

Fosfor i Sågsjön under 150 år, 20p

Upplaga 60 ex.
ISSN 1403-997X

Förord

En lång resa är på väg emot sitt slut. Den startade för snart fem år sedan när jag började läsa på naturresursprogrammet vid SLU, Ultuna. Avslutningen är det arbete som du nu håller i din hand. Ämnet är biologi, men det skulle lika väl kunna vara ett arbete inom markvetenskap, limnologi, vattenvård, kemi eller kommunalplanering eftersom alla bitarna ingår. Detektivarbete är en annan beskrivning på grund av all information som jag har fått leta efter. Jag har velat få en helhetssyn på en sjö och dess tillrinningsområde med en fördjupning emot fosfor.

Jag ville göra mitt examensarbete med något inom vatten och utanför universitetet. Nacka kommun blev den externa parten och Sågsjön blev vattnet. Birgitta Held-Paulie har varit min handledare på Nacka kommun och hon har hjälpt mig att hitta ibland kommunens papper och kommit med tips och råd, tack för det! Jag vill också tacka Anna Mattsson för att jag fått låna hennes rum och för hjälp med mycket praktiska saker. Övrig personal på Miljö- och stadsbyggnadskontoret, Nacka kommun är också värda ett stort tack för att de svarat på mina frågor och trevliga stunder vid fiket.

På SLU har min handledare varit Hans Kvarnäs, tack för all vägledning genom uppskattningar och datamodeller samt bearbetning av text. Flera andra personer har hjälpt mig på institutionen för miljöanalys. Tack till Mikael Östlund, Jacob Nisell och Fredrik Söderman för hjälp med kartor, redigering och datastrul. Tack Sven Eriksson för lån av sedimentprovtagare. Fosforfraktioneringen av sedimentet gjorde jag på Erken laboratoriet och där vill jag tacka Paul Königer och Ulf Lindqvist.

Arbetet har inneburit många fina dagar vid sjön i strålande sol. Jag har fått ovärderlig hjälp av Carl-Cedrik Coulianos med att ro vid provtagning och mycket värdefulla upplysningar från tidigare undersökningar. Tack till Sara Fredin, Johanna Westin, Gerd och Lennart Åkerman för hjälp med skjuts och lån av bil. Lena Åkerblom, Stefan Löfgren och Sven Bråkenheim tack för att ni har tagit er tid att läsa igenom och kommentera mitt arbete. Slutligen tack alla andra som hjälpt och stöttat mig.

Nya äventyr väntar

Sofia Åkerman
Uppsala maj 2001

Innehållsförteckning

FÖRORD	3
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	5
SAMMANFATTNING	7
SUMMARY	8
1. INLEDNING	9
2. BAKGRUND	10
2:1 ALLMÄN BAKGRUND.....	10
2:2 OM SÅGSJÖN	10
3. KEMISKA UNDERSÖKNINGAR	19
3:1 MATERIAL OCH METODER	19
3:2 RESULTAT.....	21
4. MODELLEN	26
4:1 MODELLBESKRIVNING.....	26
4:2 BAKGRUNDSDATA TILL MODELLEN.....	28
4:3 KALIBRERINGSDATA	31
4:4 SCENARIER.....	32
4:5 RESULTAT AV MODELLEN	33
5. DISKUSSION	35
6. REFERENSER	36
6:1 SKRIFTLIGA.....	36
6:2 MUNTliga.....	36

Bilagor

	nr
Kemiska och fysiska parametrar i Sågsjön 1972-2001	1
Kemiska parametrar i till- och utflöden 1993-2000	2
Sediment analys, resultat	3
Markanvändning 1900-2000	4
Beräkningar avlopp 1900-1970	5
Beräkningar avlopp 1980-2000 samt scenario 2	6
Beräkning av mängd tillgängligt fosfor i sedimentet	7
Kalibreringsdata, fosforhalter i hela Sågsjön	8

Sammanfattning

Sågsjön ligger i Nacka kommun, 13 km öster om centrala Stockholm. Sjön är 19 m djup och ligger i en sprickdal som löper från nordväst till sydöst. Den består av två bassänger vilka sammanbinds av ett sund. Utloppet är i Kummelnäsviken vidare ut till Höggarnsfjärden som ligger i utloppet från Stockholmsström. Sågsjöns yta är 29,4 ha och tillrinningsområdet 443,3 ha. Skog och block i skog utgör den största markanvändningen med 43%. Därefter kommer antropogent påverkad markanvändning som bebyggelse och industrier med 38%. Syftet med detta arbete är att undersöka varifrån fosfor som tillförts Sågsjön under de senaste 100 åren har kommit samt att beskriva hur fosforhalten i Sågsjön kommer att utvecklats med alternativa framtida belastningar.

Under sommaren och hösten 2000 har en utökad provtagning genomförts. I alla tillflöden, utflödet samt på fyra punkter i sjön har prov tagits vid fem tillfällen. Syftet med provtagningen har varit att få en uppfattning av hur mycket näringsämnen som kommer till sjön från olika områden och se hur halterna i sjön varierar över tiden. Sågsjöns pH ligger alltid över 7 och alkaliniteten är över 1,5 mekv/l, detta beror på kalken i marken. Totalfosforhalten i epilimnion ligger runt 25 µg/l. Det bedöms som tillståndsklass 3, höga halter, det vill säga en eutrof sjö enligt Naturvårdsverkets Bedömningsgrunder för miljö kvalitet. Under stora delar av året är det syrgasfritt på botten. Prov på sediment har tagits och en fosforfraktionering har genomförts. Den mängd lösligt och järnbundet fosfor som sedimentet kan avge till vattnet uppskattas till 130 kg.

Många antaganden angående markanvändning, antal människor som bott runt sjön och deras avloppsstandarder har gjorts för att uppskatta tillförseln av fosfor under de senaste 100 åren. I början av 1900-talet tillfördes 21 kg fosfor per år (kgP/år) till sjön. På 1930-talet började avloppsvatten tillföras Sågsjön. Belastningen ökade gradvis för att vara som störst på 1970-talet med 307 kgP/år. Nu är den uppskattade tillförseln 143 kgP/år. Antal fastigheter som år 2000 inte är anslutna till kommunal vatten och avlopp är cirka 250 stycken varav hälften är permanent boende och hälften fritidshus.

För att få en uppfattning om fosforomsättningen i Sågsjön under 150 år har en datamodell använts med vars hjälp fosforhalten i vatten och sediment beräknas. Syftet med modellen är att försöka belysa den tidsmässiga responsen på en avlastning av Sågsjöns nuvarande fosforbelastning. Tre olika scenarier har modellerats. Det första innebär att nuvarande belastning bibehålls. Det andra scenariet utgår ifrån Nacka kommuns planer på att ansluta alla enskilda avlopp inom sex år, vilket medför en halvering av tillförseln. Scenario tre innebär att även allt dagvatten avleds och ger samma belastning som i början av 1900-talet.

Resultatet av modelleringen är att vid 1900-talets början var fosforhalten i Sågsjön 10 µgP/l. Nu ligger koncentrationen på 30 µgP/l. Med scenario ett kommer sjöns fosforhalt att vara i princip oförändrad under de närmaste 50 åren. En halvering av tillförseln medför att koncentrationen i sjön sjunker till drygt 20 µgP/l efter 20 år. Fördröjningen beror på att sedimentet avger fosfor till vattnet, internbelastning. För scenario tre sjunker fosforhalten till cirka 15 µgP/l inom 50 år.

Om avloppen runt Sågsjön ansluts som planerat så anser inte jag att ytterligare restaureringsåtgärder är nödvändiga. Sjöns framtida utveckling måste följas genom provtagning.

Summary

Sågsjön is a lake situated 13 km east of central Stockholm, the capital of Sweden. The lake is 19 meters deep and placed in a rift valley. It consists of two basins, which are connected by a sound. Its outlet falls into the Baltic sea. The area of Sågsjön is 29,4 ha and its catchment area 443,3 ha. Forest with rock outcrops covers 43 % of the catchment, residential areas and industries 38 %. The aim of this project is to investigate into the sources of the phosphorus that has been added to Sågsjön during the last 100 years and predict the level in the lake under various future charge.

During summer and autumn in 2000 a great amount of samples has been taken. At all the inlets and at four places in the lake samples have been taken five times. The aim of the sampling was to see from which areas the phosphor came and how the concentration varied with time. The pH in Sågsjön was constantly above 7 and alkalinity above 1,5 mekv/l, the main factor being the limestone in the soil. The concentration of total-phosphorous in the epilimnion was 25 $\mu\text{g/l}$. According to the Swedish Environmental Protection Agency's report "Environmental Quality Criteria" on lakes and watercourses the state of the lake was 3, a eutrophic lake. There was no oxygen in the hypolimnion during most time of the year. On samples of the sediment a phosphorous fractionation was made. The amount of phosphorus that could easily be released from the sediment to the water was estimated at 130 kg.

To estimate the amount of phosphorus that has been supplied to the lake during a hundred years many assumptions were made about land use, the number of people living around the lake and their sewage system. In the beginning of the 20th century the supply was 21 kg phosphorus each year (kg P/ year) to the lake. During the 1930's sewage water began to feed Sågsjön. The charge increased and the largest amount of phosphorus reached the lake during the 1970's then being 307 kg P/ year. Now the estimated supply is 143 kg P/ year. Today the number of houses that let out untreated water is about 250, half of them being permanent and half summer houses.

To get a picture of the turnover of phosphorus in Sågsjön during 150 years the amount of phosphorus in the water and sediment was calculated using a mathematical model. The aim was to study the response of the lake to a discharge of phosphorous. Three different scenarios were tested. In the first the supply for the next 50 years is the same as the current one. The second scenario is based on the plans to connect all the houses to a sewage treatment plant within six years. That makes the supply half the current one. Scenario three involves treatment as under scenario 2 plus abduction of all surface water. Then the supply will be as at the beginning of the 20th century.

The amount of phosphorus in Sågsjön was 10 $\mu\text{g/l}$ at the beginning of the 20th century according to the model. The current concentration is about 30 $\mu\text{g/l}$. With scenario one the phosphorous concentration in the lake will not change during the next 50 years. When the supply is half the present the concentration is reduced to 20 $\mu\text{g/l}$ after 20 years. The delay depends on the phosphorus that leaks from the sediment to the water- internal loading. If scenario three is realised the amount of phosphorus will be 15 $\mu\text{g/l}$ in 50 years.

If the sewage in Sågsjöns catchment area will be connected to a sewage treatment plant as planned I don't think it's necessary with further measures. The future development in the lake must be controlled by with sample taking.

1. Inledning

Sågsjön ligger i Nacka kommun, Boo församling, öster om Stockholm. Den har fått sitt namn av att det låg en såg vid utloppet på 1700-1800-talet (Coulianos 2000 Muntlig). I samband med det togs vatten ifrån Myrsjön till Sågsjön för att säkerställa vattenståndet (figur1). Viss tvist rådde om att vattnet i Myrsjön istället skulle ledas till Kvarnsjön, där det fanns en kvarn (Jansson E. A. 1946). Under första världskriget fanns planer på att dra en farled in till Stockholm genom sjön. Sjön är belägen i en sprickdal som löper från nordväst till sydöst. Det gör att sjön är djup och berget sluttar brant ned emot sjön på flera ställen. Den består av två bassänger en nordlig och en sydlig som binds samman med ett sund. Sågsjöns maxdjup är 19 m och den ligger 2,4 m över havet. Utloppet är i Kummelnäsviken vidare ut till Höggarnsfjärden som ligger i utloppet från Stockholmsström. Normalt är sprickdalssjöar ursprungligen fattiga på näring. Näring har tillförts sjön från främst avlopp och dagvatten. Detta har gjort att fosfor lagrats på botten och nu belastar sjön. Sågsjön används som badsjö med simskola samt för rekreation. Större delen av stranden är tillgänglig för allmänheten.

Syftet med detta arbete är att undersöka varifrån fosfor som tillförts Sågsjön under de senaste 100 åren har kommit samt att beskriva hur fosforhalten i Sågsjön kommer att utvecklas med alternativa framtida belastningar.

