

Restaureringsåtgärder för bevarandet av sjön Tämnaaren



Foto: Roger Herbert

Författare:

Caroline Hansson, Elin Ottosson, Emelie Henningsen, Emelie Näsman Melander, Josefin Svensson, Magdalena Nilsson, Maria Westermark, My Broberg, Sofia Andersson

Självständigt arbete i miljö- och vattenteknik, 15 hp, inom Civilingenjörsprogrammet i miljö- och vattenteknik, Uppsala Universitet

Handledare: Roger Herbert
VT-10



	Dokumenttyp Slutrapport	Dokumentkod W-10-03/S-02
	Datum 2010-06-02	Ersätter W-10-03/S-01
	Författare Josefin Svensson, Elin Ottosson, Emelie N Melander, Sofia Andersson, My Broberg, Magdalena Nilsson, Maria Westermark, Emelie Henningsen, Caroline Hansson	
Handledare Roger Herbert	Rapportnamn Restaureringsåtgärder för bevarandet av sjön Tämnaren	

Sammanfattning

Tämnaren är Upplands största insjö och har under lång tid nyttjats på olika sätt av människor i dess omgivning. Tämnaren är en naturligt grund slättlandssjö, sänkningar av vattennivån har dessutom bidragit till att sjön blivit allt grundare. Den låga vattennivån i sjön ökar risken för syrebrist och bottenfrysning under vinterhalvåret. Riklig tillförsel av organiskt material och näringsämnen från inlopp och översvämmade åkermarker runt sjön har lett till att Tämnaren är kraftigt eutrof. Utan åtgärder för att minska igenväxningen och uppgrundningen, som följer av sedimentationen, förväntas en livslängd för Tämnaren på ytterligare ca 600 år. Vassbeståndet vid Tämnaren har beräknats uppgå till omkring 320 ha med en tillväxt på 2-4 ha/år.

På uppdrag av Tämnarens Vattenråd har relevanta och rimliga åtgärder för restaurering av sjön Tämnaren undersökts. Denna utredning ska kunna användas som underlag för beslut om vilka åtgärder som ska utföras för bevarandet av Tämnaren. Genom litteraturstudier och kontakt med relevanta och berörda personer på bland annat Länsstyrelsen, Tämnarens Vattenråd, Uppsala Vatten och Water Revival Systems (WRS) har aktuella åtgärder samt deras för- och nackdelar undersökts. Beräkningar har också gjorts för att styrka åtgärdernas konsekvenser.

De rekommenderade restaureringsåtgärderna för Tämnaren är följande:

- Uppbindning av näringsämnen i södra delen av sjön (Sörsjön)
- Vegetationsbegränsning genom röjning, betning och muddring
- Höjning av vattennivån vintertid

Till följd av de rännor som muddrats genom Sörsjön har vattnets uppehållstid i denna del av Tämnaren minskat. Endast en fjärdedel av Sörsjöns areal antas delta aktivt i utbytesprocessen av vattnet. Den nuvarande uppehållstiden har med detta antagande beräknats till ca ett dygn. Önskvärt är en uppehållstid som närmar sig den teoretiskt beräknade på omkring 2 dygn. Denna skulle kunna uppnås genom att inloppet till Sörsjön från Harboån omformas så att vatten sprids över en större area. Med en ökad uppehållstid och ett långsammare flöde genom Sörsjön skulle reningseffekten av näringsämnen förbättras och sedimentationen ökas.

Belastningen av näringsämnen på Sörsjön från dess avrinningsområde har beräknats från modellerade data till ca 167 ton kväve och 3,6 ton fosfor per år. Den möjliga näringsavskiljningen i Sörsjön har uppskattats utifrån en restaureringsplan upprättad av WRS

och HS konsult AB från 2009 gällande Hallsjön, en utdikad sjö i anslutning till Vretaån som övergår till Harboån. Där bedömdes att en våtmark på 50 ha kunde förväntas avskilja 50-100 kg fosfor och 1-1,5 ton kväve per år. Då Sörsjöns area är ca 160 ha har det antagits att de kvantiteter som skulle kunna avskiljas är tre gånger större än exemplet Hallsjön.

För att hålla tillbaka den årliga vasstillväxten är en vassröjning på ca 2-4 hektar per år nödvändig. Reduktion av vass och annan vattenvegetation skulle ge förbättrade syrgasförhållanden och ökad framkomlighet.

En höjning av vattennivån vintertid med 20 cm skulle enligt beräkningar ge en ökning av den fria vattenvolymen under istäcket på ca 30 %. Detta ökar syrgaslagringen och minskar syrgastäringen vintertid.

Abstract

Tämnaren is the largest lake in Uppland and has been used for a long time by people in its surroundings. Tämnaren is a flat country lake and is therefore naturally shallow, and regulated decreases in the water level have also contributed to the lake becoming shallower. The low water level increases the risk for oxygen depletion and bottom freezing during the winter. An abundant supply of organic matter and nutrients from the inflow and flooded arable lands around the lake has led to a heavy eutrophication of Tämnaren. Without action to prevent overgrowth and aggradations due to sedimentation, Tämnaren's remaining lifetime is expected to be about 600 years. The quantity of reeds around Tämnaren is estimated to a total of 320 ha with a growth rate of 2-4 ha/year, this results in vegetation spreading unimpeded over the lake so that the lake will finally disappear.

This report is aiming to present relevant and reasonable steps in a restoration plan requested by Tämnaren's Water Board. The plan will be used as a decision basis for actions that ought to be taken for the preservation of Tämnaren. Through literature studies and contact with relevant persons at i.a Länsstyrelsen, Tämnaren's Water Board, Uppsala Vatten and WRS, the selected measures and their advantages and disadvantages have been investigated. Estimates and calculations have also been made to confirm the consequences of the actions.

The recommended restoration measures for Lake Tämnaren are:

- Binding nutrients in Lake Sörsjön
- Clearance of reeds and other vegetation
- Increase of water level in the winter.

Because of the channels that have been dredged through Sörsjön the residence time of the water in this part of Tämnaren is decreased. Only a quarter of Sörsjön's area is assumed to participate actively in the exchange of water. The current residence time has been calculated with this assumption to about one day. A desirable residence time, which is close to the theoretical value, has been estimated to about 2 days. This could be achieved by reshaping the inlet to Sörsjön from Harboån River so that the water is spread over a larger area of the lake. With increased residence time and slower flow through the lake, the removal effect on nutrients and sediments in Sörsjön would be improved.

The nutrient loading to Sörsjön has been calculated from modeled data to approximately 167 tons of nitrogen and 3.6 tons of phosphorus per year. The potential removal effect of a wetland has been estimated on the basis of a restoration plan established by WRS and HS consultant AB in 2009 for the lake Hallsjön. Hallsjön is connected to Vretaån River, which turns in to Harboån River. A wetland of 50 ha was estimated to be able to capture 50-100 kg of phosphorus and 1 to 1.5 tons nitrogen per year. Since Sörsjön is about 160 ha, it has been assumed that it could capture a quantity that is three times larger than the example of Hallsjön.

To prevent the annual growth of reeds, a clearance of about 2-4 ha is necessary; a clearance of reeds and other aquatic vegetation would improve the oxygenation of the lake and increase the accessibility to the shoreline.

An increase in water level by 20 cm during the winter would according to calculations provide a 30 % increase in the free volume of water under the ice cover. This reduces the risk of oxygen deficiency during the winter, which otherwise could result in the death of fish.

Förord

Denna rapport är en sammanställning av ett projektarbete som utförts under 7 veckor inom en projektkurs kallad *Självständigt arbete i miljö- och vattenteknik, 15 hp* under årskurs 3 på Civilingenjörsprogrammet i miljö- och vattenteknik vid Uppsala universitet. Kursen syftar till att ge deltagarna erfarenhet och kunskap om hur det är att jobba i projekt under arbetslika förhållanden.

Projektgruppen har bestått av Emelie Näsman Melander (projektledare), Caroline Hansson (vice projektledare), Sofia Andersson, Elin Ottosson, Maria Westermark, Magdalena Nilsson, Josefin Svensson, My Broberg och Emelie Henningsen. Gruppen fick i uppdrag av Tämnarens vattenråd, genom Kiell Tofters, att ta fram en restaureringsplan för sjön Tämnaren, som hotas av att slamma och växa igen. Roger Herbert, Uppsala Universitet, har varit handledare för projektet.

Under arbetes gång har vi mött stor vänlighet, hjälpsamhet och engagemang hos många människor som bistått med sin kunskap och sitt stöd. Vi vill härmed rikta ett tack till alla er som bidragit till vårt arbete.

Henrik Scheiber, Naturvårdsverket
Kiell Tofters, Tämnarens Vattenråd
Kjell Söderberg, Tämnarens Vattenråd
Daniel Melin, Uppsala Länsstyrelse
Fredrik Söderman, Uppsala Länsstyrelse
Gunilla Lindgren, Uppsala Länsstyrelse
Anders Larsson, Uppsala Vatten
Sven Ahlgren, Uppsala Vatten
Tore Hemström, Uppsala Vatten
Allan Rhode, Uppsala Universitet
Martin Larsson, Vattenmyndigheten
Jonas Andersson, Water Revival Systems

Ett stort tack till er och alla andra som på något sätt inspirerat och hjälpt oss i vårt arbete!

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	10
1.1	Mål och syfte	10
1.2	Problematiken i Tämnaren.....	10
1.3	Metod	11
2	Sjöns förutsättningar.....	12
2.1	Inlopp och utlopp	12
2.2	Meteorologiska förhållanden	13
2.3	Avrinningsområde	14
2.4	Flödesstatistik.....	15
2.5	Vattenstånd.....	16
2.5.1	Minskning av vattendjupet	16
2.6	Dammar	17
2.7	Vattenkemisk data	18
2.7.1	Provtagning.....	18
2.7.2	Omdrevs- och riksinventering.....	20
2.8	Miljö kvalitetsnorm – Vattenförekomst Tämnaren	21
2.9	Områdesskydd.....	21
2.9.1	Naturresevat	22
2.9.2	Natura 2000.....	23
2.9.3	Riksintresse för naturvård.....	24
2.10	Nuvarande vattendom.....	24
2.10.1	Tappningsplan och förhandstappning.....	25
3	Nollalternativ.....	26
3.1	Prognos för Tämnaren	26
4	Åtgärder.....	29
4.1	Förändring av vattenstånd	29
4.1.1	Vad krävs för att få igenom en ny vattendom.....	29
4.1.2	Modell för Tämnarens vattenbalans.....	30
4.1.3	Höjning av vattennivån vintertid	32
4.1.4	Höjning av lägstanivån under sommaren	35
4.1.5	Diskussion	36
4.1.6	Summering.....	36
4.2	Invallning.....	36
4.3	Muddring.....	38
4.3.1	Konsekvenser	38
4.3.2	Summering.....	38
4.4	Vegetationsbegränsning	39
4.4.1	Röjning.....	39
4.4.2	Betning.....	40

