta bestånden ut till cirka 4 m djup. Det är ungefär samma utbredning som före aluminiumbehandlingen, men enstaka plantor kunde nu hittas ut till 6 m djup.

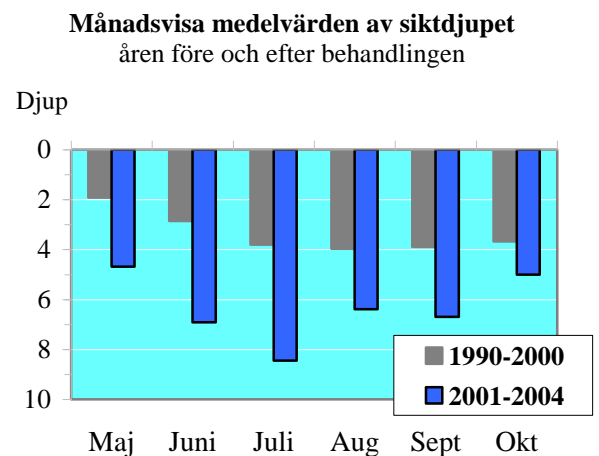


Fig.4