Denna studie behandlar endast fosfors omsättning i Sågsjön, trots att även kväve utgör ett viktigt näringsämne. Det finns två anledningar till det, dels är fosfor oftast det begränsande ämnet i insjöar (Broberg A. & Jansson M. 1994) och dels är kväves kretslopp betydligt mer komplicerat och därför svårare att modellera. Många antaganden har gjorts angående de olika fastigheternas avloppsstandard och hur mycket näring som kommer därifrån.

Bakgrundsmaterial om sjön har samlats in från kommunen och boende i området. Med utgångspunkt i det materialet och egna antaganden har en återblick över hur fosforbelastningen sett ut under de senaste 100 åren gjorts. Prover på vattnet i sjön samt till- och utflöden har tagits och analyserats med avseende på pH, alkalinitet, fosfor och kväve. På sediment från sjön har fosforfraktionering gjorts. Bakgrundsdata har satts in i en modell som modellerar fosforomsättningen i sjön. Med hjälp av modellen har olika scenarier för sjöns framtida utveckling gjorts.

2. Bakgrund

2:1 Allmän bakgrund

Fosfor

Fosfor är ett viktigt näringsämne för växter, de består till 0,1-0,8% torrsvikt av fosfor (Raven P. m.fl. 1992). Det finns i många mineral och utvinns därur vid tillverkning av t.ex. handelsgödsel. Fosfor är en ändlig resurs. I marken och i vatten kan fosfor finnas löst eller bundet partikulärt till kalcium, järn, aluminium eller organiskt material. När fosfor är löst är den i olika former av ortofosforsyra (H_3PO_4) och kan då tas upp av alger och annan växtlighet. Denna fraktion kallas vid analys för fosfat-fosfor (PO_4-P) eller molybdatreaktivt fosfor (MRP). I marken binds fosfatjonen och är därför svårörlig.

Eutrofiering

Eutrofiering innebär en förändring mot ett näringsrikare tillstånd. I slutet av 1800-talet började vattenspolande toaletter att installeras och efterhand ersatte de utedassen. Avloppsvattnet transporterades direkt ut till närmaste vattendrag eller sjö utan någon rening. Under 50-talet kom handelsgödsel att användas i stor skala på åkrar inom jordbruket och näring som inte växterna tog upp rann vidare ut till diken. Detta är två exempel på hur den externa belastningen på sjöar ökat under 1900-talet. När en sjö tillförs mer näring än tidigare sker en ökad primärproduktion i form av alger och kärlväxter. Den ökande produktionen medför att siktdjupet minskar i sjön, d.v.s. ljuset tränger inte ned lika djupt. De ökande halterna av näringsämnen gör att den naturliga näringsväven rubbas. Arter som gynnas av hög näringstillgång kan komma att dominera medan andra slås ut helt.

Den ökande mängden organiskt material sedimenterar till botten och bryts ned. Under nedbrytningsprocessen åtgår syre. När syret tagit slut reducerar bakterier andra ämnen (t.ex. järn och svavel) för att kunna fortsätta nedbrytningen. Vid dessa processer frigörs det fosfor som tidigare varit bundet till järn i sedimentet. Detta kallas internbelastning, och innebär att en sjö göder sig själv. Näringsmängden minskar alltså inte i sjön, trots att den externa tillförseln kan ha upphört.

Av det reducerade järnet och svavlet bildas järnsulfat (FeS) som är en svårörlig förening. Detta medför att mängden järn som kan binda fosfor minskar. En annan förening som bildas vid syrebrist är svavelväte (H_2S). Det är ett giftigt ämne som luktar illa och dödar de flesta organismerna. I djupa sjöar med en tydlig skiktning som hindrar syresättning av bottenvattnet är dessa kemiska processer vanliga. I grunda sjöar är en snabb igenväxning med vass och andra kärlväxter vanligare vid eutrofiering.

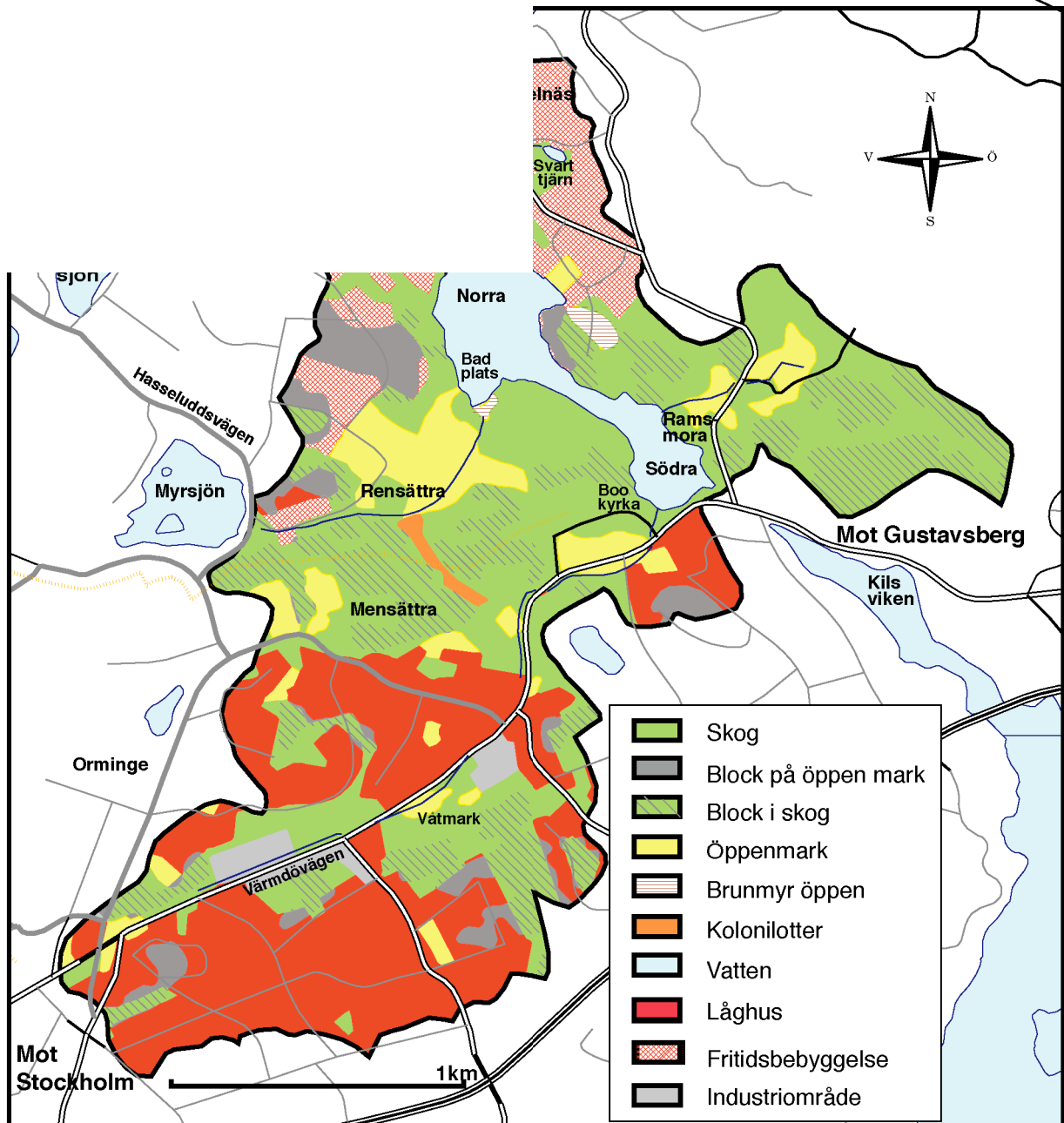
2:2 Om Sågsjön

Beskrivning av Sågsjön och dess omgivning

Runt större delen av den södra bassängen och längs den västra stranden av norra bassängen sluttar berg brant ned emot sjön. I övrigt är stranden flack. Sågsjön har fyra huvudsakliga tillflöden. I nordöst ligger den lilla sjön Svarttjärn (även kallad Svartpotten) som via en bäck längs Solviksvägen mynnar i Sågsjön strax norr om, badplatsen (figur 1). Bäckens kallas norra tillflödet. Detta område domineras av fritidbebyggelse utan utbyggt vatten och avlopp. I södra bassängen av



Figur 1: Karta över Sagsjöns placering i förhållande till Stockholm. Samt uppförstoring över Sagsjöns avrinningsområde med namn och markanvändning (tabell 2).



sjön finns ett östligt tillflöde som avvattnar ett skogsområde och några gamla åkrar, numera beteshagar. Det södra tillflödet rinner på olika sidor om Värmdövägen och avvattnar ett stort område med bostäder, industrier och skog. Sedan 1990 är nästan alla hushåll anslutna till kommunalt vatten och avlopp. En och en halv kilometer innan det södra tillflödet mynnar i sjön rinner det genom en våtmark som ligger söder om Värmdövägen. Den södra delen av Sågsjön används ibland av Saltsjö-Boo Modellklubb för att köra med modellbåtar. Längs den södra stranden av sundet mellan bassängerna och södra bassängen följer Boo-leden sjön.

I väster rinner en bäck genom Rensättra som mynnar i den norra bassängen. Bäckens börjar vid Hasseluddsvägen och på andra sidan vägen ligger Myrsjön, troligen rinner lite vatten därifrån igenom vägbanken men sjön är inte inberäknad i avrinningsområdet. I den översta delen finns ett grävt dike från den tiden vatten leddes från Myrsjön till Sågsjön. I omgivningen finns det skog, betesmarker, kolonilotter och bostäder. Alla hushållen är nu anslutna till kommunalt vatten och avlopp. I den norra änden av sjön ligger utloppet. Via Näckdjupet, som har en öppen vattenspegel och några alkärr, rinner vattnet ut i Kummelnäsviken. Både sjöns till- och utflöden är periodvis helt torra. Det finns flera våtmarker som ansluter till sjön. Att köra med motorbåt i sjön är förbjudet.

Morfometri och markanvändning

Sågsjöns yta är 29,4 ha och tillrinningsområdet 443,3 ha (1 ha=10.000 m²=0,01 km²).

Tillrinningsområdet är det landområde varifrån sjön får sitt vatten, medan avrinningsområdet även inkluderar sjön. Morfometriska data över Sågsjön redovisas i tabell 1. Fördelningen mellan norra och södra sjön är beräknad utifrån ytan på de båda bassängerna. Mittet av sundet utgör gräns mellan bassängerna. Norra bassängen har 73 % av ytan och södra 27 %. Kumulativ volym över Sågsjön finns i figur 2 och djupkarta i figur 3. Den teoretiska omsättningstiden, beräknad med den specifika avrinningen 5,6 l/(s*km²), är 3,2 år. Sågsjön har sjönummer 61/62:23 och utloppskoordinater X=658321, Y=164067 (Svenskt Sjöregister 1996).

Tabell 1: Morfometriska data över Sågsjön.

	Hela sjön	Norra	Södra	Källa
Area m ²	294.000	226.000	84.000	Hela sjön: sjöarkivet SMHI ¹
Max djup, m		19,4	18	Djupkarta
Medeldjup, m	8,6			Sjöarkivet SMHI
Total volym, m ³	2.690.000	1.960.000	730.000	Hela sjön: sjöarkivet SMHI
Volym 0-10m djup, m ³	2.080.000	1.520.000	560.000	¹ Fördelning norra -södra
Volym 10-20m djup, m ³	609.000	445.000	164.000	egen uppskattning/beräkning
Area på 10 m djup, m ²	124.000	90.000	34.000	
Omsättningstid, år	3,2			Beräknat

Markanvändningen inom tillrinningsområdet kommer från en datoriserad grön karta (C lantmäteriverket 1998, dnr 507-98-4720). Där har avrinningsområdet ritats in och de olika areorna beräknats (figur 1, 4, tabell 2). Den största andelen av marken består av skog och block i skog, 43%. Därefter kommer den antropogent påverkade markanvändningen, bebyggelse och industrier, 38%.

Berggrund och jordmån

Berggrunden består av sedimentgnejs med ådror av fältspat och kvarts samt gnejsgranit i olika stråk över området (Möller H. och Stålhös G. 1964). Det finns även små områden med yngre granit. Förkastningsdalen som Sågsjön ligger i följer inte sjöns längdriktning exakt utan löper söder om den nordligaste änden, från Lövbergaviken i nordväst till Kilsviken i sydöst (figur 1).