4.4.3	Vegetationsmuddring.....	40
4.4.4	Tillstånd och framtidsutsikter.....	40
4.4.5	Inloppet till Nordsjön	41
4.4.6	Åtgärdsplan för vegetationsbegränsning.....	43
4.5	Åtgärdsalternativ för Sörsjön	44
4.5.1	Näringsavskiljning och sedimentation.....	44
4.5.2	Belastning och avskiljning.....	49
4.5.3	Åtgärder i Sörsjön	51
4.5.4	Skötsel av våtmark.....	55
4.5.5	Tillstånd.....	56
4.5.6	Finansiering.....	56
4.5.7	Diskussion	57
5	Slutsats	59
6	Referenser.....	61
6.1	Tryckta källor	61
6.2	Webbaserade källor	61
6.3	Muntliga källor.....	64
6.4	Interna rapporter	64
7	Bilagor	65
7.1	Bilaga A: Magasinering och Vattenstånd	66
7.2	Bilaga B: Volymberäkning	68
7.3	Bilaga C: Beräkning av omsättningstider	69
7.4	Bilaga D: Ordlista.....	70

1 Inledning

En sjö, även kallad insjö, är en vattensamling som inte står i direkt kontakt med havet. I Sverige finns det gott om sjöar som på ett eller annat sätt nyttjas av människor, till exempel som fiske- och badsjöar. Under senare tid har en försämrad status hos sjöarna i Sverige påvisats, bland annat i form av kraftiga algbloomingar, vilket bland annat beror på mänskliga aktiviteter så som jordbruk. Jordbruket har sedan länge haft en central roll i det svenska samhället, men har på senare tid bedrivits i allt större skala. Inom jordbruket används bekämpningsmedel och gödsel, vilka kan bidra både till övergödning och till spridning av miljögifter. Ett annat problem i svenska sjöar är försurning som dock har minskat på senare år tack vare de åtgärder som vidtagits. För att begränsa övergödningen måste tillförseln av näringsämnen minskas, då främst läckagen från åkermarker. Igenväxning är ett naturligt förlopp i en slättlandssjös åldrande, men en riklig tillförsel av näringsämnen leder till en ökad vegetationsutbredning som påskyndar åldrandet. Sänkningar av vattennivån för att frigöra odlingsbar mark är även det en påskyndande faktor. Detta gör att slättlandssjöar snabbt kan växa igen och försvinna.

Upplands största insjö, Tämnaresjön, är en naturligt grund slättlandssjö. Nedan följer en utredning om sjöns status, hur problematiken kring sjön ser ut samt en utredning om möjliga orsaker till problemen. En utredning om vilka åtgärder som skulle vara lämpliga att genomföra för att rädda Tämnaresjöns existens redovisas även. I rapporten benämns den norra delen av Tämnaresjön som Nordsjön och den södra delen som Sörsjön.

1.1 Mål och syfte

Syftet med projektet var att konstruera en restaureringsplan för bevarandet av Tämnaresjön och leverera denna till Tämnaresjöns vattenråd. Restaureringsplanen ska kunna användas av Tämnaresjöns vattenråd som underlag vid beslut av lämpliga åtgärder för att bevara Tämnaresjön åt kommande generationer. Åtgärderna i planen har baserats på naturvetenskapliga, tekniska och juridiska undersökningar. Målet var att efter undersökningarna rekommendera de åtgärder som på bästa sätt kan skapa en hållbar situation för Tämnaresjön.

1.2 Problematiken i Tämnaresjön

Tämnaresjön står i ett kritiskt läge och om inga åtgärder vidtas för att förbättra sjöns status finns risk att sjön på kort sikt försvinner. Tämnaresjön blir allt grundare, vilket beror på att sjön sänkts genom vattendomar och att botten höjs på grund av sedimentation. Den minskade vattennivån ökar risken för syrebrist och bottenfrysning under vinterhalvåret, vilket i sin tur kan leda till fiskdöd.

Den rikliga tillförseln av organiskt material och näringsämnen, från inlopp och översvämmade åkermarker runt sjön, har bidragit till en övergödd status. Den goda näringstillgången tillsammans med att sjön är grund gör att växtligheten i och omkring sjön ökar. Detta leder i sin tur till ytterligare igenslamning av växtrester samt att sjöns tillgänglighet för allmänheten minskar.

Läget är mest kritiskt i den södra delen av Tämnaresjön som kallas för Sörsjön. Denna del är kraftigt igenväxt och under delar av året saknas till stor del en vattenspegel.

Orsaken till de problem som finns i Tämnaresjön är framförallt övergödningen och de tidigare sänkningarna som genomförts. För att försöka rädda sjön på lång sikt måste orsakerna till problemen motverkas på bästa möjliga sätt och en viktig angreppspunkt är att försöka minska näringstillförseln.

1.3 Metod

Under projektets gång har delrapporter producerats, varav några kompletterar slutrapporten. I texten refereras det till dessa med rapportkod och i referenslistan återfinns full titel och rapportkod.

Projektet inleddes med att en offert, se rapport W-10-03/A-03, togs fram och godkändes av Tämnarens vattenråd. Sjöns status fastställdes genom litteraturstudier och ett platsbesök. Under platsbesöket togs vattenprover och bilddokumentation gjordes, representanter från Tämnarens vattenråd närvarade och svarade på frågor. Restaureringsåtgärder undersöktes i litteratur och beräkningar gjordes för att styrka effekterna av utvalda åtgärder. Under projektets gång hölls kontinuerlig kontakt med insatta personer på bland annat Länsstyrelsen, Tämnarens Vattenråd, Uppsala Vatten och WRS där val av åtgärder diskuterades. Genom detta kunde en restaureringsplan tas fram och förslag på vidare studier ges.

2 Sjöns förutsättningar

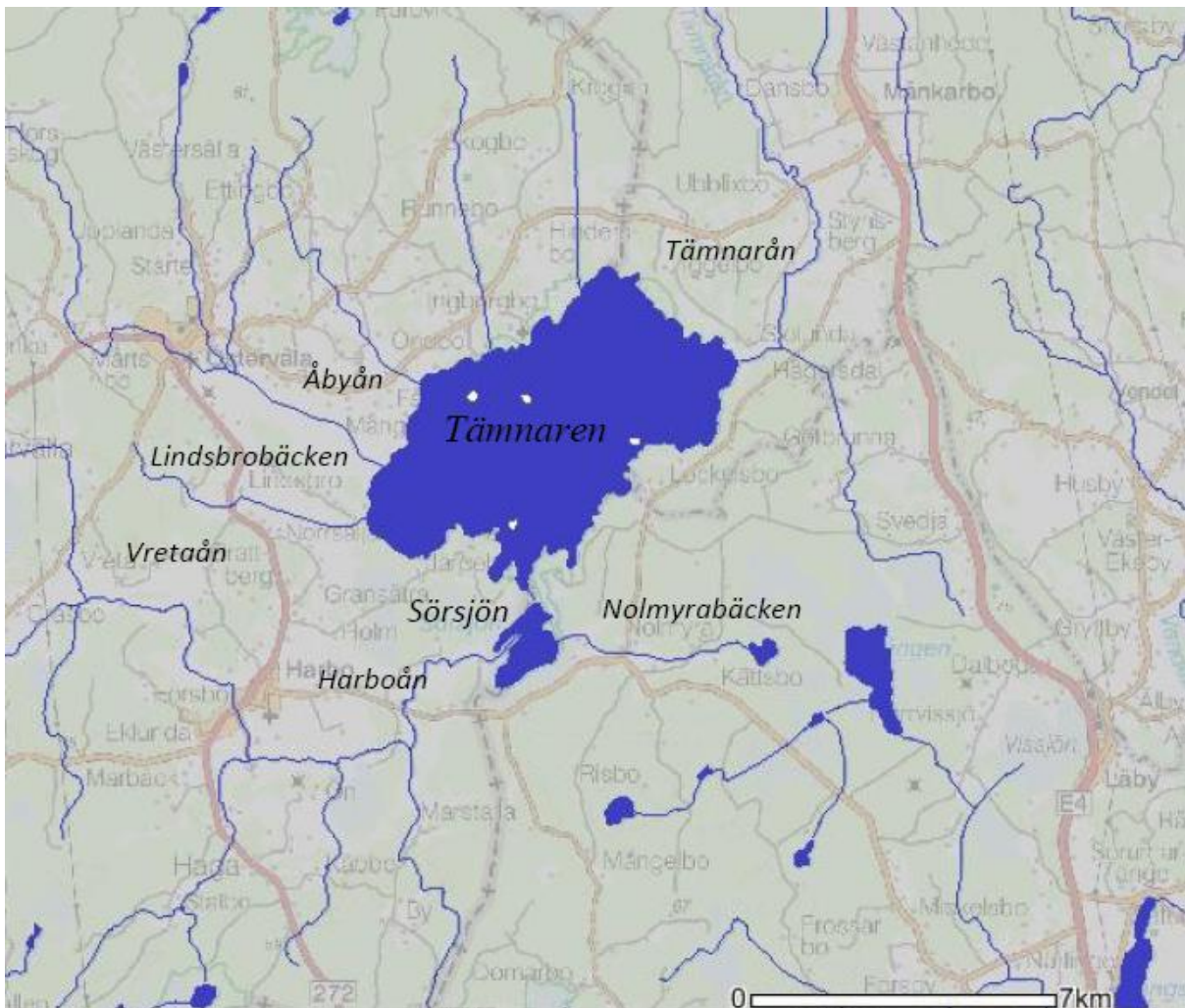
Sjön Tämnaaren ligger i Uppsala län, se figur 1, och är uppdelad mellan tre olika kommuner, Heby, Tierp och Uppsala kommun. Tämnaaren är en mycket grund slättlandssjö med ett medeldjup på ca 1,3 m (Länsstyrelsen Uppsala län, 2000). Arean för sjön varierar omkring 35 km² och strandlängden är ca 40 km. Sjön är till stor del omgiven av en vasszon och sjöytan är under växtperioden på många ställen täckt av flytbladsvegetation.



Figur 1: Karta över Uppsala län. (Karta: www.gis.lst.se/lanskartor)

2.1 Inlopp och utlopp

Tämnaaren med dess inflöden och utflöde visas i figur 2. Inflödet av vatten till Tämnaaren sker främst från Harboån via Sörsjön i Tämnaarens södra del. Inflöden sker även från Åbyån, Lindsrobäckens och andra mindre bäckar och diken. Utflödet från Tämnaaren sker i nordost genom Tämnaån.



Figur 2: Karta över Tämna med dess tillhörande vattendrag. (Karta: www.gis.lst.se/vattenkartan)

2.2 Meteorologiska förhållanden

Nederbörden i Tämnaens avrinningsområde är ca 550 mm/år (SMHI, 2010:a), med störst nederbörd i väst och mindre nederbörd ju längre österut mätningar görs. Avdunstningen från en vattenyta är större än avdunstningen från ett landområde. Hur mycket mer som avdunstar från Tämnaens yta jämfört med omkringliggande landområden har beräknats i en tidigare utredning av Tämna, dessa data är baserade på kartor av Wallén 1966 (Länsstyrelsen Västmanlands län, 1979). Denna meravdunstning har adderats till antagen medelavdunstning på land (SMHI, 2004)¹. Månadsmedelvärden för nederbörd² (SMHI, 2010:b) och uppskattad total avdunstning (mm/mån) för sjön visas i tabell 1.

¹ Värden från Kalmar har använts .

² Månadsmedelvärden 1961-1990 för nederbörd från station i Harbo.