Jordlagren består av normalblockig morän samt glacial och postglacial lera i dalgångarna. Den glaciala leran innehåller kalk i form av kalciumkarbonat (CaCO_3) med ca 10 vikts procent. Kalken kommer från berggrunden i Gävlebukten och transporterades hit under istiden (Möller H. och Stålhös G. 1964).

Vegetation

Vegetationen i Sågsjön har undersökts vid tre tillfällen, 1977-07-09, 1984-07-25 och 1993-07-28. Bladvass (*Phragmites australis*) växer i de flesta vikarna. Andra växter är vit och gul näckros (*Nymphaea alba* och *Nuphar lutea*), kaveldun (*Typha*), säv (*Scirpus lacustris*) och fräken (*Equisetum fluviatile*). På 40-talet inplanterades sjögull (*Nymphoides peltata*) som är en flytbladsväxt. Den liknar små näckrosor och är inte naturligt förekommande i Sverige. Den har under olika tider dominerat i utloppsviken, Rensättraviken och vid södra tillflödet. Sjögulls utbredning hindrar ljuset från att tränga ned i vattnet och konkurrerar därmed ut andra undervattensväxter. Vid Rensättraviken växer säv och där finns svampen sävrost (*Puccinia scriti*) som växlar mellan säv på vintern och sjögull på sommaren (Coulianos 2000 muntligen). Vid en jämförelse mellan undersökningen 1977 och 1984 så har vegetationen ökat, främst i den södra delen av sjön. Mellan 1984 och 1993 har ingen nämnvärd ökning skett. Vid undersökningen 1993 tittade man även på undervattensvegetationen. I utloppsviken, Rensättraviken och i sundet växer riktigt med axslinga (*Myriophyllum spicatum*) och även ålnate (*Potamogeton perfoliatus*). Axslingan växer under vattnet men blommar ovanför vatten ytan och har i viss mån gjort att utbredningen av sjögull har minskat. Boende i området har märkt en ökad igenväxning. Detta kan delvis förklaras med att kräftorna dog ut av kräftpesten 1987, tidigare höll de undan bottenvegetationen. Ingen planktonundersökning har gjorts i sjön.

Fauna

I sjön och dess omgivning finns ett flertal häckande fåglar, bland annat gräsand, sothöna, skäggdopping och duvhök. Vid mina besök har jag även sett häger, ormvråk, tärna, silltrut och knölsvan. Andra arter som brukar ses fiska i sjön är storlom och fiskgjuse. Strömstare har för vana att övervintra i utloppet (Coulianos 2000 muntligen).

I Sågsjön finns enligt provfiske 13 september 1997 abborre, gädda, braxen, björkna, gärs, mört och sarv. Vid andra tillfällen har sutare, öring, lake, ål och nissöga fångats. Nissöga är en liten fisk som blir maximalt 11 cm, under dagen är den ofta nedgrävd i mjukbottenssubstratet. Den har hittats i Rensättraviken och är klassad som missgynnad på den svenska rödlistan för hotade arter.

Det har funnits flodkräftor i sjön, men de slogs ut 1987 av kräftpesten. Signalkräftor har planterats ut, första gången 1992 eller 1993, på en privatpersons initiativ. Därefter planterades 3000 stycken ut 1995 och 500 stycken 1996. Provfiske av kräftor har genomförts 1996, 1998 och 1999. Antal kräftor per ansträngning (mjärde) var 3,9; 11,8 och 5. Kräftfiske är ännu inte tillåtet i Sågsjön.

Bottenfauna har undersökts av studenter från Stockholms universitet från 1956 till 1990. På de syrefria bottenarna har främst fjädermygglarver (*Chironomid*) funnits då dessa tål syrefria förhållanden bra. Vid flera tillfällen har det varit problem med cekarier vid badplatsen i norra delen av sjön, bland annat 1991. Cekarier är larvstadiet hos en sugmask (*Trematoda*) som parasiterar på olika djur. Som vuxna lever den i simfåglar och ägg kommer ut via fekalierna. Äggen kläcks till larver i vattnet och borrar sig sedan in i snäckor. Där delar den sig flera gånger för att slutligen komma ut som cekarier. Detta sker endast då vattnet är minst 12-15°C. Cekarien ska då uppsöka sin andra värd, simfågeln. Om den inte hittar någon fågel kan cekarien istället försöka krypa in i människor som får kliande utslag. Snäckorna trivs i vegetation så ett sätt att undvika cekarier är att hålla undan vegetationen vid badplatsen.

Badplatser

I norra delen av Sågsjön finns en kommunal badplats med flytbryggor och hopptorn. En geotextmatta är utlagd med sand på. En liknande nyanlagd badplats finns vid Rensättraviken. Vattnet vid badplatsen i den norra delen av sjön har undersökts med avseende på bakterieinnehåll en till sex gånger per år under mer än tio år tillbaka. Vattnet har varit tjänligt för bad alla gånger utom vid ett tillfälle då det var tjänligt med anmärkning

Restaurering

Under början av 70-talet fanns en samarbetskommitté med de olika tomtägareföreningarna som kallas Arbetsutskottet för miljövård. De arbetade främst med röjning av sjögull. Sedan 1994 finns en ny grupp som består av representanter från de olika fastighetsägarföreningarna runt sjön och kallas Sågsjögruppen. En gång om året sedan 1995 anordnar de Sågsjödagen då de boende i området bjuds in för att hjälpa till med vegetationsröjning, främst vid badplatsen. Under sommaren och hösten 1972 togs flytbladsväxter och dess rötter bort i sjöns norra del genom muddring. Vassklippning har skett mellan 1977 och 1981. I mitten av 1990-talet lånade kommunen ett klippaggregat av Stockholm vatten och klippte i Sågsjön. Nacka kommun köpte in ett klippaggregat 1998 för att använda till restaurering i sjöarna. De kan klippa ned till två meters djup och har använts flera gånger varje sommar i sjön.

Vatten och avlopp

För vissa delar av Sågsjöns tillrinningsområde finns inte kommunalt vatten och avlopp (VA) utbyggt (figur 4). Vid flera tillfällen har det varit aktuellt att ansluta områdena till det kommunala VA-nätet. En omfattande utredning gjordes på 70-talet då bland annat alla avlopp inom Sågsjöns tillrinningsområde inventerades. VIAK AB föreslog i sitt "Preliminära utkast beträffande vatten- och avloppsförhållanden" (1979) att vattenförsörjningen kan ske inom området genom bergsborrade brunnar. Samt att avloppssystemet byggs ut till kommunalt avloppsvatten då det föreligger stor risk för förorening av grundvatten, sjöar och ytvattendrag. I samband med utbyggnad av bostäder i Mensätra under slutet av 70-talet anslöts delar av området till kommunalt VA. I övrigt skedde ingen utbyggnad.

Under 80-talet genomfördes ett VA- saneringsprogram inom delar av tillrinningsområdet med syfte att minska utsläppen från enskilda avlopp. Arbetet var tidsödande och enligt då gällande lagstiftning var det svårt att få förbättringar tillstånd. Några avlopp åtgärdades.

Nu arbetar kommunen med att detaljplanelägga de områden av Boo som inte tidigare planlagts. Det pågår en permanentning i många tidigare fritidshus och tidigare obebodda tomter bebyggs. Detta medför större krav på fungerande vatten och avlopp. En VA-strategi för delar av Boo har tagits fram av VAI VA-projekt (Nacka kommun 2000:2). Utgångspunkt för utredningen har varit kommunens övergripande mål som innebär stor valfrihet, stark ekonomi, god livsmiljö samt långsiktigt hållbar utveckling. Inom Sågsjöns avrinningsområde rekommenderar VAI VA-projekt att kommunalt vatten och avlopp byggs ut då området är ”känsligt”. Det finns inte tillräckligt med grundvatten och risk finns att avloppsvatten förorenar grundvattnet. Avloppssystemet rekommenderas att byggas som ett LPS, low pressure system.

3. Kemiska undersökningar

3:1 Material och metoder

Vattenkemiska undersökningar

I början av 70-talet tog landstinget vattenprov några gånger i Sågsjön. Sedan 1979 tar Nacka kommun prov i sjön från båt eller från isen. Detta sker i mars respektive augusti på två punkter, en i norra och en i södra delen av sjön. Prov tas på två olika djup, ett i epilimnion (0,5-2 m) och ett i hypolimnion (6-12 m). De parametrar som undersökts är pH, alkalinitet, konduktivitet, siktdjup, totalfosfor (tot-P), fosfatfosfor ($\text{PO}_4\text{-P}$), totalkväve (tot-N), ammoniumkväve ($\text{NH}_4\text{-N}$), nitrit- och nitratkväve ($\text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$), syrgas och temperatur (bilaga 1 med analys resultat). Proverna har frysts och sedan analyserats av Hydrokonsult AB till och med våren 1996, därefter av Stockholm Vattens laboratorium. Frysning av prover följer inte Stockholm Vattens ackreditering och kan medföra att analyserna av fosfatfosfor, ammonium och nitrit- nitrat blir lite osäker. Fosfatfosfor halten kan blir något högre medan ammonium- och nitrit- nitrat-halterna kan blir lite lägre. Syrgashalten mäts i fält med syrgasmätare WTW Microprocessor Oximeter OXI 196. Två prover togs årligen mellan perioden 1993 - 1995 i några av tillflödena.

Under sommaren och hösten 2000 har fem provtagningar gjorts i sjön, 11 juli, 31 juli, 28 augusti, 27 september och 19 december. Syftet med provtagningen har varit att få en uppfattning av hur mycket näringsämnen som kommer till sjön från olika områden och se hur halterna i sjön varierar över tiden. Värdena kommer också att användas till att kalibrera modellen. Ett prov har tagits i den norra delen och ett prov i den södra delen. Proverna har tagits vid de största djupen på 1-2 m respektive 8-13 m djup. Prov har tagits i de tillflödena där det funnits vatten, utflödet samt i Svartjärn (tabell 3 och figur 4). Vid sista provtagningen i december togs fler prover än tidigare. Ett prov togs mellan Svartjärn och norra utloppet strax efter utloppet från en markbädd som renar BDT-vatten från fyra hushåll. I det södra tillflödet togs ett prov innan våtmarken.

Efter provtagning har proverna frysts innan de har analyserats med avseende på samma parametrar som vid tidigare provtagningar på Stockholm Vattens laboratorium. Enklare uppskattningar av vattenflödet i till- och utflödena har gjorts genom att mäta arean på vattendraget och hastigheten på vattnet. Detta skedde vid provtagningarna den 28 augusti, 27 september och 19 december för att kunna uppskatta mängden transporterat fosfor.

Tabell 3: Beskrivning av provtagningspunkterna samt antalet provtagningsstillfällen under år 2000. För placering på karta se figur 4.

Punkt	Beskrivning
1	Norra bassängen av sjön, 6.
2	Södra bassängen av sjön, 6.
3	Utflöde, strax söder om Spångvägen, 5.
4	Norra tillflödet, mynningen på röret under Solviksvägen, 4.
5	Mellan Svartjärn och norra tillflödet, 1.
6	Svartjärns sydöstliga ände en armlängd från stranden, 5.
7	Östra tillflödet, 10 m uppströms utloppet, 1.
8	Södra tillflödet, mynningen på röret under Boo kyrkväg, 5.
9	Innan vattnet rinner in i våtmarken, 1.
10	Rensättra, 10m uppströms utloppet där Booledden möter bäcken, 5.
11	Uppströms Rensättra, öster om cykelvägen vid Margretebergsvägen, 3.

Sediment undersökningar

Sedimentprover togs den 4 september 2000 med hjälp av en Willner hämtare. I den norra delen av sjön togs provet på 17 m djup och i den södra delen på 16m. Totalt var propparna ca 35 cm långa. Sedimentpropparna skiktades, den översta biten i 1 cm skikt, sedan 2 cm och den sista biten i 3 cm skikt (tabell 4). Vattnet ovanför sedimentpropparna samlades in och skickades till Stockholm Vatten för analys. Sedimentproverna förvarades i kylskåp över natten och togs sedan till Uppsala Universitets fältstation, Erkenlaboratoriet. Där valdes 9 prover från varje sedimentpropp ut, de sex översta proverna i varje propp och sedan varannan till ett djup av 20 cm (tabell 4).

Tabell 4: Skiktningen av sedimentpropparna i cm, analyserade skikt med fet stil.

Norra	Beskrivning	Södra	Beskrivning
0-1	Flytande, grön-brun	0-1	Flytande, grön-brun
1-2	Flytande, grön-brun	1-2	Flytande, grön-brun
2-3	Flytande, grön-brun	2-3	Flytande, grön-brun
3-5	Flytande, brun	3-4	Flytande, grön-brun
5-7	Flytande, brun	4-5	Flytande, grön-brun
7-9	Flytande, brun	5-7	Flytande, brun
9-11	Flytande, brun	7-9	Flytande, brun
11-13	Svart-brun	9-11	Brun-svart
13-15	Svart-brun	11-13	Brun-svart
15-17	Svart-brun	13-15	Brun-svart
17-19	Grå-brun	15-17	Brun-svart
19-21	Grå-svart	17-19	Brun-svart
21-24	Grå	19-22	Brun-svart

Följande analyser genomfördes; torrsubstans, glödningsförlust, fosforfraktionering och total fosfor. Analyserna genomfördes efter laboratoriets kvalitetshandbok (Lindqvist U. 1992). Fosforfraktioneringen skedde genom extraktioner med följande kemikalier. Ammoniumklorid (NH₄Cl) som löser ut den lättillgängliga fosfor. Natriumdithionit (Na₂S₂O₄) och

natriumvätekarbonat (NaHCO_3) ger en uppskattning av fosfor som potentiellt kan frigöras under reducerande förhållanden (syrebrist), denna fraktion kallas ofta BD (bikarbonatdithionit). Natriumhydroxid (NaOH) löser ut resten av den aluminium- och järnbundna fosfor. Vid detta steg analyseras även totalfosfor. Skillnaden mellan total fosfor och den aluminium- och järnbundna fosfor är den organiskt bundna fosfor. Saltsyra (HCl) är den sista extraktionslösningen och ur den får man den kalciumbundna fosfor. Skillnaden mellan det totala fosforinnehållet och de olika fraktionerna blir residual fosfor som är så hårt bundet att det inte frigörs vid några av de olika extraktionerna. De olika fraktionerna innehåller olika delkomponenter och ingen ger en fullständigt enhetlig fraktion. Därför benämns fraktionerna efter extraktionsmedlet.

3:2 Resultat

Väderförhållanden och vattenföring

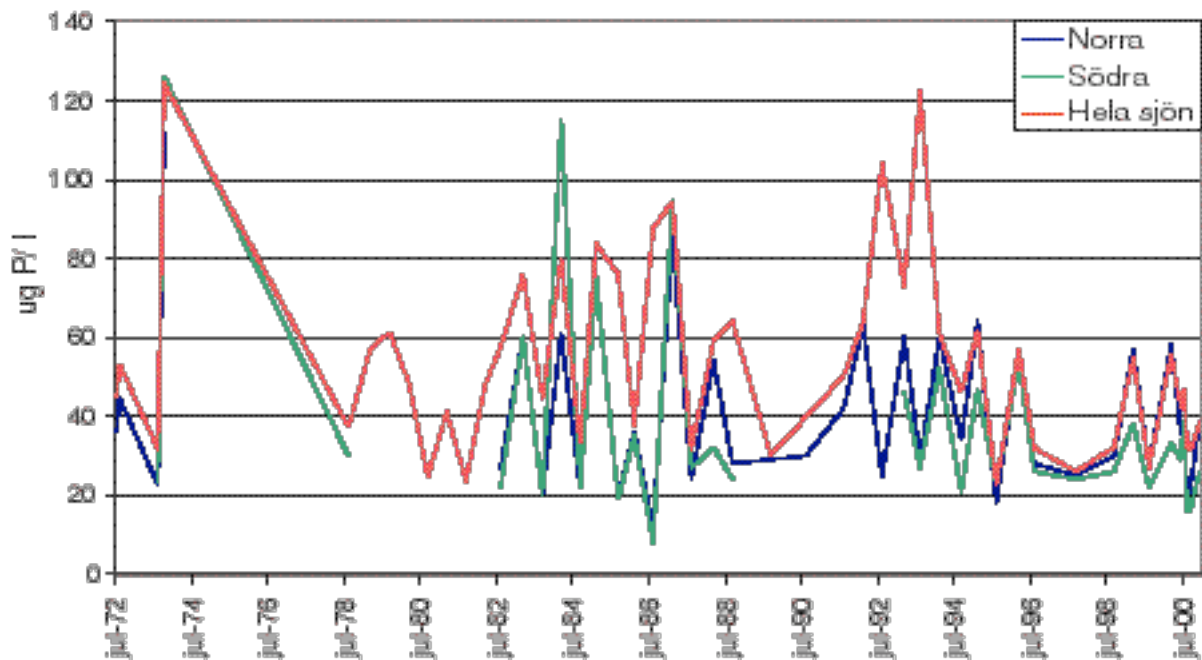
Under det dryga halvår då provtagningen skett har det varit mycket nederbörd i juni och juli, torr augusti och september samt mycket nederbörd i oktober, november och december. Detta återspeglar sig i mängden vatten i vattendragen. Mest vatten var det vid provtagningen den 19 december, i fallande ordning kommer sedan 31 juli, 11 juli, 28 augusti och 27 september. Under senare delen av hösten, oktober, november och december har det varit varmare än normalt. Därför skedde den sista provtagningen så sent som i december i och med att jag ville att sjön skulle vara oskiktad vid det tillfället.

Vattenföringen i tillflödena är som störst i Rensåtra, därefter kommer det södra tillflödet och minst vatten rinner det i det norra tillflödet. Transporterna av fosfor har samma inbördes ordning som vattenföringen. I det östra tillflödet förekom bara vatten vid provtagningen i december, men då var det å andra sidan väldigt mycket vatten.

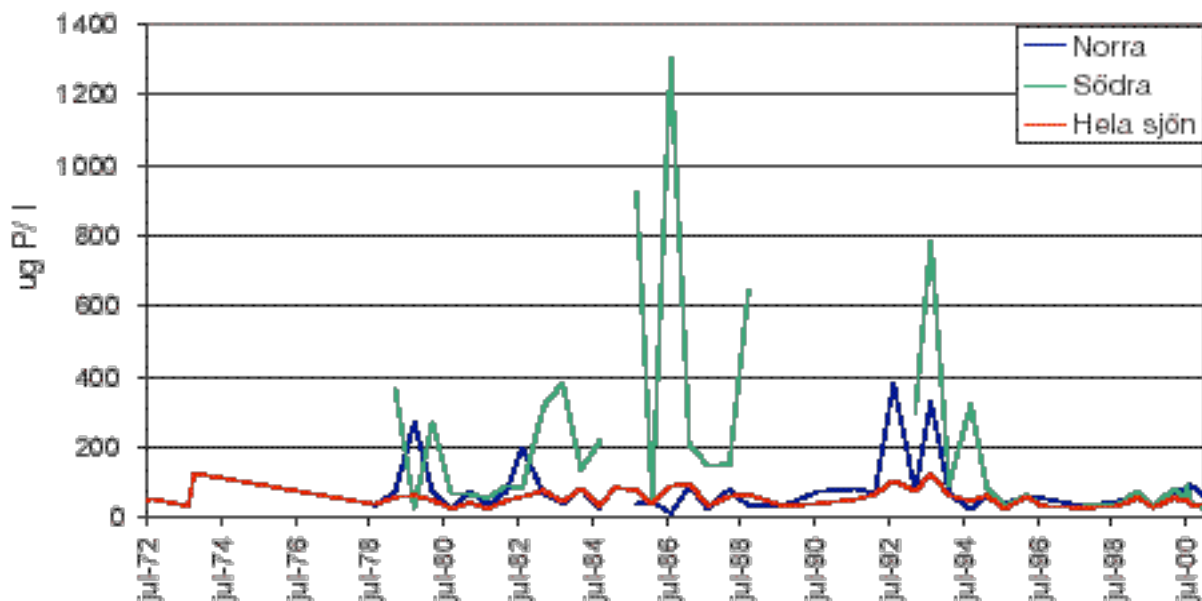
Vattenkemiska undersökningar

De vattenkemiska förhållandena i Sågsjön har bedömts enligt Naturvårdsverkets Bedömningsgrunder för miljö kvalitet, Sjöar och vattendrag (1999). Bedömningen av tillstånd är i fem steg där klass 1 motsvarar inga kända (negativa) effekter och 5 motsvarar tydliga (negativa) effekter på miljö och/eller hälsa. Alla mätdata finns i bilaga 1.

Sågsjöns pH ligger alltid över 7 och alkaliniteten är över 1,5 mekv/l, detta beror främst på kalken i marken. Båda värdena ligger i tillståndsklass 1, nära neutralt respektive mycket god buffertkapacitet. Det finns med andra ord inget försurningshot. Totalfosforhalten i epilimnion ligger runt 25 $\mu\text{g/l}$ beräknat som medelvärden på augustivärden från 3 år (figur 5). Det ger tillståndsklass 3, höga halter, en eutrof sjö. Fosforhalten i ytvattnet är som lägst under sommarhalvåret då produktionen är hög och fosfor binds in i organismer. I bottenvattnet är de extremt höga topparna vid augustiprovtagningen (figur 6). Detta beror på att det sker nedbrytning av sedimentande material både i vattenmassan i hypolimnion och på botten, varvid fosfor frigörs. Vid ett tiotal tillfällen har fosforhalten i hypolimnion i den södra delen av sjön varit avsevärt högre än i norra delen.



Figur 5: Totalfosfor i hypolimnion (ytvattnet) på Sagsjön 1979-2000, samt viktade värden för hela sjön (4:3 kalibreringsdata). Notera de olika skalorna i figur 5 och 6. De höga topparna är prover tagna i mars.



Figur 6: Totalfosfor i epilimnion (bottenvattnet) på Sagsjön 1979-2000, samt viktade värden hela sjön (4:3 kalibreringsdata). Notera de olika skalorna i figur 5 och 6. De höga topparna är prover tagna i augusti.

Den utökade provtagningen under 2000 har gjort det möjligt att bedöma Sagsjöns näringsstatus lite noggrannare. Medelvärdet av totalfosforhalten i ytvattnet vid provtagningarna juli-september är 25 $\mu\text{g/l}$ i den södra delen och 28 $\mu\text{g/l}$ i den norra delen. Enligt bedömningsgrunderna är detta klass 3, höga halter, samma bedömning som sjön fick vid bedömning av augustimedelvärden.

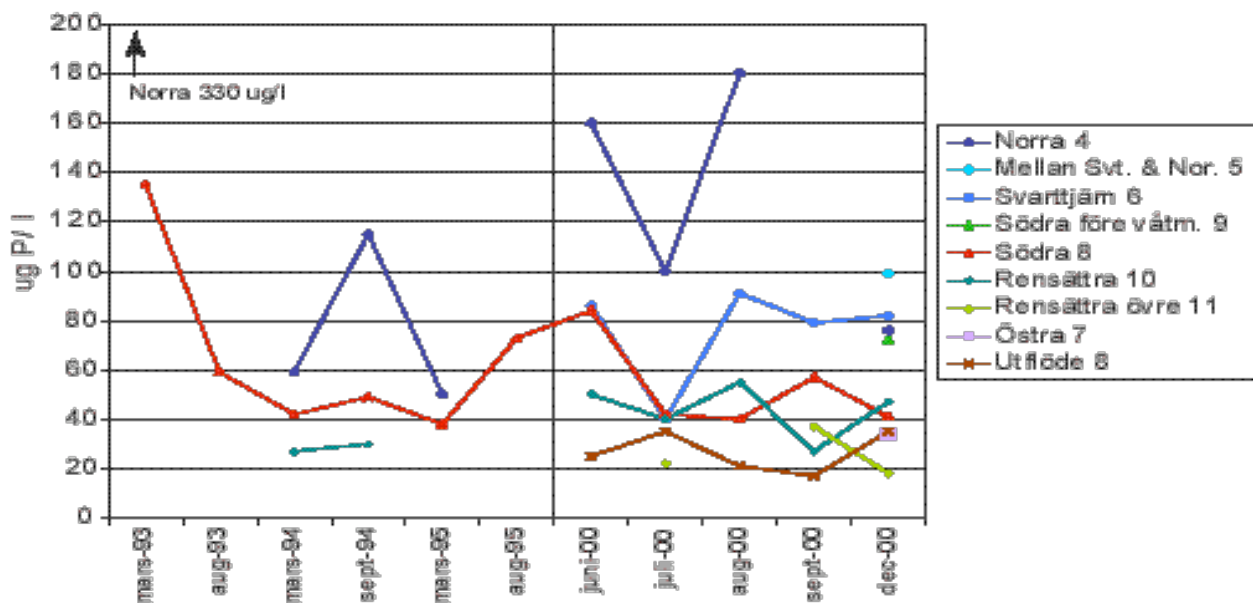
Motsvarande medelvärde för totalkväve är 577 $\mu\text{g/l}$ i den södra delen och 633 $\mu\text{g/l}$ i den norra

delen. Dessa halter går in under klass 2, måttligt höga halter. Bedömning av tot-P och tot-N ska egentligen ske på säsongmedelvärden maj-oktober, det vill säga sex provtagningar. Denna bedömning grundar sig endast på fyra provtagningar men jag anser det vara tillräckligt. Kvoten mellan totalkväve och totalfosfor ligger mellan 20 och 25 vilket bedöms som klass 2, kväve-fosforbalans. Enligt bedömningsgrunderna finns det i klass 2 en tendens till att cyanobakterier kan bilda massförekomster.