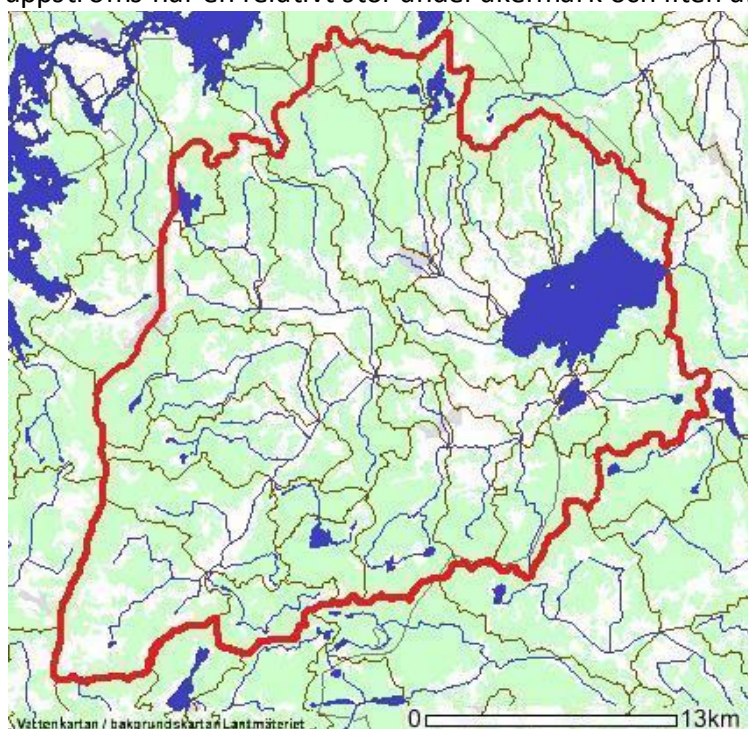
Tabell 1: Månadsmedelvärden för nederbörd i Harbo, perioden 1961-1990, (SMHI, 2010:b) samt uppskattad månadsmedelavdunstning från Tämnaaren, beräknad enligt ovan.

	Nederbörd (mm/mån)	Total avdunstning (mm/mån)
Jan	40,3	2
Feb	27,8	2
Mars	31,9	23,4
April	34,1	72,9
Maj	35,4	128,4
Juni	46,8	143,8
Juli	65,7	148,4
Aug	80,1	106,5
Sept	62,2	59,9
Okt	54,8	28,7
Nov	56,4	6
Dec	46,4	2
Årsmedel	581,9	724

Vegetationsperioden med temperatur över +7°C börjar i mitten av april och sträcker sig till slutet av november. Under denna period faller ca 200-225 mm nederbörd. Snötäcket brukar ligga i ca 100-110 dygn med en mäktighet av 40-50 cm. På grund av att Tämnaaren är så grund både isläggs och tinar sjön relativt snabbt. Isläggningen sker normalt i mitten av november, vilket är tidigare än andra sjöar i närheten. Sjön brukar vara helt isfri i slutet av april, men detta har varierat mellan 25 mars till 11 maj enligt mätningar från 1916-1945 (Länsstyrelsen Västmanlands län, 1979).

2.3 Avrinningsområde

Tämnaarens avrinningsområde, se figur 3, har en area på 693,5 km² och utgörs av 61 % skogsmark, 24 % åker- och ängsmark, 9 % våtmark och 6 % sjöar (Länsstyrelsen Uppsala län, 2000). Avrinningen till Tämnaaren varierar mycket inom året på grund av att områdena uppströms har en relativt stor andel åkermark och liten andel sjöar.



Figur 3: Karta över Tämnaarens avrinningsområde (Karta: www.gis.lst.se/vattenkartan).

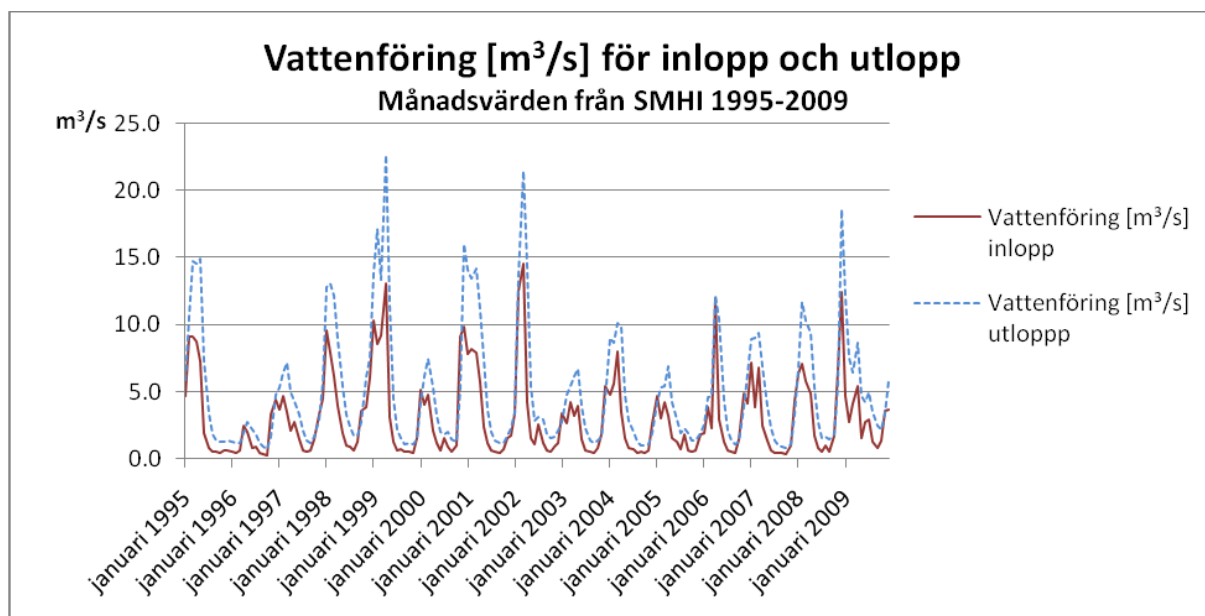
2.4 Flödesstatistik

En sammanfattning av flödesstatistik för Tämnaaren (SMHI, 2007) visas i tabell 2. Alla värden är beräknade medelvärden tänkta att representera 1900-talsklimat och ger därför endast en grov bild av flödena.

Tabell 2: Flödesstatistik för Tämnaaren, data är hämtade från "Flödesstatistik för Sveriges vattendrag" (SMHI, 2007) och är medelvärden tänkta att representera ett 1900-talsklimat.

	Avrinnings- område (km ²)	Sjöandel %	Medelvatten- föring (m ³ /s)	Medelhögvatten- föring (m ³ /s)	Medel- avrinning (mm/år)
Inlopp Sörsjön Harboån	428,4	1	3,45	24	254
Utlopp Tämnaaren	693,5	7	5,25	18	239

Modellerade månadsvärden på vattenföring³ i Tämnaarens inlopp vid Sörsjön och utloppet i Tämnaarån för perioden 1995-2009 (SMHI Homer, 2010) presenteras i figur 4. Ett sammantaget månadsmedelvärde för dessa flöden under hela denna period visas i tabell 3. Flödestoppar fås under våren efter snösmältningen medan vattenföringen oftast är mycket låg under sommarmånaderna. Flödestopparna för inflöde och utflöde följer varandra väl men vattenföringen i utloppet är genomgående något högre än vid inloppet och avtar något senare än inflödet. Att utflödet är större än inflödet beror på att vatten tillförs sjön från andra åar och bäckar som inte är medtagna i denna jämförelse. Skillnaden i vattenföring mellan olika år är stor och högsta flöde varierar mellan 2-13,5 m³/s i inloppet och mellan 2-22,6 m³/s i utloppet. Den höga vattenföringen under våren är påverkad av den utdikning av sankmarker och åkermarker som tidigare har skett (Länsstyrelsen Västmanlands län, 1979).



Figur 4: Modelldata från SMHI för vattenföring i Tämnaarens inlopp och utlopp från åren 1995-2009.

³ Dessa data omfattas av katalogskydd enligt 49§ lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk. Data får ej användas i kommersiellt syfte.

Tabell 3: Modellerade månadsmedelvärden för vattenföring i inflödet Harboån och i utflödet Tämnrån för perioden 1995-2009 (SMHI Homer, 2010).

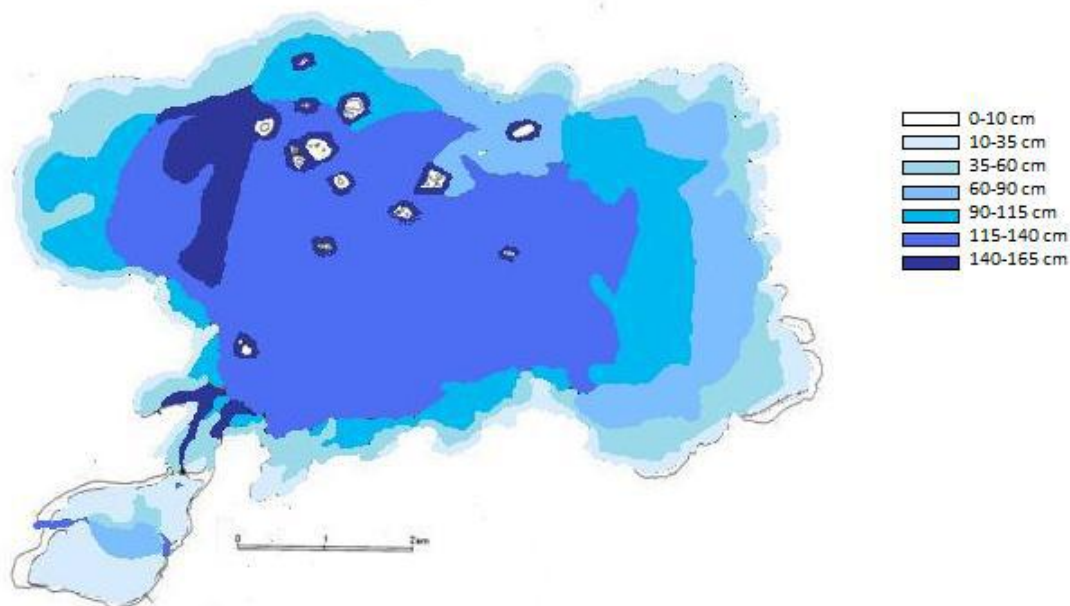
	Vattenföring Harboån (m ³ /s)	Vattenföring Tämnrån (m ³ /s)
Jan	5,18	7,13
Feb	5,60	8,86
Mars	6,07	9,53
April	5,10	9,56
Maj	2,44	6,32
Juni	1,20	3,48
Juli	0,99	2,32
Aug	0,74	1,73
Sept	0,56	1,37
Okt	0,99	1,41
Nov	2,80	2,61
Dec	4,28	5,55

2.5 Vattenstånd

Vattenståndet i Tämnrån varierar mycket under året, upp till 1,3 meters variation inom ett år. På våren vid snösmältningen blir stora områden översvämmade och detta har varit särskilt påtagligt i år på grund av de stora mängderna snö som föll i vintras. På hösten är vattennivån däremot ofta betydligt lägre och torra perioder med hög avdunstning kan medföra att vattendjupet ligger på 0,9-1,0 m i hela sjön (Söderberg, 2010, pers. komm.). Efter sänkningarna av Tämnrån har det observerats att lågvattenståndet inträffar allt tidigare på året. Före sänkningarna inträffade lågvattenståndet i slutet på augusti medan det under första regleringsperioden har inträffat i början av juli månad (Länsstyrelsen Västmanlands län, 1979).