För att kunna bedöma om det finns en mänsklig påverkan på en sjö kan ett jämförvärde tas fram. Det skall representera ett naturligt fosfortillstånd och kan beräknas utifrån färgad organisk substans genom följande formel; $5 + 48 * \text{abs } f_{420/5}$. Absorbansen på vattnet den 27 september 2000 var 0,04 vilket ger ett jämförvärde på $7 \mu\text{g/l}$. Den uppmätta halten delat med jämförvärdet ger $25/7 = 3,6$ vilket klassas som 4, mycket stor avvikelse. Detta visar på att Sågsjön har en tydlig mänsklig (extern) påverkan.

Siktdjupet ligger på 2-4 m vilket gör att den hamnar i klass 3, måttligt siktdjup. Temperaturskiktningen ligger på 6-7 m under sommarhalvåret. Syrgashalter mindre än $1 \text{ mg O}_2/\text{l}$ ger bedömningen syrefritt eller nästan syrefritt, klass 5. När sjön är skiktad är syrgashalten i hypolimnion lägre än $1 \text{ mg O}_2/\text{l}$ och ibland känns en lukt av svavelväte.

I tillflödena varierar koncentrationerna främst beroende på vattenföringen. När det är mycket vatten är det låga koncentrationer på grund av att ämnena späds ut. Detta syns tydligt på tillflödena som visar lägre halter av totalfosfor den 31 juli då vattenföringen var hög (figur 7). Mängden näringsämnen som transporteras genom avrinningsområdet är däremot stor på grund av att så mycket vatten flödar. I sjön avspeglas detta genom förhöjda halter i den södra bassängen. Att det inte syns någon skillnad i norra bassängen beror på att det är södra bassängen som har de största tillflödena och därmed tar emot mest fosfor. Även fosfat-fosfor och totalkväve visar på högre halter den 31 juli (bilaga 2).



Figur 7: Totalfosfor i till- och utflöden samt Svarttjärn. Notera att tidsskalan inte är kontinuerlig. Siffran i förklaringsrutan motsvarar provtagningspunkten (tabell 3 och figur 4).

I det norra tillflödet är det höga koncentrationer av fosfor och halten dubblas vid flera tillfällen under den 3-400 m långa sträckan från Svarttjärn (figur 7). Detta beror troligen på att det inte finns utbyggt kommunalt vatten och avlopp i området varvid de olika enskilda avloppsanläggningarna läcker fosfor. Flödet i det norra tillflödet är inte så stort (stora mängder transporteras ej) men de höga halterna indikerar en påverkan. Vid den sista provtagningen togs även prov mellan Svarttjärn och norra tillflödet (provtagningsspunkt 5, tabell 3, figur 4), för att se hur halten ändras längs vägen. Resultatet blev inte helt entydigt då halten i norra tillflödet var lägre än i Svarttjärn vid detta provtagningstillfälle. Koncentrationen var som högst i den utökade provtagningsspunkten vilket kan tyda på en lokal påverkan. Fler provtagningar krävs dock för att kunna säga något generellt. I Rensättra tillflödet har prov tagits i början på systemet (provtagningsspunkt 11) och precis vid utloppet (10). Inget generellt kan sägas huruvida kolonilottorna och hagarna påverkar näringstillförseln. I december togs även ett prov uppströms den våtmark (9) som det södra tillflödet rinner igenom. Det visar på högre halter än vid utflödet i sjön. Ett prov är för lite för att kunna säga något allmänt men våtmarker brukar binda näringsämnen. Det östra tillflödet har låga koncentrationer vid den enda mätningen. I utflödet är det låga halter, vilket beror på att det är ytvattnet som rinner från sjön.⁷

Utifrån de tidigare tagna proverna och de som tagits under år 2000 kan ingen entydig tidstrend ses. För att kunna säga exakt hur mycket fosfor (näring) som transporteras i olika tillflöde krävs att det tas prover betydligt oftare och helst i förhållande till flödet. Flödesviktade prover kan tas med en automatisk provtagare.

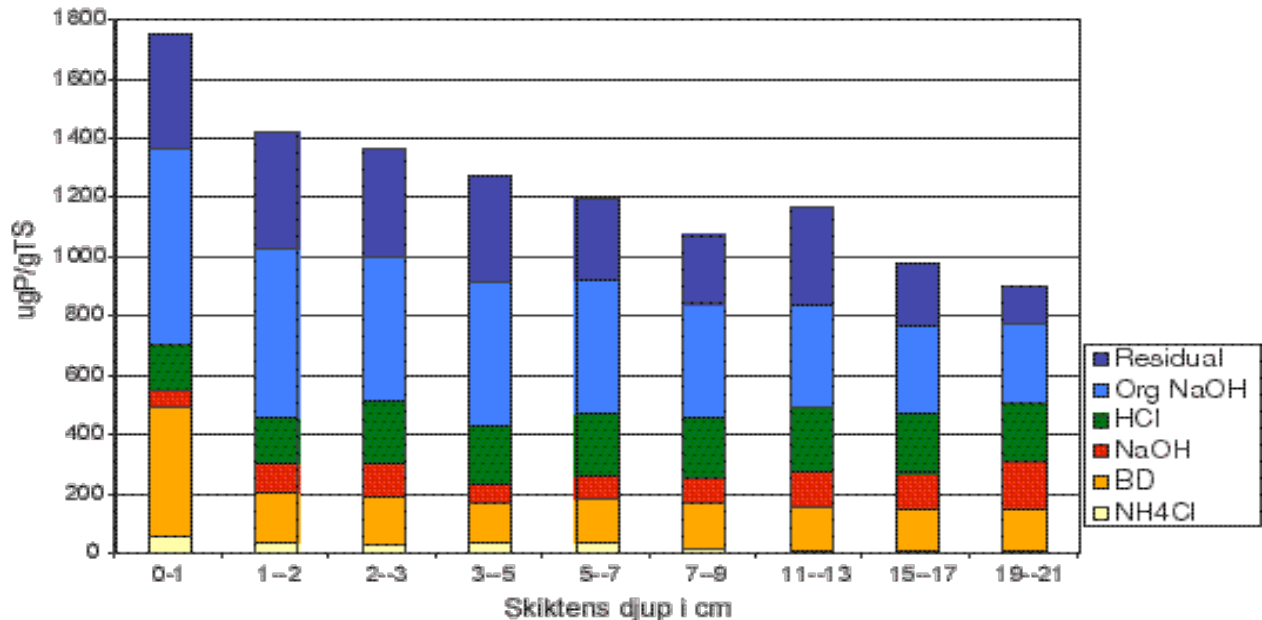
Sediment undersökning

Överst i de båda sedimentpropparna var sedimentet svart-brun-grönt (tabell 4) och fluffigt med ett högt vatteninnehåll. Det luktade svavelväte om proven. Längre ned var proven svart-bruna för att övergå till helt svart vid ca 15 cm djup. Djupare än 20 cm var proven helt gråa i lite olika nyanser och mycket mjuka. Det syntes inga tydliga årstidsvarv så sedimenten blandas troligen om.

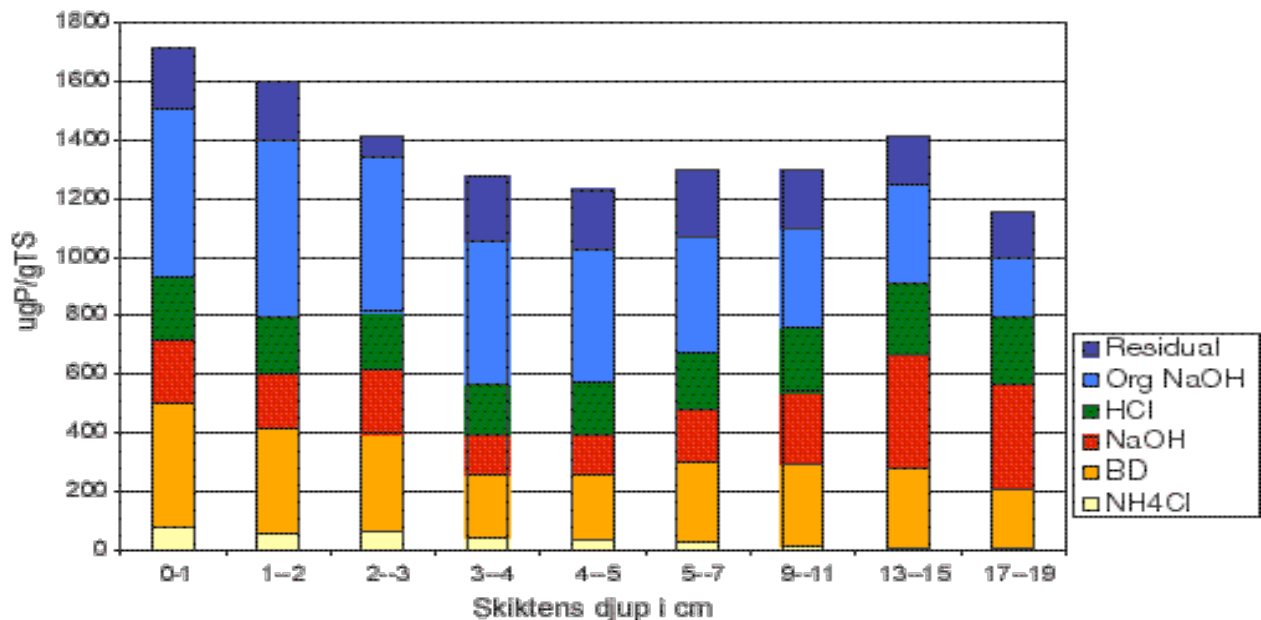
Torrsubstansen (TS) var 3,3-4,0 % i de översta skikten och runt 20 % på 20 cm djup (bilaga 3). Glödgningsförlusten (GF), det vill säga det organiska innehållet, ligger på knappt 30 % i de översta skikten och runt 12% på 20 cm djup. Detta är typiskt för ackumulationsbottnar. Sedimentet kan klassas som gyttja på grund av det låga organiska inslaget och färgen. Gyttja härstammar främst från sjöns egna produktion.

Det totala fosforinnehållet i sedimentet var 1700 $\mu\text{g/gTS}$ i det översta skiktet (figur 8 och 9 samt bilaga 3). Sedan sjunker fosforinnehållet nedåt i profilen till 900 $\mu\text{g/gTS}$ i den norra delen av sjön och till 1200 $\mu\text{g/gTS}$ i den södra delen. I de översta fyra centimetrarna i den södra bassängen fanns det 40-80 $\mu\text{gP/gTS}$ (motsvarande 3-4,5 %) från NH_4Cl fraktionen, det vill säga den löst bundna fosfor som kan avges direkt till vattnet. Samma fraktion i den norra bassängen var lägre 30-55 $\mu\text{gP/gTS}$ (runt 3 %). Denna fraktion avtar sedan snabbt med djupet och var under 1 % vid 10 cm djup. BP-fraktionen, kan frigöras vid syrefria förhållanden och motsvarar 25 % (430 $\mu\text{gP/gTS}$) i de översta skikten i båda bassängerna. I den södra var andelen BP runt 20 % i de djupare skikten. Förhållandena i den norra bassängen var annorlunda då BP sjunker snabbt till mellan 12 och 15 %. NaOH fraktionen var ungefär hälften så stor i den norra i förhållande till den södra bassängen. Den fraktionen liksom HCl har hårda bindningar och fosfor kan inte frigöras till vattnet. Organiskt bundet fosfor (ur NaOH-analysen) var den största fraktionen i båda bassängerna och motsvarar

35-40 %. Residual fosfor var cirka 25 % i den norra bassängen och cirka 15 % i den södra bassängen. Att mängden fosfor i sedimentet var större i södra bassängen beror troligen på att den delen av sjön har ett större tillrinningsområde och har varit mer påverkad av avloppsutsläpp. En annan förklaring kan vara att bassängen är mindre och därmed har fosfor koncentrerats mer.