2.5.1 Minskning av vattendjupet

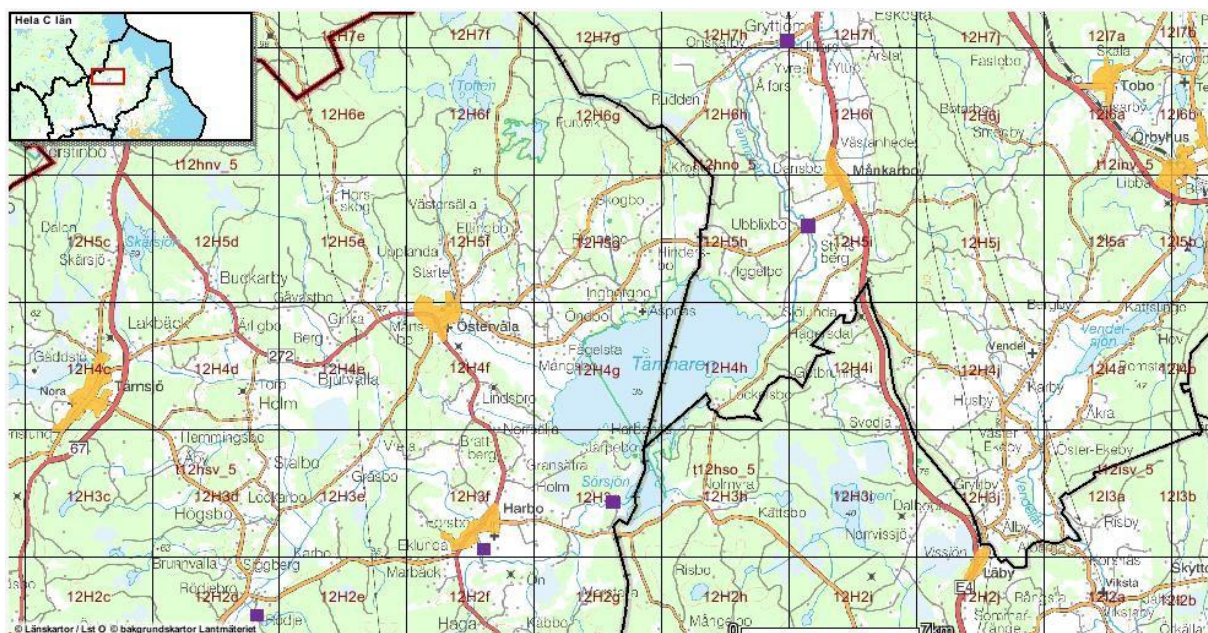
Tämnråns vattennivå regleras genom en vattendom, men vattendjupet minskar varje år till följd av sedimentation av dött organiskt material. Utifrån en djupkarta över Tämnrån från Tämnråns Sänkningsföretag 1946 (Länsstyrelsen Västmanlands län, 1979) har en ny djupkarta tagits fram, se figur 5. I denna har uppgrundningen sedan 1946 antagits vara 10 cm i de djupare delarna (djup större än 75 cm) och 15 cm i grundare områden. Sedimentationen har antagits vara större i de grunda delarna baserat på tidigare uppgrundningsmätningar (Länsstyrelsen Västmanlands län, 1979) samt antagande om bättre sedimentationsförhållanden i vindskyddade vikar och att vågor transporterar material till grunda områden. I Sörsjön är förhållandena extrema i och med att området i stort sett är igenvuxet och dessutom tar emot stora mängder partikulärt material från jordbruksmark i tillrinningsområdet. Detta har medfört att det bildats ett deltaområde utanför åmynningarna.



Figur 5: Djupkarta över Tämnaresjön baserad på en djupkarta framtagen år 1946 av Tämnares Sänkningsföretag. Strandlinjen ligger vid 35,00 m.ö.h. Djupen har modifierats utefter beräknad uppgrundning från år 1946 till 2010. Dessa beräkningar återfinns i rapport W-10-03/G-11.

2.6 Dammar

Regleringen av Tämnaresjön sker genom ett antal dammar i vattendrag runt sjön. De fem närmast belägna dammarna visas i figur 6.



Figur 6: Karta över Tämnaresjön. Röd fyrkanter markerar de fem närmast belägna dammarna. Från norr till söder: Ullforsbruk, Ubblixbo – Tämnaresjöns regleringsdamm, Lindstadammen – inloppet till Sörsjön, Vibydammen och Rödje sågdamm. (Karta: www.gis.lst.se/lanskartor)

För att förhindra översvämningar i Harboån pumpas vatten från ån upp i Tämnaresjön via Lindstadammen som ligger vid inloppet till Sörsjön. Medelvattenföringen i Lindstadammen är 3,3 m³/s och i Tämnaresjöns regleringsdamm är den 5,5 m³/s (VISS, 2010:a). Cirka 4 km nedströms utloppet ur Tämnaresjön sker en överledning av vatten från Tämnaresjön till Tassbäcken som sedan rinner vidare till Fyrisån. Detta vatten används vid torrperioder som

komplement till Uppsala kommuns vattenförsörjning och uttaget sker ca åtta av tio somrar, under perioden midsommar till oktober (Larsson, A., 2010, pers.komm.).

2.7 Vattenkemisk data

Vattenkemisk data för Tämnaaren och Sörsjön har erhållits dels genom egen provtagning och dels genom analysdata från riksinventering och omdrevsinventering genomförd av institutionen för vatten och miljö på SLU (SLU, 2010:a).

2.7.1 Provtagning

För att få en ögonblicksbild av de kemiska parametrarna pH, alkalinitet och konduktivitet samt halterna av nitrat, ammonium och fosfat utfördes provtagning och analys av vattenprover från vattendragen uppströms och nedströms Tämnaaren. Vattenproverna inhämtades under fältbesöket vid Tämnaaren 2010-04-26. Provpunkterna, som visas i figur 7, var i Tämnaaren vid Annedal och Tämnaarens regleringsdamm i Ubblixbo, i Harboån vid Harbo och Lindstadammen samt i Åbyån i Östervåla.



Figur 7: Vattenprov togs vid Ubblixbo, Annedal, Lindstadammen, Harboån och Åbyån. (Karta: eniro.se)

Metod

Proven togs på ca 1 m djup med hjälp av en ca 1,5 m pinne på vilken en provflaska på 250 ml fastsatts. På varje provställe fylldes tre flaskor, förutom Åbyån där prov endast togs i en flaska. Prov för mätning av fosfat, nitrat och ammonium konserverades med 1 ml borsyra (H_3BO_3) per 100 ml prov i samband med provtagningen. Noteras kan att provet i Åbyån hämtades mycket ytligare än de övriga proverna på grund av att pinnen inte kunde användas.

Konduktivitet och pH mättes med elektrod medan alkaliniteten erhöles genom titrering med svavelsyra (H_2SO_4). Nitrathalten angavs som nitrat-kväve och omräkningen från uppmätt nitrat halt skedde enligt sambandet $1,0 \text{ mg NO}_3\text{-N} = 4,4 \text{ mg NO}_3^-$. Ammonium fick reagera med hypoklorit och fenol och mättes fotometriskt. Bestämningen av fosfat skedde med en spektrometrisk metod med ammoniummolybat. Ammonium och fosfat mättes på dubbla

prover utifrån vilka ett medelvärde beräknades. Absorbansen hos blankprov av varje provlösning mättes och subtraherades från resultatet hos de behandlade proven. En utförlig rapportering av analysresultaten finns i arbetsrapport W-10-03/L-100.

Resultat

Resultatet av vattenprovtagningsanalys för pH, alkalinitet, konduktivitet, nitrat-kväve, fosfat och ammonium-kväve vid provpunkterna i Harboån, Åbyån och Tämnrån kan ses i tabell 4.

Tabell 4: Uppmätt alkalinitet, pH, konduktivitet, nitrat-kväve, fosfat och ammonium-kväve vid provpunkterna i Harboån, Åbyån och Tämnrån.

Prov, mätplatser	Alk (mekv/l)	pH	kond. (mS/m)	NO ₃ -N (µg/L)	PO ₄ -P medel (µg/L)	NH ₄ -N medel (µg/L)
Harboån	0,62	6,9	21,0	1614	86,0	19,0
Lindstadammen	0,71	7,1	21,5	1455	18,5	14,0
Åbyån	0,47	6,9	14,1	409*	52,5*	18,0*
Annedal	1,05	7,4	26,8	1432	46,5	17,0
Ubblixbo	1,05	7,3	27,0	1523	28,5	21,0

*Ej konserverat prov

Diskussion av analys

pH i Tämnrans in- och utlopp är närmast neutralt och alkaliniteten i proven varierade mellan 0,47 och 1,05 mekv/l där lägst värde uppmättes i Åbyån. En alkalinitet större än 0,2 mekv/l visar på att vattnet har mycket god buffertkapacitet (Bydén et al., 2003).

Alla provställen utom Åbyån visade på en högre konduktivitet än vad som brukar förväntas i sötvatten. I vatten som ligger nära hav kan dock en något högre konduktivitet förväntas och för Tämnrans del är därför en konduktivitet på ca 13,0 mS/m rimlig (Länsstyrelsen Västmanlands län, 1979). Konduktiviteten som uppmättes i vattenproverna visade alltså på förhöjda värden. Dessa värden skulle kunna förklaras med faktorer såsom ett intensivt jordbruk, vilket innebär förluster av ämnen såsom Ca, Mg, Na, K, HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻ och närsalterna kväve och fosfor. Utsläpp av avloppsvatten kan även vara en orsak. Transporten av närsalter har dessutom ökat markant sedan 1960-talet, vilket är en utveckling som inte är speciell för Tämnrans (Länsstyrelsen Västmanlands län, 1979).

Nitratkoncentrationen uppmätt längre uppströms i Harboån var högre än vad som uppmättes vid Lindstadammen. Halten i inloppet till Sörsjön och i utloppet från Tämnrans var i det närmaste lika. Lägst koncentration av nitrat uppmättes i Åbyån som rinner in till Tämnrans norra del. Att koncentrationen var så låg just i Åbyån kan bero på att provet inte konserverades och att nitratkoncentrationen därför förändrats innan analysen skedde. Då konduktiviteten var lägre i detta prov behöver den uppmätta nitralhalten inte vara felaktig eftersom konduktiviteten påverkas av halten nitratjoner.

Högre halter fosfat uppmättes i vattendragen in till sjön än vad som uppmättes i utloppet. Anledningar till detta kan vara att fosfat tagits upp av växter i sjön och det kan även ha bundits till sedimenten.

Ammoniumhalterna var ungefär lika stora i både ingående och utgående vattendrag. Inget medelvärde beräknades för Lindstadammen, eftersom det ena av dubbelproven visade orimligt låg koncentration och uteslöts därför. Noteras kan att ett högre värde uppmättes i Tämnrån vid Ubblixbo än i Annedal.

2.7.2 Omdrevs- och riksinventering

Värden från omdrevsinventeringen 2007 för Tämnrån och Sörsjön redovisas i tabell 5 (SLU, 2010:a).