Figur 8: Mängd fosfor i de olika fraktionerna i sedimentet i norra Sågsjön. BD-och NH_4Cl fraktionerna är de som kan avges till vattnet. Totalfosfor innehållet minskar snabbare med djupet i norra bassängen än i den södra (figur 8).



Figur 9: Mängd fosfor i de olika fraktionerna i sedimentet i södra Sågsjön. BD-och NH_4Cl fraktionerna är de som kan avges till vattnet. Totalfosfor innehållet minskar långsammare i södra bassängen än i den norra (figur 8). Detta beror troligen på att södra bassängen har fått motta mer fosfor från ett större tillrinningsområde.

För att få fram tidsperspektivet på fosforbelastningen till sjön bör man veta vilken sedimentationshastigheten är. Den är dock svår att uppskatta och beror på morfometri, erosion och produktion. Ett ungefärligt värde är att sedimentet växer med 1mm/år (Horne A. & Goldman C. 1994). Det skulle innebära att de analyserade 20 cm motsvarar ca 200 år. I vattnet ovanför sedimentet är totalfosfor halten i den södra bassängen 730 µg/l och 570 µg/l i den norra bassängen. Det visar att det sker transporter mellan sedimentet och vattnet. I den södra bassängen dominerar fosfatfosfor fraktionen helt medan den fosfor andelen är lägre i den norra bassängen (bilaga 3).

4. Modellen

4:1 Modellbeskrivning

För att kunna få en uppfattning om fosforomsättningen i Sågsjön har en modell (Jørgensen & Mejer, 1977) använts med vars hjälp fosforhalten i vatten och sediment beräknas. Syftet med modellen är att försöka beskriva sedimentens roll för den nuvarande fosforbelastningen, liksom att försöka belysa den tidsmässiga responsen på en avlastning av Sågsjöns nuvarande fosforbelastning. Brist på relevanta data för kalibrering medför att antalet variabler begränsats till tre. Valet av tillståndsvariabler är således resultatet av en avvägning mellan tillgång på basdata och problemformulering. Sågsjön har modellerats som en sjö, trots den tydliga uppdelningen i två bassänger. Modellen sträcker sig över 150 år, från 1900 till 2050.

Modellstruktur

I modellen simuleras tre fosforfraktioner (tillståndsvariabler): löst fosfor i vatten (P_s), fosfor bundet i alger (P_a) och mängden utbytbar fosfor i sedimenten (P_{sed}).

Modellekvationernas tillståndsekvationer är:

$$P_s = (P_{in} - P_s) * (Q/V) - (\mu_a - R_a) * P_a + a_s * K_x * P_{sed}$$

$$P_a = (\mu_a - R_a - S_a - (Q/V)) * P_a$$

$$P_{sed} = 0,25 * S_a * P_a / a_s - K_x * P_{sed}$$

där:

P_{in} = vägd medelkoncentration i tillfört fosfor	g P/m ³
Q = vattenföring	m ³ /dygn
V = volymen	m ³
P_s = löst oorganiskt fosfor i vatten	g P/m ³
P_a = fosfor bundet i alger	g P/m ³
P_{sed} = mängden utbytbar fosfor i sedimenten	g P/m ³

De överföringshastigheter som ingår i modellen är respiration (R_a) och tillväxthastighet (μ_a) hos alger:

$$R_a = R_a^{20} * f_T$$

$$\mu_a = \hat{\mu}_a * f_T * \frac{P_s}{K_p + P_s}$$

där:

$$f_T = 1,03^{T-293}$$

T = vattentemperatur (gr. Kelvin)

a_s är volymförhållandet mellan sedimentens torrsvikt och sjövolymen definierat som

$$a_s = DMU * d_s / d$$

Modellparametrar

Parametrarna har dels erhållits från originalmodellen, dels genom mätningar och kalibrering mot observationer. Värdena sammanfattas i tabell 6.

Tabell 6: Modellparametrar.

Symbol	Namn	Värde	Ursprung	Enhet
d	Medeldjup	8,6	uppmätt	m
d_s	Aktiva sedimentens tjocklek	0,06	uppskattat	m
DMU	Mängd torrsbstans i övre lagret	0,1	uppmätt	
K_p	Michaelis konstant för fosforupptag i alger	0,02	orig. mod.	g P/m ³
R_a^{20}	Algernas respirationshastighet vid 20°C	0,0077	kalibrering	dygn ⁻¹
K_x	Fosformineralisering i sedimenten	0,0002	kalibrering	dygn ⁻¹
μ_a	Specifik tillväxt hos fytoplankton vid 20°C	0,021	kalibrering	dygn ⁻¹
S_a	Algernas sedimentationshastighet	0,009	kalibrering	dygn ⁻¹
Startvärden (1900-01-01)				
P_{s0}	löst oorganiskt fosfor i vatten	0,002	uppskattat	g P/m ³
P_{a0}	fosfor bundet i alger	0,005	uppskattat	g P/m ³
P_{sed0}	mängden utbytbart fosfor i sedimenten	20	uppskattat	g P/m ³

Drivdata

Modellen drivs av fosforbelastning, vattenföring samt vattentemperatur;

Fosforbelastningen beräknas genom att månadskoncentration av fosfor (P_{in}) (tabell 8)

multiplieras med vattenföringen (Q). Specifikvattenföring (1968-1999) från Oxunda ån (Märsta) har använts för uppskattning av månadsmedelvattenföringen till Sågsjön. Vattentemperaturen är från djupen 0,5; 3 och 7 m i Kvicksund Galten 1967-1995. Temperaturen reglerar alg tillväxt och respiration (algernas nedbrytning)

4:2 Bakgrundsdata till modellen

För att kunna uppskatta hur mycket fosfor som tillförts sjön under de senaste hundra åren måste följande uppgifter finnas:

- Vilken användning har marken haft och hur mycket fosfor har läckt från den?
- Hur många människor har bott inom området och hur har de påverkat sjön?

Uppskattningarna har gjorts i 10 års intervaller.

Markanvändning och arealförlust

Arealen för olika markanvändning har uppskattas från en karta som gjordes 1901. Mellan 1901 och 1955 har jag inte hittat någon karta utan förändringarna har uppskattats. Under andra hälften av 1900-talet har den gröna kartan kommit ut från lantmäteriet cirka vart tionde år, utifrån dem har markanvändningen uppskattats. Den nuvarande markanvändningen kommer från en datoriserad grön karta (C lantmäteriverket 1998) (figur 1, tabell 2). Jag har antagit att ytan berg i dagen, block i skog, block på öppen mark, brunmyr och vatten har varit samma under 1900-talet. I början av seklet fanns det 100 ha åkermark inom tillrinningsområdet. Den minskar sedan successivt fram till slutet på 60-talet då Rensättra gård med sina 35 ha läggs ned (Jansson E.A. 1946). Knappt 2 ha av den gamla åkermarken blev till kolonilotter, resten är hagar och ängar eller bebyggts. För resonemang angående bebyggelseutvecklingen se befolkning och avlopp nedan. Uppskattningarna finns redovisade i bilaga 4. Arealförlusterna från de olika markanvändningarna redovisas i tabell 7.

Tabell 7: Fosfor förluster från olika markanvändning.

Markanvändning	Förluster (kg P/ha år)	Källa
Skog	0,03	Löfgren S. & Olsson H. 1990
Brunmyr	0,06	Löfgren S. & Olsson H. 1990
Åkermark	0,1-0,2	Löfgren S. & Olsson H. 1990
Öppenmark	0,05	Carlsson S-Å 2000
Låghus	0,2-0,4	Carlsson S-Å 2000, egen uppskattning
Fritidshus, Gårdar	0,1	Egen uppskattning
Industri	0,75	Carlsson S-Å 2000
Vatten	0,08	Carlsson S-Å 2000

Från åkermark har jag antagit att det läckte mindre (0,1 kgP/ha år) före 1945 då konstgödning inte användes. Arealförlusterna i Carlsson S-Å 2000 för låghus är på 0,5-0,6 kgP/ha år. Att jag antagit en lägre siffra beror på att de flesta tomterna i området är naturmark och därför inte borde läcka så mycket fosfor. Förlusterna från fritidshus är en egen uppskattning utifrån att tomterna främst är naturmark. Atmosfärsdepositionen är inberäknad i de olika förlusterna, den deposition som sker direkt på vattenytan är uppskattad till 0,08 kg P/ha år.

Befolkning och avlopp

Den största påverkan på Sågsjön har utan tvekan människorna som bor runt sjön haft. Tillförseln av orenat avloppsvatten har gjort att sjön blivit övergödd. Jag har antagit att avloppsvatten började tillföras sjön 1930. Fram till 1979 har endast enklare uppskattningar gjorts (bilaga 5). Därefter finns mycket mer fakta/data att ta med i beräkningarna (bilaga 6). All rening avser fosfor.

1900-1949

På kartan från 1901 finns 8 gårdar och torp. Under 20 och 30-talet påbörjas utbyggnad av fritidshus i området. Jag har antagit att påverkan från avlopp var obetydlig innan 1930. Vid den södra delen av sjön fanns då ett ålderdomshem och ett församlingshem. På ålderdomshemmet bodde 12 personer (Karlsson Eero 2000, muntligt) som vårdades av 3 personer (uppskattat). Församlingshemmets användning antas motsvara 10 personer. Ingen rening sker. Det fanns även en skola, men i och med att det byggdes en ny skola 1949 har jag förutsatt att det först då installerades vattentoaletter. Inget avlopp kom ifrån hushållen.

1940-1949

Under åren 1940-1949 antas antalet permanentthus vara 25 och fritidshus 125. Av de permanentboende uppskattas 5 % ha vattentoalett och bad, disk och tvättvatten (BDT-vatten) som går orenat ut. Utsläppen motsvarar 2,5 g fosfor per person och dygn (g P/pd) (Statens naturvårdsverk 1995). Hälften antas ha sitt BDT-vatten gå orenat ut motsvarande 1g P/pd. Resterande 45 % har inget vatten indraget. Fritidsboende uppskattas vara där 100 dygn per år och 20 % har BDT-vatten som går orenat ut. Resten har inte vatten indraget. I husen bor i genomsnitt 2,3 personer (Nacka kommun 2000:1).

1950-1969

På kartan från 1955 har jag räknat husen inom tillrinningsområdet och fått dem till 400. Fördelningen mellan permanentthus och fritidshus antas vara 75/325. Dessa uppgifter har använts för perioden 1950-1959. Antalet permanentthus med vattentoalett och BDT-vatten antas öka till 10 %. Fritidshus med BDT-vatten uppskattas öka till 30 %. Övriga antaganden är som tidigare. På skolan gick, efter 1950, ca 120 barn (Sundman-Brott Ann, 2000-10-09 muntligt), vilket förutsätts motsvara 60 vuxna. Lärare och annan personal på skolan uppskattas till 10 stycken. Under ett år är de där 15% av tiden. Mellan åren 1960-1969 har följande förändringar i antagandena gjorts. Antalet permanentthus antas öka till 120 och fritidshus till 380. En ökning av indraget vatten uppskattas enligt följande. Permanentboende med toalett och BDT-vatten 15 %, bara BDT-vatten 60 %. Sommarboende med toalett och BDT-vatten 5 % och bara BDT-vatten 30 %.

1970-1979

En inventering av avloppsanläggningar i området gjordes 1972 av gatukontoret. Tyvärr har jag inte lyckats hitta den utan bara kunnat utgå från siffror i andra dokument. Enligt dessa släpptes det ut avlopp från 240 personer i södra bassängen. Renat med endast slamavskiljning. Denna typ av rening tar bort 15 % av fosfor. I den norra bassängen släpps det ut avlopp från 90 personer med samma rening. Jag har tagit siffrorna rakt av och inte gjort någon uppdelning med avseende på permanent och sommarboende. Under början på 70-talet anslöts skolan och församlingshemmet till kommunalt vatten och avlopp, ålderdomshemmet lades ned.