Tabell 5: Analysdata från omdrevsinventering 2007-11-26 för Tämnrån, mätpunkt 667402 158923 och Sörsjön, mätpunkt 666846 - 158447

Mätplats	Tämnrån	Sörsjön
Ph	7,69	7,27
Alkalinitet (mekv/l)	1,87	1,59
Konduktivitet (mS/m25°C)	26,3	28,7
Ammonium (NH ₄ -N µg/l)	8	68
Tot-P (µg/l)	40	102
Tot-N (µg/l)	980	2663
NO ₂ +NO ₃ -N (µg/l)	108	1817
PO ₄ -P (µg/l)	10	59

Vattenkemisk data från år 2000 för Åbyåns mynning till Tämnrån och Nolmyrabäckens mynning till Sörsjön visas i tabell 6 (SLU, 2010).

Tabell 6: Analysdata från riksinventering 2000-11-01 för Åbyån, mynning till Tämnrån, mätpunkt 667154 – 158101 och Nolmyrabäcken, mynning till Sörsjön, mätpunkt 666756-158500.

Mätplats	Åbyån, mynning till Tämnrån	Nolmyrabäcken, mynning till Sörsjön
pH	7	6,86
Alkalinitet (mekv/l)	1,36	1,11
Konduktivitet (mS/m25°C)	22,7	22,6
Ammonium (NH ₄ -N µg/l)	54	28
Tot-P (µg/l)	160	57
Tot-N (µg/l)	2358	2114
NO ₂ +NO ₃ -N (µg/l)	1844	1796

Halter över 25-30 µg tot-P/l anses motsvara en trofinivå där sjön befinner sig i ett eutrofierat stadie (Naturvårdsverket, 2008). Från analysdata i tabell 5 kan ses att såväl Tämnrån som Sörsjön innehåller höga halter totalfosfor och där den sistnämnda innehåller mer än tre gånger så höga halter än vad som motsvarar ett eutrofierat stadie. En bedömning utifrån endast ett mätvärde ger dock en osäker statusklassning. För att kunna göra en bedömning av sjöns eutrofieringsgrad enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder krävs en hög provtagningsfrekvens och en beräkningsperiod på minst tre år. Enligt bedömningsgrunderna bör även ett bakgrundsvärde beräknas så att hänsyn tas till att olika sjöar har skilda naturliga

tillstånd (Naturvårdsverket, 2008). Om inte mätserier över minst tre år finns kan bedömningar göras ändå. I dessa bedömningar ska mätdata och uträkningar med kunskap om avrinningsområdets markanvändning, vattenkemisk data från vattendrag och biologiska mätdata vägas samman (Lindgren, 2010, pers.komm.).

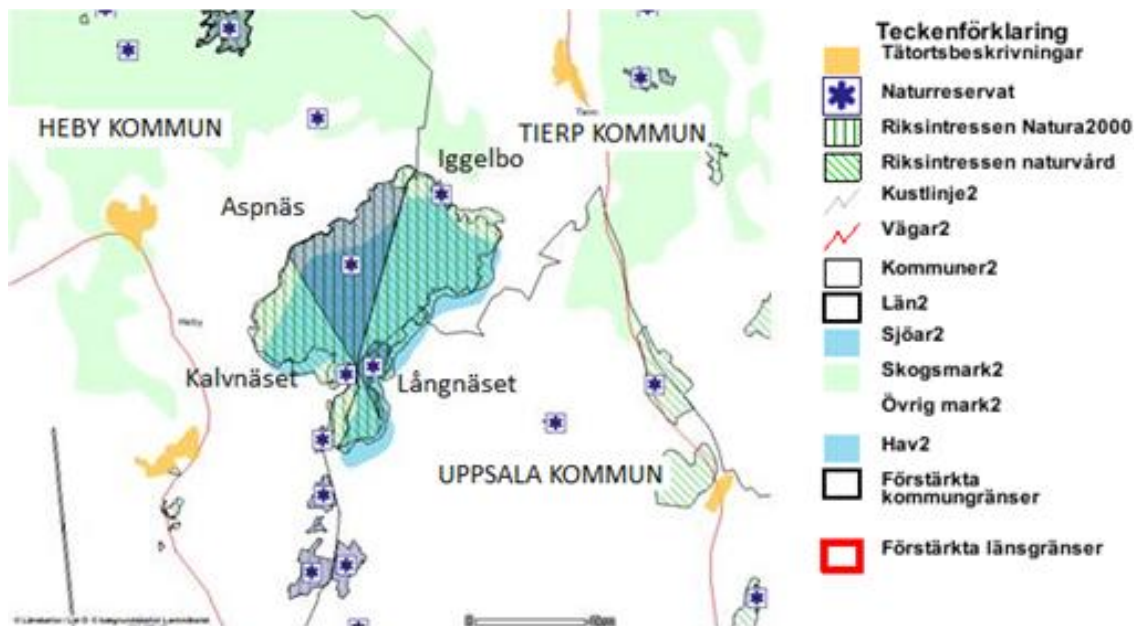
2.8 Miljökvalitetsnorm – Vattenförekomst Tämnaren

Enligt EG-direktiv, ramdirektivet för vatten, ska alla Sveriges vatten vara av "god status" senast år 2015. Den nuvarande ekologiska statusen i Tämnaren har bedömts till måttlig och förväntas inte uppnå god ekologisk status till 2015. De faktorer som påverkat fastställandet av den nuvarande miljökvalitetsnormen är övergödning och morfologiska förändringar. För att kunna påverka övergödningen av vattenmiljön, och uppnå en god ekologisk status kommer det att krävas flera åtgärdsinsatser under en längre tid. Stegvis kombinerade åtgärder kommer att behövas för att de biologiska kvalitetsparametrarna som påverkas av övergödning ska uppnå god status. Det anses därför tekniskt omöjligt att de åtgärder som vidtas ska kunna uppbringa den effekt som behövs till 2015. Det anses att planering, genomförande av åtgärder och att åtgärdernas effekt uppnås kommer att ta tid och Vattenmyndigheten har bedömt att det finns skäl att fastställa miljökvalitetsnormen till god ekologisk status med tidsfrist 2021. God ekologisk status förväntas alltså kunna uppnås 2021 om alla möjliga och rimliga åtgärder vidtas. Även morfologiska förändringar har konstaterats som en orsak till att god ekologisk status inte nås till 2015.

Enligt den miljökvalitetsnorm som är fastställd för vattenförekomst Tämnaren uppnår denna ej god kemisk ytvattenstatus enligt kvalitetskravet för kemisk ytvattenstatus med avseende på kvicksilver och kvicksilverföreningar. Bedömningen grundar sig på analyser av gädda och abborre utförda av Länsstyrelsen i Uppsala län, 1997 eller 2007. Dessa visar att gränsvärdet för god status för kvicksilver (0,22 mg/kg våtvikt) överskrids i vattenförekomsten. Halterna av kvicksilver och kvicksilverföreningar i vattenförekomsten bör inte öka till den 22 december 2015, i förhållande till de halter som legat till grund för vattenmyndighetens statusklassificering av kemisk ytvattenstatus inklusive kvicksilver och kvicksilverföreningar 2009. Den kemiska ytvattenstatusen exklusive kvicksilver för vattenförekomsten är god och det anses att god kemisk ytvattenstatus även kommer att kunna uppnås till 2015 (VISS, 2010:a).

2.9 Områdesskydd

Tämnaren är skyddad genom flera olika typer av områdesskydd. Sjön är uppdelad i två Natura 2000-områden, Tämnaren öst och Tämnaren väst. Som följd av att hela Tämnaren är ett Natura 2000-område är det också utsett till ett riksintresse för naturvård. I området kring Tämnaren finns fyra naturreservat, se figur 8.



Figur 8: Karta över sjön Tämnaren där naturreservat, Natura 2000 och riksintresse för naturvård finns utmärkta. (Karta: www.gis.lst.se/lanskartor)

2.9.1 Naturreservat

Områden med hög biologisk mångfald, värdefulla naturmiljöer eller friluftsvärden kan skyddas som naturreservat. Det är det vanligaste sättet att skydda värdefull natur på. Naturreservat består ofta av sammanhängande värdefull natur. Länsstyrelsen eller kommunen beslutar om bildandet av naturreservat. Det krävs inget medgivande av markägaren. Reservatet blir vanligen föremål för intensiva vårdåtgärder och stora begränsningar i nyttjandet av marken. Markägaren kan därför få intrångsersättning (Naturvårdsverket, 2006).

Enligt Miljöbalken (MB) får naturreservat bildas av fem skäl:

- Bevara biologisk mångfald
- Vårda och bevara värdefulla naturmiljöer
- Tillgodose behov av områden för friluftslivet
- Skydda, återställa eller nyskapa värdefulla naturmiljöer
- Skydda, återställa eller nyskapa livsmiljöer för skyddsvärda arter

Länsstyrelsen eller kommunen beslutar om hur naturreservaten ska skötas. Varje naturreservat sköts utifrån en skötselplan, och att vidta åtgärder som bryter mot denna klassas som ett miljöbrott (Lindberg, 2010, pers. komm.). Föreskrifterna ser olika ut för olika reservat, beroende på vilka motiv som ligger bakom reservatsbildningen.

Naturreservat vid Tämnaren

I anslutning till Tämnaren finns fyra naturreservat, Aspånäs och Kalvnäset på Tierpsidan och Iggelbo och Långnäset på Uppsalasidan. Nedan följer en kort beskrivning av respektive naturreservat.

Aspnäs

Aspnäs är Tämnarens största naturreservat och det täcker en stor del av sjön, se figur 8. Hela reservatet ligger i Natura 2000-området Tämnaren väst. Naturvårderna i Aspånäs är idag

främst knutna till den mosaikartade miljön med en blandning av öppna tidvis översvämmade strandängar, trädklädda betesmarker, lövrika skogspartier, buskrika miljöer och vassbälten. De skötselåtgärder som är upptagna i skötselplanen är främst röjning av oönskad igenväxningsvegetation, samt hävd genom bete av främst nötkreatur som en löpande åtgärd (Länsstyrelsen Uppsala län, 2009:a).

Iggelbo

Iggelbo är ett litet naturreservat och täcker därför en mycket liten del av sjön, se figur 8. Skötsel av reservatet ansvarar Tierps kommun för.

Långnäset

Långnäset är ett litet naturreservat och utgörs av en udde i södra delen av sjön, se figur 8. Skötsel av reservatet ansvarar Uppsala läns Länsstyrelse för.

Kalvnäset

Kalvnäset är ett litet naturreservat som utgörs av en udde i södra delen av sjön, se figur 8. Skötsel av reservatet ansvarar Uppsala läns Länsstyrelse för (Länsstyrelsen Uppsala län, 2009:b).

2.9.2 Natura 2000

Natura 2000 är ett nätverk av skyddsvärda områden inom EU skapat för att skydda djur och växter från utrotning och förhindra att deras livsmiljöer förstörs. Med stöd av fågel- och habitatdirektiven väljer länsstyrelser ut områden som ska ingå i nätverket. Områdena kan nyttjas så länge det sker på ett sätt så att området och de arter som ska skyddas garanteras en "gynnsam bevarandestatus". Bevarandestatusen för ett område utgörs bland annat av om området är tillräckligt stort, att viktiga strukturer och funktioner finns och att de arter som är typiska för området är livskraftiga. För en art gäller att tillräckligt många individer ska finnas inom området, att det sker reproduktion och att artens livsmiljö är tillräckligt stor. Var sjätte år ska Sverige rapportera till EU-kommissionen om tillståndet för de utpekade naturtyperna och arterna.

Varje Natura 2000-område ska ha en bevarandeplan. Bevarandeplanen tas fram av Länsstyrelsen i samarbete med markägarna och områdets andra intressenter. Den beskriver vilka värden som ska bevaras och vilka åtgärder som är nödvändiga samt vilka verksamheter som kan hota värdena. Bevarandeplanerna används vid tillståndsprövning. Tillstånd krävs för åtgärder som på ett betydande sätt kan påverka miljön i ett Natura 2000-område. Det gäller även verksamheter som bedrivs utanför själva området. Verksamhetsutövaren ska ansöka om tillstånd och en ansökan ska innehålla en miljökonsekvensbeskrivning (MKB) med bedömning av åtgärdens påverkan på Natura 2000-värdena, möjliga alternativ och lämpliga skyddsåtgärder. För de flesta typer av vattenverksamhet ska tillståndsansökan ske hos Länsstyrelsen, eller hos miljödomstolen. Inledande ska det ske ett samråd med Länsstyrelsen där det bestäms vad en ansökan och MKB behöver innehålla.

För att få tillstånd krävs att de skyddsvärda miljöerna inte skadas och att de arter som ska skyddas inte hotas. Det behövs inga tillstånd för åtgärder som hänger samman med naturvårdsskötseln av ett Natura 2000-område. I tillståndsprövningen bedöms fallet efter rådande omständigheter och hänsyn tas till hur, när och var åtgärden utförs.

Bestämmelserna gällande Natura 2000 är utformade så att myndigheterna i vissa speciella fall kan ge tillstånd till åtgärder trots att den skadar naturvärdena. Det sker endast under

vissa förutsättningar, till exempel om det saknas alternativ till åtgärden eller om naturvärdena kan kompenseras (Naturvårdsverket, 2003).

Natura 2000 vid Tämnaren

Tämnaren är uppdelad i två Natura 2000-områden. Det ena området kallas Tämnaren väst och det andra kallas Tämnaren Öst. För exakt läge se figur 8. Syftet med att inta området i nätverket för Natura 2000 är att bevara Tämnaren och Sörsjön som riksintressanta fågelsjöar och att gynna den rika fågelfaunan.

2.9.3 Riksintresse för naturvård

I samhällsplaneringen ska det säkras att det blir en god hushållning med mark och vatten. Ett område som är särskilt viktigt kan skyddas som riksintresseområde. Områden av riksintresse för naturvärden ska representera huvuddragen i svensk natur, belysa landskapets utveckling och visa mångfalden i naturen. Urvalet av riksintressanta områden för naturvärden görs av Naturvårdsverket i samarbete med bland annat länsstyrelserna. Huvudkriterier för naturvårdens riksintressen är:

- Områden som väl visar landskapets utveckling
- Väsentligen opåverkade naturområden
- Områden med sällsynta naturtyper, hotade eller sårbara biotoper och arter
- Områden med rik flora eller fauna
- Områden av mycket säregen beskaffenhet

För att bedriva verksamhet som kan komma att påverka ett område av riksintresse bör denna anmälas till Länsstyrelsen för samråd (Länsstyrelsen Uppsala län, 2009:c). Hela Tämnaren är klassat som riksintresse för naturvård till följd av att hela Tämnaren utgör ett Natura 2000-område.

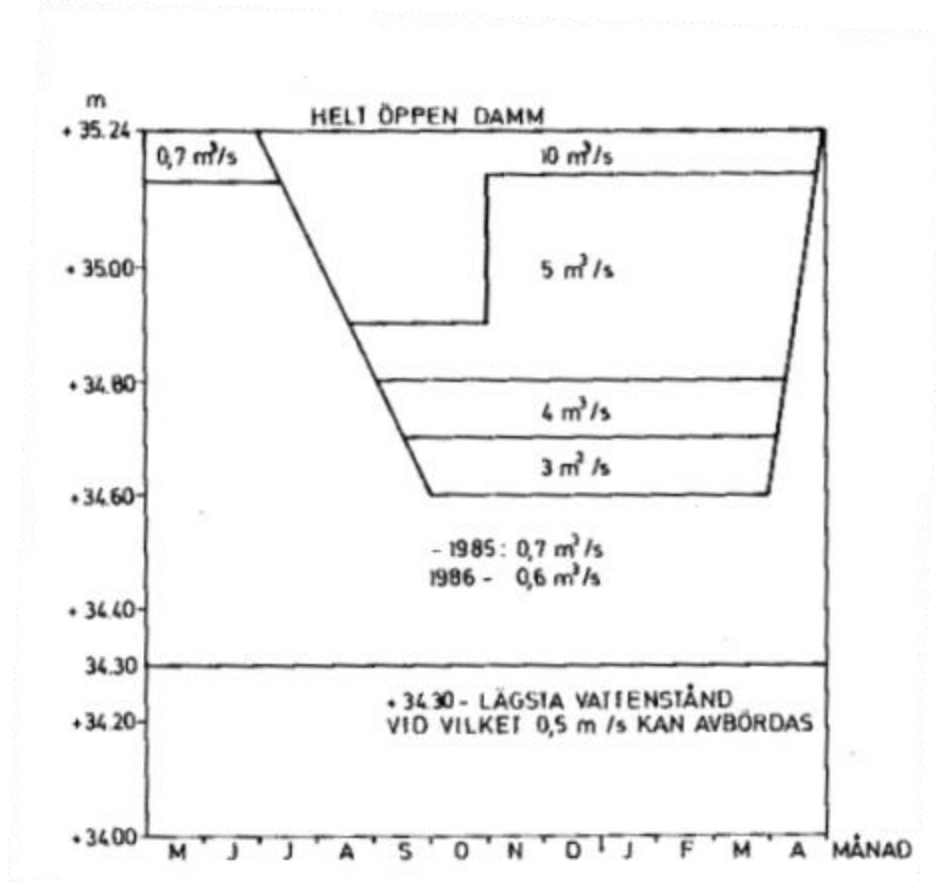
2.10 Nuvarande vattendom

För Tämnaren finns en vattendom, vilket är en bestämmelse över hur sjön ska regleras. I vattendomen anges hushållningsregler för Uppsala kommun, hur mycket vatten som får pumpas över till Fyrisåns vattensystem och vilka skadestånd som betalades ut vid höjningen av vattennivån år 1977. Den nuvarande vattendomen för Tämnaren beslutades år 1977 och är således över 30 år gammal. Enligt vattendomen ska vattennivån ligga mellan 35,24 m och 34,32 m och regleringen ska skötas av Tämnarens Sänkningsföretag. Regleringen sker vid dammen i Ubblixbo. I vattendomen ingår en tappningsplan där det kan avläsas hur mycket vatten som ska tappas från dammen vid olika vattennivåer (Vattendom, 1977). Dock finns här en problematik då vattennivån kan överskrida gränsen på 35,24 m även om dammluckorna är helt öppna, vilket den också gör på våren (Söderberg, 2010, pers.komm.).

Tämnaren har tidigare sänkts två gånger, 1876 var sänkningen 1,1 m och 1953 sänktes den ytterligare med totalt 0,15 m. Tämnaren har höjts en gång, vilket skedde år 1977. Höjningen var på 22 cm och skedde under sommarhalvåret på grund av att Uppsala kommun ville ha Tämnaren som en vattenreservoar för att kunna försörja uppsalaborna med dricksvatten. Vattendomen från år 1977 är utformad ur ekonomiskt perspektiv, utan att någon hänsyn tagits till omgivande miljö (Melin, 2010, pers.komm.). Således har problem uppstått då miljöhänsynen med tiden ökat men vattendomen förblivit den samma. En ny vattendom med större fokus på sjöns tillstånd och omgivande miljö skulle därför vara att föredra.

2.10.1 Tappningsplan och förhandstappning

För Tämnares finns det en tappningsplan som ska följas enligt figur 9. Regleringen utförs som tidigare nämnts av Tämnares Sänkningsföretag. Sjöns maximala vattennivå får vara 35,24 m och dammen ska då vara helt öppen. Dock ska tappningsplanen frångås vid vissa specifika tillfällen då förhandstappning ska ske. Förhandstappning innebär att sjön tappas i förebyggande syfte inför eventuella stora flöden (Vattendom, 1977).



Figur 9: Tappningsplan för Tämnares och regleringen sker via damluckorna vid Ubblixbo av Tämnares Sänkningsföretag (Länsstyrelsen Västmanlands län, 1979).

Följande text är direkt tagen från sidan 9 i vattendomen (Vattendom, 1977):

"För att så långt som möjligt motverka att vattenståndet i sjön överskrider dämningens gräns +35,24 m skall tappningsplanen frångås och förhandstappning ske vid annalkande vårflod mycket snö finns på marken eller om kraftiga flöden eljest kan väntas."

När förhandstappning ska ske blir till stora delar en tolkningsfråga. Det blir upp till personen som ska sköta regleringen att avgöra när det är "mycket" snö eller om "kraftiga" flöden kan väntas. Stora mängder snö på marken resulterar inte alltid i kraftiga vattenflöden, då snön vid låga temperaturer smälter långsamt och inga större flöden erhålls.

Länsstyrelsen är tillsynsmyndighet och gör regelbundna besök för att säkerställa att vattendomen följs. Länsstyrelsen sköter endast tillsynen och har inga befogenheter att ändra en befintlig vattendom (Melin, 2010, pers.komm.). På våren frångås tappningsplanen eftersom vårflödena är mycket kraftiga, vattennivån överskrider då den tillåtna (Söderberg, 2010, pers.komm.).

3 Nollalternativ

Tämnaren riskerar att växa igen, både på grund av uppgrundning och på grund av förbuskning. I samband med den planerade höjningen av vattennivån år 1977 gjordes utredningar och undersökningar av sjön som är väsentliga för dess föråldrandeprocess.

Under vintern 1974 utfördes en kontroll av vattendjupet i Tämnaren. Efter kontrollen utreddes hur mycket sjön hade grundats upp mellan åren 1946 och 1974. Sjön hade under de 28 åren blivit 4-5 cm grundare i medeltal. Fördelningen av uppgrundningen var ojämn och följde inget tydligt mönster. På vissa platser kunde uppgrundningen ligga på upp till 15 cm medan sjön på andra platser blivit något djupare än tidigare. I Sörsjön uppmättes uppgrundningen till cirka 10 cm i medeltal (Länsstyrelsen Västmanlands län, 1980).

I kontrollen specialstuderades även tre vikar, en i norra delen och två i södra delen av Tämnaren. Resultatet av studien var att uppgrundningen var större i södra delen än i norra delen av Tämnaren. Detta är rimligt då den dominerande vindriktningen i Tämnarområdet är sydvästlig.

Hänsyn ska förstås tas till osäkerhet i djupmätningarna vilka uppskattades ge en avvikelse på +/-5 cm vid de båda mättillfällena (Länsstyrelsen Västmanlands län, 1979). I områden som har en högre vegetation är sedimentationen större dels för att det bildas lugnvatten med goda sedimentationsförhållanden, dels för att rotsystemen i sig bidrar till ökad höjning av sedimentytan.

Det har även genomförts kompletterande sedimentundersökningar med ^{137}Cs för att närmare undersöka hur mycket sediment som bildats i Tämnaren under de senaste decennierna. År 1963 skedde ett stort utsläpp av den radioaktiva isotopen ^{137}Cs som sedan föll ned och fastnade i sedimenten. Genom att mäta gammastrålningen från ^{137}Cs i sedimentprover har sedimentationshastigheten i sjön uppskattats. Undersökningarna visade att det skett en uppgrundning på 7-8 cm under samma tidsintervall eftersom en tydlig gräns i ^{137}Cs -halten återfanns på denna nivå (Länsstyrelsen Västmanlands län, 1979).