1980-2000

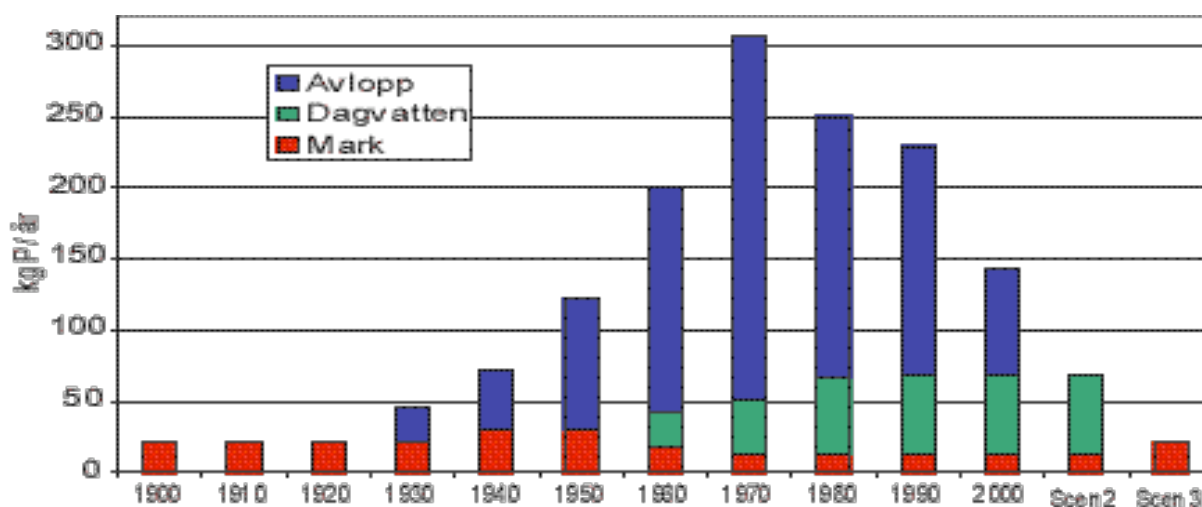
För bedömning av avloppssituationen på 1980-talet och framåt har en noggrannare genomgång gjorts. Uppgifter om när olika områden anslutits till kommunalt vatten och avlopp kommer från Per Johnsson, Nacka kommun. De olika områdena, när de anslöts eller kommer att anslutas finns utmärkta i figur 4. (Ett tiotal fastigheter vid Sågsjöhöjden som anslöts under 1990-talet finns inte med.) Hur många fastigheter som finns i olika områden och hur många vars ägare är mantalsskrivna

på adressen, det vill säga permanentboende, är taget ur kommunens fastighetsregister. Antal boende per fastighet är 2,3 (Nacka kommun 2000:1). Att göra en inventering av vilka avloppslösningar alla hushåll har bedöms ta för lång tid så olika uppskattningar har gjorts. Två olika beräkningssätt har givit samma mängd utsläppt fosfor. I den första antas 50 % av de boende ha vatten toalett och 50 % har det inte utan bara utsläpp av BDT-vatten. Allt avlopp renas med 50 % och de sommarboende är i sina hus 150 dygn om året (Birgitta Held-Paulie, 2000, muntligen). Dessa antaganden har Nacka kommun använt då de uppskattat utsläppen från enskilda avlopp i hela kommunen.

Det andra beräkningssättet innebär att 30 % har en av Nacka kommun godkänd lösning. Vilket är att toaletten går till slutna tank eller mulltoa och att BDT-vattnet går till en slamavskiljare och sedan markbädd vilket renar med 50 %. Av resterande 70 % har hälften toalett till slutna tank medan BDT-vattnet går ut utan rening. Den andra hälften har toalett och BDT-vatten till trekammarbrunn, vilket renar fosfor med 15 %. Av de permanentboende förvärvsarbetar 70 % och de är hemma 70 % av tiden. Resterande 30 % antas vara hemma hela tiden. Denna uppdelning gäller bara toalettavloppet, allt BDT-vattnet antas produceras i hemmet. De sommarboende är där 150 dygn om året. I båda fallen är fosforinnehållet i toalett och BDT-vattnet är 2,1 g/pd, i bara BDT-vattnet är det 0,6 g/pd (Statens Naturvårdsverk 1995). Samt att en retention (fastläggning i marken) sker med 50 % på de områden som ligger mer än en kilometer från sjön och med 20 % på de områden som ligger närmare.

Tabell 8: Summering av uppskattad belastning till Sågsjön i tio års intervall, kg P/år. För närmare detaljer se texten och bilagorna 4-6. P_{in} är vägd medelkoncentration av fosfor i tillfört vatten, insatt i modellen. 2000 motsvarar även scenario 1.

	1900	1910	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	Scen2	Scen3
Mark	21	21	22	22	30	30	18	13	12	12	12	12	22
Dagvatten							25	38	54	57	57	57	
Avlopp				23	42	92	158	256	184	160	74		
Summa	21	21	22	45	72	122	201	307	250	229	143	69	22
P_{in} mg/l	0,027	0,027	0,028	0,058	0,091	0,156	0,258	0,392	0,32	0,291	0,183	0,065	0,028



Figur 10: Tillförd fosfor under 100 år i 10 års perioder.

Totalt under de senaste 100 åren har 12.000 kg fosfor tillförts Sågsjön. Med en medelavrinning på 5,6 l/(s*km²) och en fosfor koncentration på 50 µg/l har under samma tid 4000 kg fosfor lämnat Sågsjön. Den totala fosfor mängden i sedimentets översta 20 cm på 10 m och djupare är 4000 kg. Kvar blir 4000 kg som jag inte riktigt vet vart de tagit vägen.

Sedimentet

En del av den mängd fosfor som finns i sedimentet kan avges till vattnet. Beräkningen av mängden tillgänglig fosfor har gått till på följande sätt. Den fosfor som finns i de översta 6 centimetrarna och tillhör NH₄Cl och BD fraktionerna antas kunna avges. Det sediment som finns på 10 m djup och nedåt uppskattas innehålla samma mängder fosfor som de analyserade proverna. I och med att densiteten på sedimentet inte mätts så har sambandet mellan torrsbstans och densitet från undersökning av Vansjön används istället (Olevall och Vesterberg 1997). Den totala mängden fosfor som kan avges har uppskattats till 130 kg. För beräkningar se bilaga 7.

4:3 Kalibreringsdata

För att kalibrera modellen har värden på uppmätta och uppskattade halter totalfosfor och fosfatfosfor i sjön lagts in i modellen. Regelbunden provtagning påbörjades inte förrän i slutet av 70-talet. Tidigare halter har uppskattats genom påslag på den naturliga bakgrundshalten på ca 7 µg/l (se Resultat vattenkemiska undersökningen). Enbart värden för mars och augusti har lagts in i modellen enligt tabell 9.

Tabell 9: Uppskattade halter i Sågsjön innan mätningar gjorts.

År	Mars, Tot-P, µg/l	PO ₄ -P, µg/l	Augusti, Tot-P, µg/l	PO ₄ -P, µg/l
1900-1939	10	2	7	2
1940-1949	15	5	10	5
1950-1959	20	5	15	5
1960-1969	30	10	25	5
1974-1977	40	20	35	10

När prover har tagits i sjön har det gjorts på mellan en till fyra lokaler. För att få fram ett värde för hela sjön har beräkningar gjorts på följande sätt. Ett prov taget i ytan antas motsvara volymen på 0-10 meter och ett bottenprov volymen 10-20 m. Volymerna som använts finns i tabell 1. Först har den totala massan fosfor i hela sjön beräknats och sedan har den delats med sjöns totala volym. När prov bara tagits i en bassäng har det antagits gälla hela sjön. Vid provtagningarna på 70- och 80 talet har endast prov tagits i ytan eller vid botten. I och med att halterna i ytan och på botten skiljer sig så mycket åt kan de inte skalas upp på hela sjön. För att ändå få fram en siffra har följande antaganden gjorts. Skillnaden mellan värdena på botten och ytan är ca 40 µg/l, högre på botten. När värdena på tot-P blivit negativa eller större än 100 µg/l har ytvärdena satts till 20 µg/l. Om PO₄-P blivit större än 100 µg/l i ytan har de satts till 5 µg/l och har de beräknats till negativa har samma värde använts som på botten (lågt på botten -> lågt i ytan). Skillnaden mellan tot-P och PO₄-P är ca 20 µg/l. Använda värden finns i bilaga 8 samt figur 5 och 6.

4:4 Scenarier

Scenario 1-samma belastning som nu

Den första modelleringen är gjord med samma fosforbelastning som nu, det vill säga 143 kg P/år (0,183 mg/l). Ingen minskning sker under de närmaste 50 åren.

Scenario 2-kommunens planer

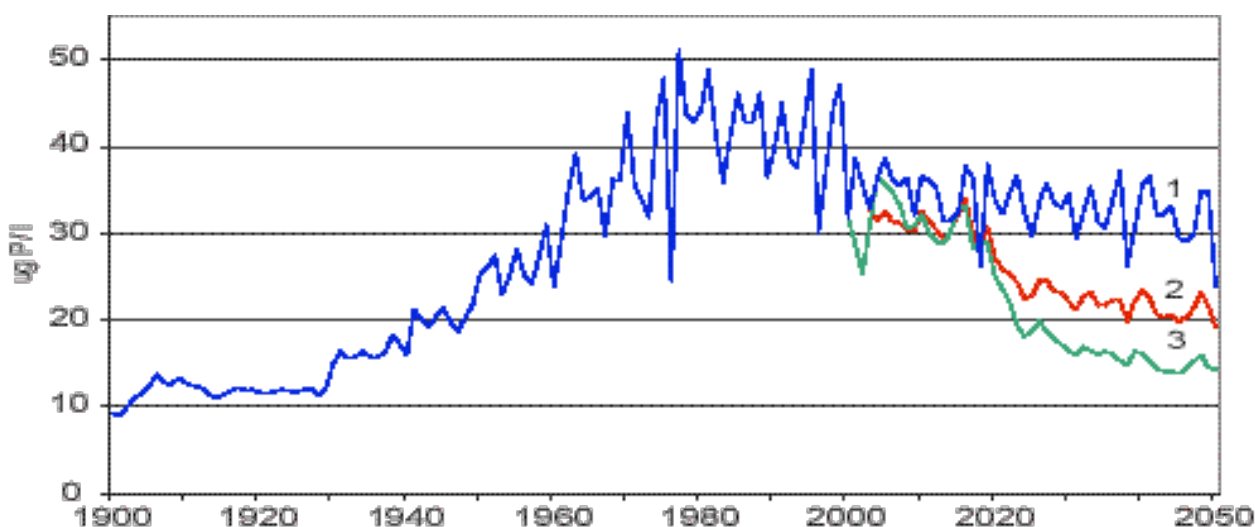
Detta scenario utgår ifrån kommunens planer för utbyggnad av kommunalt VA. Planen innebär utbyggnad i två steg. Innan 2004 ska 218 av fastigheterna anslutas och senast 2006 skall resterande 38 fastigheter vara anslutna (Nacka kommun 2000:1 och Johnsson Per 2000 muntligen). Ungefär hälften av dessa fastigheter är fritidshus. Belastningen motsvarar 79 kg P/år (0,086 mg/l) mellan 2004 och 2006. Efter 2006 är tillförseln endast från markanvändning och är 69 kg P/år (0,065 mg/l)(bilaga 6). Scenariot innebär en halvering av tillförd mängd fosfor. Det är inte säkert att planen kommer att genomföras som tänkt i och med att planförfarandet kan dra ut på tiden.

Scenario 3–ursprunglig belastning

Tredje scenarier är utformat för att se vad som skulle hända med sjön om all extern (allt som inte kommer från marken) belastning togs bort från och med år 2001. Tillförseln till sjön blir densamma som den var i början på 1900-talet, 22 kgP/år (0,028 mg/l 1920-1929). Detta är orealistiskt i och med att tillförseln inte kommer att kunna stoppas så tvärt. Men det är ändå intressant att se hur sjön skulle utvecklas.