3.1 Prognos för Tämnaren

Om inga restaureringsåtgärder genomförs kommer Tämnarens framtid med största sannolikhet att följa samma igenväxningsmönster som Sörsjön. Sannolikt börjar uppgrundningen i de södra delarna av sjön där det är högst sedimentationshastighet. Tämnarens återstående livslängd uppskattas till ca 600 år, se beräkningar i faktaruta 1. Livslängden kan bli något kortare om ingen vegetationsröjning genomförs, hur mycket kortare är dock svårt att avgöra.

Faktaruta 1

Vid beräkning av sedimentationshastigheten har de båda undersökningarna som gjordes i samband med utredningen om en vattenståndshöjning år 1977 vägts samman och resulterat i en medeluppgrundning på 6 cm på 28 år (1946-1974).

Sedimentationshastighet

Nordsjön

Tid: 28 år

Sedimenttillväxt: 0,06 m

Sedimentationshastighet: $\frac{0,06 \text{ m}}{28 \text{ år}} \approx 0,0021 \text{ m/år}$

Sörsjön

Tid: 28 år

Sedimenttillväxt: 0,10 m

Sedimentationshastighet: $\frac{0,10}{28} = 0,0036 \text{ m/år}$

Livslängd

Nordsjön

Medeldjup: 1,3 m

Total uppgrundning per år: 0,0021 m/år

Livslängd: $\frac{1,3 \text{ m}}{0,0021 \text{ m/år}} \approx \mathbf{619 \text{ år}}$

Sörsjön

Medeldjup: 0,3 m

Total uppgrundning per år: 0,0036 m/år

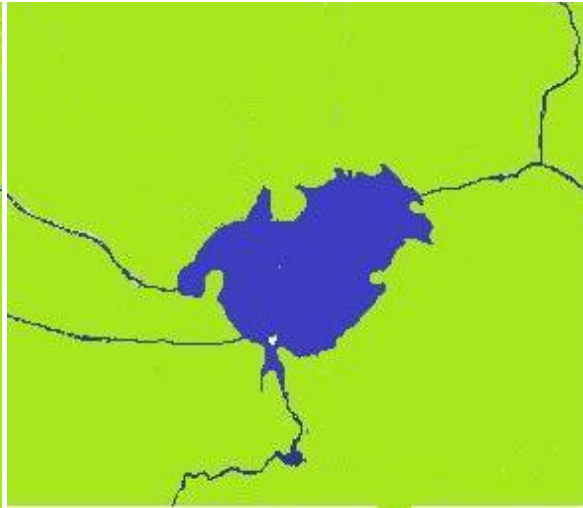
Livslängd: $\frac{0,3 \text{ m}}{0,0036 \text{ m/år}} \approx \mathbf{83 \text{ år}}$

Vegetationsprognosen för Tämnaren är att vassutbredningen längs med stränderna kommer att fortsätta. Dock kan utbredningen hämmas av väder och vindförhållanden. Vassens utbredningshastighet kan uppgå till 1 meter per år (Länsstyrelsen Västmanlands län, 1980). Flytbladsvegetationen förutspås också utvecklas snabbt, framförallt i vindskyddade vikar och bakom holmar. Utbredningen av säv i Tämnaren kommer troligen att gå något långsammare än för mindre grannsjöar eftersom att Tämnaren är utsatt för stark vind. Förbuskningen kan även hämmas av isens utbredning vintertid. Högvuxen vegetation kommer troligen breda ut sig längs strandkanten, framför allt björk.

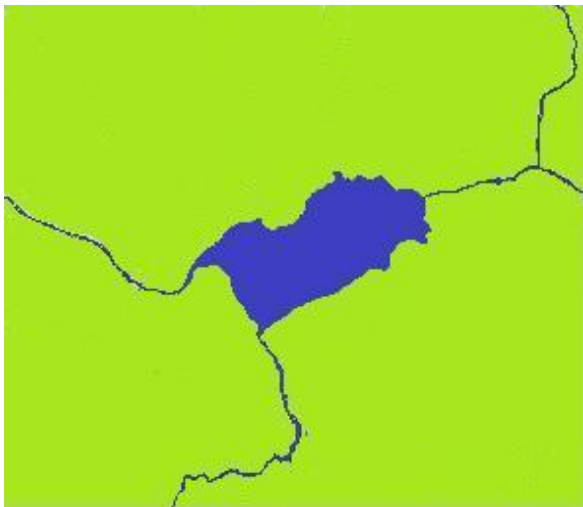
Tämnaren befinner sig i ett labilt utvecklingskede. Figur 10 till 13 illustrerar en grov uppskattning av Tämnarens uppgrundningsförlopp över en 600 års period.



Figur 10: Tämnaren idag.



Figur 11: Tämnaren om 150 år.



Figur 12: Tämnaren om 300 år.



Figur 13: Tämnaren om 600 år.

4 Åtgärder

Nedan följer en redogörelse av de olika åtgärder som har studerats närmare inom projektet. En utredning ges huruvida dessa är lämpliga eller ej för att förbättra Tämnarens status. De åtgärder som projektet har fokuserat på är en förändring av vattenståndet, invallning av markerna, röjning och muddring samt åtgärder för att minska transporten av näringsämnen och sediment ut i Nordsjön från Sörsjön.

4.1 Förändring av vattenstånd

En modell för sjöns vattenbalans har skapats för att ta fram ett förslag på hur vattenståndet i Tämnaren lämpligen skulle kunna höjas. I och med att vattenståndet regleras av en vattendom krävs en ny sådan i det fall vattenståndet önskas höjas över rådande högsta nivå. En höjning av vattenståndet med 20 cm vintertid genom ny vattendom anses utifrån samtal med Uppsalavatten, Tämnarens vattenråd och Länsstyrelsen som ett rimligt förslag då det tidigare använts som praxis. Nedan behandlas hur en sådan höjning skulle kunna påverka syrgashalten i sjön vintertid och konsekvenser gällande översvämningar som höjningen skulle kunna medföra. Möjliga förändringar av vattenståndet under året har beräknats utifrån vattenbalansen. Eftersom även sjöns lägsta nivå anses vara för låg sommartid undersöks om en förändring i tappningsplanen skulle kunna förhindra detta. Ett genomgående problem i dessa beräkningar är att vattenståndsdata saknas för Tämnaren och därför har bara beräkningar på förändring av vattenstånd kunnat genomföras. Beräkningarna är baserade på månadsmedelvärden vilket medför en stor osäkerhet i resultatet. Dessutom har igen hänsyn tagits till eventuell dämning nedströms i Tämnarån.

4.1.1 Vad krävs för att få igenom en ny vattendom

En omprövning av vattendomen kan endast ske på begäran av kammarkollegiet, Uppsala vatten, Naturvårdsverket, sjösänkingsföretaget eller berörda kommuner. Länsstyrelsen sköter tillsynen av vattendomen och kan därför inte ändra den. Det Länsstyrelsen däremot kan göra är att skicka en förfrågan till de parter som kan överklaga vattendomen. För att en omprövning ska kunna drivas måste först en utredning om skadestånd och ersättningar göras. Vem som ska betala för utredningen och betala ut eventuella skadestånd är ännu oklart.

För några år sedan var kammarkollegiet positivt inställda till att driva en omprövning av Tämnarens vattendom. Kammarkollegiets krav var då att samtliga intressenter runt sjön skulle vara helt överens så att det inte skulle existera några skadeståndskrav. En sådan överenskommelse mellan intressenterna gick inte att få fram och kammarkollegiet vill inte i dagsläget ansöka om en ny omprövning. Det beror på att det visat sig att vattendoromar är mycket svåra att ändra och eftersom att antalet fastighetsägare runt sjön är många är det mycket svårt för samtliga intressenter att komma överens. Kammarkollegiet kan ändra sig om kommunerna betalar de skadestånd som eventuellt krävs för en omprövning (Melin, 2010).

4.1.2 Modell för Tämnarens vattenbalans

För att få en bild av hur olika tappningar påverkar vattenståndet i Tämnaren har en modell för sjöns vattenbalans skapats. Vattenbalansmodellen är baserad på månadsmedelvärden och förändringen av sjöns volym har studerats. Volymsändringen per månad ges av följande uttryck:

$$dV = AdH = Q_{in} - Q_{ut} + PA - EA$$

och vattennivåändringen ges av:

$$dH = \frac{1}{A}(Q_{in} - Q_{ut}) + P - E$$

där V är sjöns volym [m^3/s], A sjöns area [m^2], H vattenytans höjd över havet [m], Q_{in} flödet in till sjön, Q_{ut} flödet ut från sjön [$m^3/månad$], P nederbörd och E avdunstning [$m/månad$].

Modellerade månadsmedelvärden för perioden 1995-2009 för vattenföring [m^3/s] i Harboån (SMHI Homer, 2010) vid inloppet till Tämnaren har använts för att beräkna inflödet till sjön. Ett sammantaget medelvärde månadsvis för hela denna period har beräknats och gjorts om från sorten [m^3/s] till [$m^3/mån$] (hänsyn har tagits till antal dagar för respektive månad). Genom att dividera flödet i Harboån, Q_{in}^1 , med motsvarande avrinningsområdes area, $A_1 = 428,4 \text{ km}^2$ fås den specifika avrinningen q_{in} .

$$q_{in} = \frac{Q_{in}^1}{A_1}$$

Den specifika avrinningen antas sedan vara densamma för hela Tämnarens avrinningsområde, $A_{tot} = 693,5 \text{ km}^2$, och då kan det totala inflödet till Tämnaren, Q_{in} , beräknas enligt

$$Q_{in} = q_{in} A_{Tot}$$

Nederbördsdata i form av medelvärden [$mm/mån$] för perioden 1961-1990 från mätstation i Harbo, stationsnummer 10708, koordinater 6669440 1579450, (SMHI, 2010:b) ligger till grund för den nederbörd, P , som använts i beräkningarna.

Medelavdunstningen [$mm/mån$] för landområden har antagits ha samma fördelning under året som data från mätningar i Kalmar (SMHI, 2004). Till denna har meravdunstningen [$mm/mån$] för Tämnaren relativt omgivande landyta (Länsstyrelsen Västmanlands län, 1979) adderats för att få sjöns totala månadsmedelavdunstning. Data för Q_{in} , P och E finns redovisade i tabell 7.