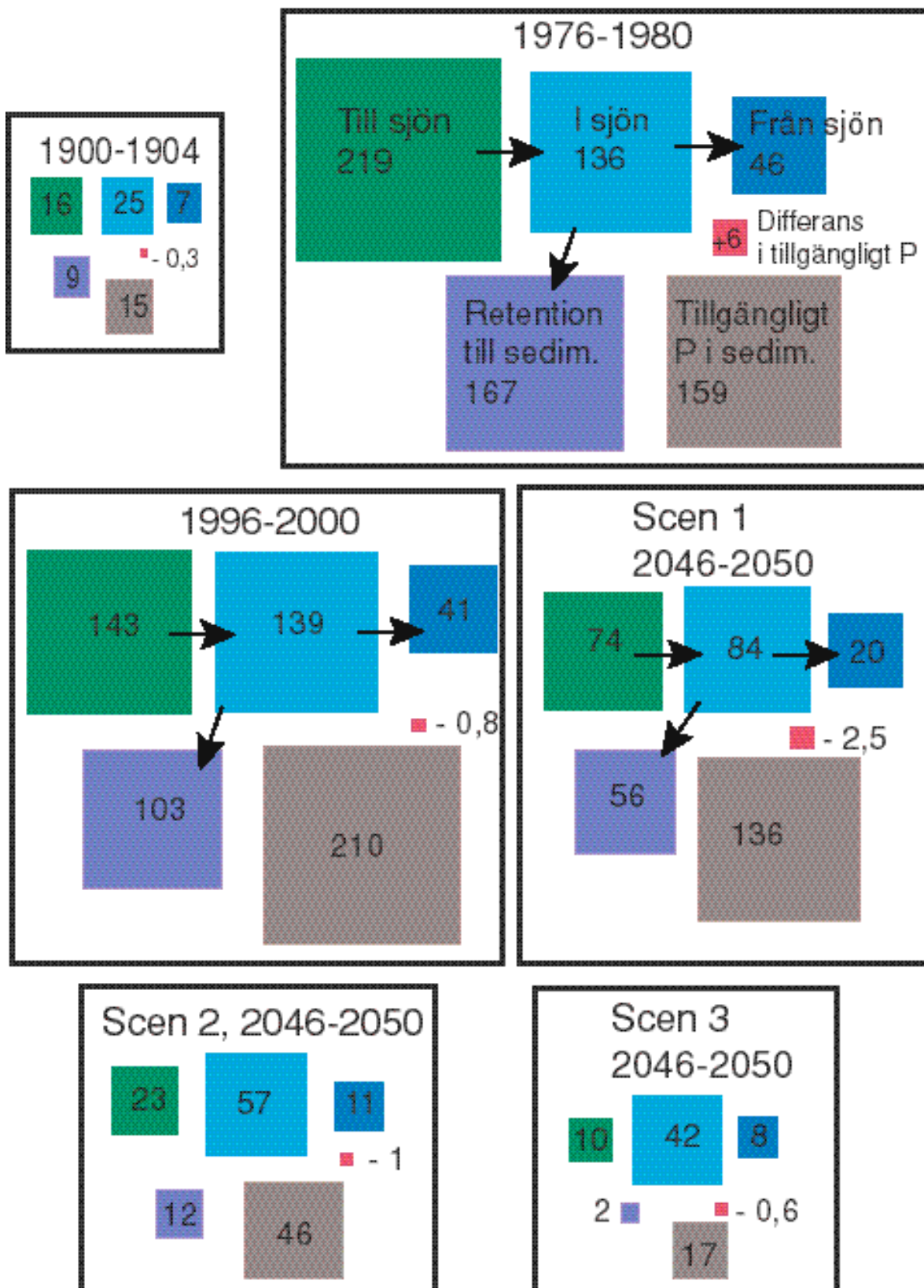
4:5 Resultat av modellen

Halten i sjön är drygt 10 $\mu\text{g/l}$ i början av 1900-talet (figur 11). När belastningen från avlopp börjar på 30-talet ökar genast halten i sjön. Detta fortsätter fram till 80-talet då belastningen på sjön minskar och halterna sjunker. År 2000 ligger halterna, enligt modellen, på drygt 30 $\mu\text{g/l}$. Om belastningen ligger kvar på nuvarande nivå, scenario 1, kommer inte halterna att sjunka nämnvärt under de närmaste 50 åren. Vid de andra två scenarierna sjunker halterna efter cirka 20 år. Detta beror på att sedimenten avger lättlösligt och järnbundet (BD) fosfor till vattnet. När denna fosfor är slut kan halterna i vattnet sjunka. För scenario 2 sjunker halten till drygt 20 $\mu\text{g/l}$ och den ser ut att kunna sjunka mer efter 2050. Detta gäller även scenario 3 men där är halten nere på 15 $\mu\text{g/l}$ år 2050.



Figur 11: Modellerade halter i sjön under 150 år. Det skedde en ökning fram till 1980-talet då belastningen på sjön minskade. Därefter sjönk halterna fram till 2000. Kurva 1 visar fosforutvecklingen fram till år 2050 med nuvarande belastning. Kurva 2 visar vad som händer med fosforhalterna i Sågsjön om alla nuvarande avloppsutsläpp tas bort. Fosforhalterna om dessutom allt dagvatten avleds från Sågsjön visar kurva 3.

För att se vilka mängder av fosfor som transporteras till och från sjön samt hur mycket det finns i sjön och i sedimentet har jag gjort en fosforbudget för sex olika tillfällen (figur 12). Det är beräknat som medelvärden under fem år uttryckt i kg fosfor /år. Hur mycket fosfor som kan avges från sedimentet, är tillgängligt, finns angivet som en grå box och hur mycket den fraktionen varierar under ett år, röd box. När den är negativ minskar mängden tillgängligt fosfor i sedimentet och när den är positiv ökar mängden. Tidsperioderna som beräknats är 1900-1904, när sjön ännu var opåverkad, den maximala belastningen 1976-1980 och nuläget 1996-2000. För att se skillnaden mellan de olika scenarierna har en budget gjorts för åren 2046-2050 för varje scenario. Scenario 1 medför en viss minskning i mängden tillgängligt fosfor i sedimenten, men det finns ännu mycket fosfor som kan frigöras. I scenario 3 är den tillgängliga mängden nästan tillbaka på samma nivå som i början av 1900-talet och scenario 2 ligger mittemellan.



Figur 12: Fosfor budget för Sögsjön, medelvärden under 5 år, kg/år. Rutornas storlek är proportionerlig emot mängden. Den gröna rutan motsvarar mängden fosfor som förts till sjön, ljusblå ruta är mängden i sjön, mörkblå ruta mängd som transporteras från sjön och lilå ruta är fosfor som lagras i sedimentet. Den grå rutan motsvarar mängd fosfor som kan avges från sedimentet till vattnet och den röda rutan hur mycket den mängden ändras under ett år.

5. Diskussion

Om utbyggnaden av kommunalt vatten och avlopp sker som planerat kommer det att dröja minst 20 år innan det blir en tydlig sänkning av fosforkoncentrationen i sjön. Denna tidsfördröjning beror på den inlagrade fosfor i sedimentet som avges till vattnet under en lång tid. En faktor som inte är inberäknad i modellen är att fosfor som lagrats i marken i till exempel markbäddar kan komma att frigöras och läcka ut till sjön. Om så sker kan sänkningen av halterna i sjön ta längre tid än beräknat. En annan osäkerhetsfaktor är att förtätning och permanentning kan ge ökad tillförsel av fosfor om inte utbyggnad av vatten och avlopp sker. Som vid de flesta miljöproblem sker en fördröjning både vid påverkan och vid avlastningen. Kommunen har inte satt upp något mål för vilken fosforhalt det ska vara i sjön men en halt under 25 µg/l brukar anses motsvara en ”frisk” sjö och det uppnås om avloppen slutar belasta Sågsjön.

Detta arbete bygger främst på uppskattningar och antaganden om hur mycket fosfor som tillförts Sågsjön från olika källor under de senaste 100 åren. Det enda sättet att kontrollera om det är rimligt är att titta på sedimentet som är sjöns ”historiebok”. Där lagras och begravs tidigare utsläppt fosfor. Vid en jämförelse mellan uppskattningarna och vad som finns i sedimentet och beräknas ha runnit från sjön stämmer budgeten hyfsat. Under 100 år är det 4000 kg som ”saknas”.

För att i nutid bestämma hur mycket fosfor som tillförs sjön krävs en flödesviktad provtagning i tillflödena under flera år samt en uppskattning av den mängd som tillförs direkt från stranden. Jag anser det inte nödvändigt att genomföra en sådan provtagning eftersom förhållandena i sjön inte är så allvarliga och en ytterligare minskning av belastningen kommer att ske inom snar framtid. Viktigare är istället att fortsätta med de kontinuerliga mätningarna som redan sker i sjön för att se hur den utvecklas och att eventuellt ta fler stickprover i tillflödena. Om inte Sågsjön visar tecken på sänkta halter inom 10-20 år bör en ytterligare utredning ske.

Jag anser det inte nödvändigt att genomföra någon restaureringsåtgärd till exempel fällning av fosfor med kemikalier i Sågsjön. Detta beroende på att förhållandena inte är så allvarliga, en förbättring är på väg och det är svårt att veta konsekvenserna av kemisk och manipulering i sjön.

6. Referenser

6:1 Skriftliga

- Broberg Anders & Mats Jansson. 1994. Abiotiska faktorerers karaktäristiska, funktion och omsättning i sötvatten. Limnologiska institutionen, Uppsala universitet.
- Goedkoop Willem. och Sonesten Lars 1995. Laborationsmanual för kemiska och fysikaliska analyser av inlandsvatten och sediment. Limnologiska institutionen, Uppsala universitet.
- Horne Alexander J. & Goldman Charles R. 1994. Limnology, second edition. USA.
- Jansson E. Alfred. 1946. Boo Sockens historia.
- Johansson Jan-Åke och Hans Kvarnäs 1998. Modellering av näringsämnen i Storsjön och dess tillrinningsområde. Länsstyrelsen Gävleborg Rapport 1998:13.
- Lantmäteriet, karta från 1901, gröna kartan 10I NO, från 1955, 1966, 1978, 1985, 1991 och 1997.
- Lindqvist Ulf. 1992. Kvalitetshandbok för Erkenlaboratoriet, Limnologiska institutionen, Uppsala universitet.
- Möller H. och Stålhös G. 1964. Geologiska kartblad Stockholm NO. Stockholm.
- Nacka kommun Fastighetsregister från Fastighetsdatasystem (FDS), veckovis uppdatering.
- Nacka kommun 2000:1, Utvecklingsområden i Boo, en översyn av begränsad bygggrätt i områdesbestämmelser och detaljplaner. Miljö & Stadsbyggnad mars 2000.
- Nacka kommun 2000:2, VA-strategi för delar av Boo. Av: VAI VA-projekt AB för Nacka kommun.
- Naturvårdsverket 1999. Bedömningsgrunder för miljö kvalitet Sjöar och vattendrag, Rapport 4913, Naturvårdsverket. Stockholm.
- Olevall Isabell och Vesterberg Susanna 1997. Vansjön 1997 En limnologisk undersökning. Examensarbete, Limnologiska institutionen Uppsala universitet.
- Preliminärt utkast beträffande vatten- och avloppsförhållanden 1979. Nacka kommun, norra Boo. VIAK AB. Vällingby
- Raven P. Evert R. och Eichhorn S. 1992, Biology of Plants, fifth edition, New York, USA
- Statens Naturvårdsverk. 1995. Vad innehåller avlopp från hushåll?. Rapport nr 4425. Statens Naturvårdsverk. Stockholm.
- Svenskt sjöregister 1996, SMHI, Svenskt vattenarkiv.

6:2 Muntliga

- Coulianos Carl-Cedrik 2000, Boende i området, undersökt Sågsjön, 08-747 84 26
- Held-Paulie Birgitta, 2000, Miljö & Stadsbyggnad, Nacka kommun, 08-718 93 95
- Johnsson Per, 2000, Miljö & Stadsbyggnad, Nacka kommun, 08-718 93 19
- Karlsson Eero 2000, Nacka kommun, 08 - 718 75 20
- Sundman-Brott Ann, 2000-10-09, biträdande rektor Sågtorpsskolan 08-718 86 42