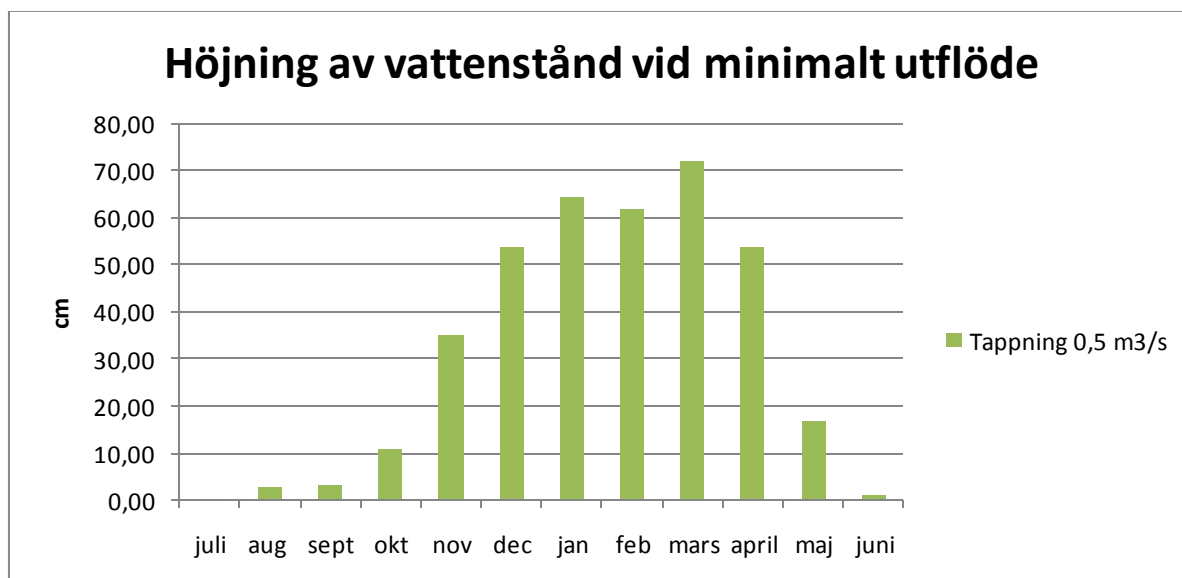
Tabell 7: Månadsmedelvärden för inflöde Q_{in} , nederbörd P och avdunstning E för sjön Tämnaaren.

Månad	Q_{in} (m^3/s)	P (mm/mån)	E (mm/mån)
jan	8,39	40,3	2
feb	9,07	27,8	2
mars	9,82	31,9	23,4
april	8,26	34,1	72,9
maj	3,94	35,4	128,4
juni	1,95	46,8	143,8
juli	1,61	65,7	148,4
aug	1,2	80,1	106,5
sep	0,91	62,2	59,9
okt	1,61	54,8	28,7
nov	4,54	56,4	6
dec	6,92	46,4	2

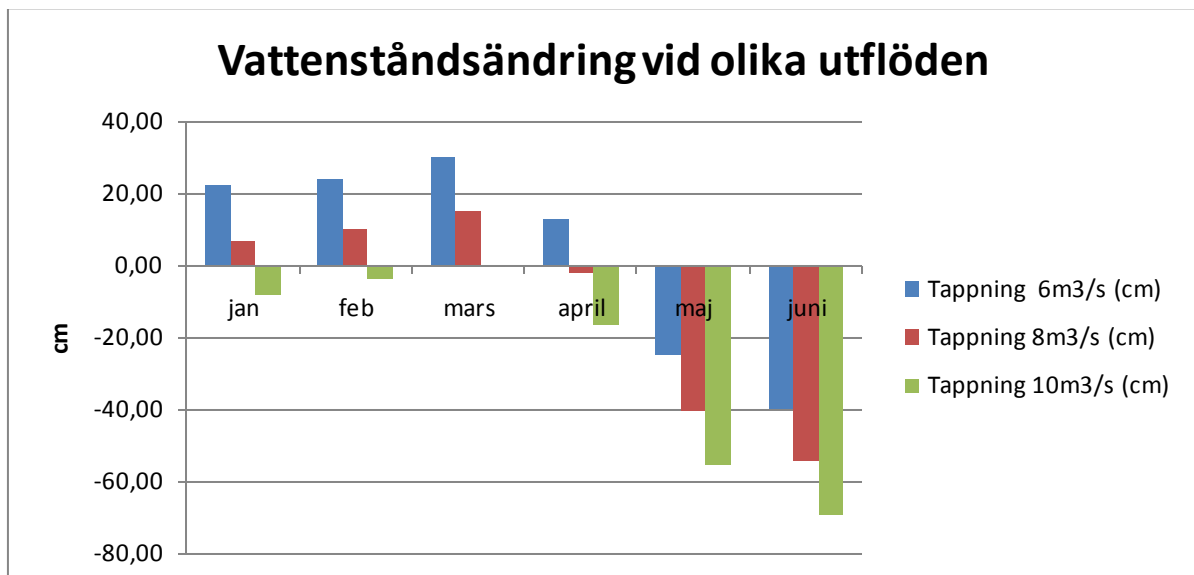
Med olika val av utflöden, Q_{ut} , har sjöns magasinering (volymsändring, dV) beräknats. Denna har sedan översatts till vattennivåändring, dH , med antagande att sjöns area, $A_{sjö}$, konstant är 35 km^2 .

$$dH = \frac{dV}{A_{sjö}}$$

Vattenståndets ändring vid minimitappningen, $Q_{ut} = 0,5 \text{ m}^3/s$ och för tre större flöden visas i figur 14 respektive figur 15. Magasinering och motsvarande vattenståndändring vid utflöden, Q_{ut} , $0,5 \text{ m}^3/s$, $0,6 \text{ m}^3/s$, $6 \text{ m}^3/s$, $8 \text{ m}^3/s$, och $10 \text{ m}^3/s$ redovisas i bilaga A.



Figur 14: Höjning av vattenstånd vid utflödet $Q_{ut}=0,5 \text{ m}^3/s$.



Figur 15: Vattenståndsändring vid utflöden 6, 8 och 10 m³/s.

4.1.3 Höjning av vattennivån vintertid

Den uppsatta vattenbalansmodellen visade att även vid en minimal tappning (0,5 m³/s) skulle ingen betydande magasinering av vatten ske i sjön under månaderna juni - september. Detta innebär att en vattennivåhöjning för att höja vattenståndet med 20 cm inför vintern inte kan påbörjas förrän i oktober. Även om maximal magasinering skulle ske under oktober månad skulle detta inte räcka för att uppnå önskad vattennivåhöjning. Med maximal magasinering under oktober och november månad skulle magasineringen bli ca fyra gånger så stor som för enbart oktober, vilket skulle innebära en höjning av vattenståndet med ca 46 cm om arean antas vara konstant 35 km² vid höjningen. Det betyder att även om vattenståndet i Tämnaren skulle vara så lågt som 34,40 m.ö.h. i slutet av september så skulle det inte vara några problem att höja vattenståndet till 34,80 m.ö.h. (önskat vattenstånd vintertid efter höjning med 20 cm). Under kommande vintermånader (december till mars) skulle en större tappning vara nödvändig för att inte ytterligare magasinering ska ske och på så sett se till att vattennivån inte blir för hög.

Om vattenståndet är relativt lågt vid isläggningen, som normalt inträffar i slutet på november (Länsstyrelsen Västmanlands län, 1979), och sedan höjs kan detta medföra en naturlig vassröjning. Detta eftersom fastfusen växtlighet kan slitas av när isen höjs vid ett ökat vattenstånd. En påföljande konsekvens av detta är att vassbårdens pågående utbredning skulle kunna bromsas upp.

Åtgärder för att minska ökade översvämningar på våren

Beräkningar av maximal sänkning av vattenståndet inför vårfloeden visar att det är svårt att få en kraftig sänkning under månaderna februari-mars även vid maximal tappning (10 m³/s), se figur 15. Om utflödet skulle vara 10 m³/s skulle detta ge en vattennivåsänkning med ca 4 cm under februari och mars. Vid islossningen som normalt sker i slutet på april skulle nivån kunna sänkas med ytterligare ca 17 cm. Detta innebär att om vattenståndet når maximalt 34,80 m.ö.h. under vintern skulle nivån kunna nå 34,60 m.ö.h. tidigast i maj månad, troligtvis senare. Detta medför att en höjning av vattenståndet under vinterhalvåret ger en varaktighet av förhöjt vattenstånd i ca 5 månader om maximal uttappning sker från och med februari. Om antagande görs att utflödet istället är 8 m³/s vid tappning under samma period skulle vattenståndet istället fortsätta stiga fram till april och därefter drastiskt minska, se figur 15. Därför rekommenderas maximal tappning för att inte vattenståndet skall öka ytterligare under våren.

Tidigare utredningar

En utredning angående höjt vintervattenstånd i Tämnaaren samt betydelsen av mittutskovet för dammens avbördning har utarbetats på uppdrag av Uppsala kommun (Carlsson, 2007). I denna rapport redovisas hur ett förändrat vattenstånd vintertid från 34,60 till 34,80 m.ö.h. påverkar vattenståndet på våren. Vid höjt vattenstånd skulle den maximala vattennivån öka med mellan 6 - 7 cm om nuvarande tappningsplan tillämpas. Detta innebär att de nuvarande översvämningarna under våren skulle bli mellan 6-7 cm högre. För att kunna förutsäga om det är möjligt att motverka nivåhöjningen genomfördes simulationer av olika tappningshastigheter som resulterade i olika regleringsstrategier.

Om gällande tappningsplan följs skulle varaktigheten av vattennivåer som överskrider 35,24 m.ö.h. öka vid ett högre vattenstånd vintertid. Varaktigheten av de högsta nivåerna skulle öka 16 respektive 49 dygn för medelhögvattenföring respektive hösta högvattenföring. För att undvika detta skulle det vara lämpligt att ändra tappningsplanen om vintervattenståndet önskas höjas. Enligt simuleringen skulle det vara möjligt att drastiskt minska denna tid vid ökad tappning, vilket innebär att en ökad vattennivå vintertid inte automatiskt innebär att översvämningarna skulle öka.

Resultatet av simuleringarna visade att om 10 m³/s tappades vid stigande nivåer i sjön blir det maximala vattenståndet i sjön detsamma vid medelhögvattenföring även om vattennivån tillåts vara 20 cm högre vintertid. Om en tappning på 7 m³/s vid stigande nivåer skulle tillämpas blir varaktigheten vid medelhögvattenföring istället bli 10 dygn längre än utan en vattenståndshöjning.

Risk för syrebrist i Tämnaaren vintertid

Eftersom Tämnaaren är en grund sjö, med ett medeldjup på ca en meter, föreligger risk för syrebrist vintertid. Detta är ett hot mot det rika fiskbeståndet, vilket motiverar att en höjning av vattennivån i Tämnaaren vore en lämplig åtgärd för att bevara sjöns ekosystem. Under kalla vintrar med mäktig is krymper volymen som fisken kan röra sig i. Då förbrukas syret i vattnet vilket gör att syrgasförhållandet mot vinterns slut kan bli så lågt att fisken dör. Syrgaskoncentrationen är normalt lägst närmast botten eftersom syrgastäringen främst sker i sedimenten eller i vattnet närmast sedimenten. Eftersom syregastäringen sker med en specifik hastighet per ytenhet är sjöns djup avgörande för dess syrgastillstånd. Risken för syrebrist är därför större i en grund sjö jämfört med en djup.

Jämförelse med Dannemorasjön

En undersökning av syrgasförhållanden i Dannemorasjön (Stenius, 2007) har studerats för att få en uppfattning om lämpliga åtgärder för att minska risken för syrebrist i Tämnaaren. Dannemorasjön är liksom Tämnaaren mycket grund, men betydligt mindre till ytan. Undersökningen av Dannemorasjön visade att tillflödet under början av vintern hade en lägre syrgaskoncentration i jämförelse med sjön. Under vintern förbrukas syret i sjön vilket gör att inflödet kommer att ha högre syrgashalt än sjön under senare delen av vintern. Tillflöden med högre syrgaskoncentration bidrar till en positiv effekt på syrgasförhållandet i sjön. Det ansågs därför lämpligt för Dannemorasjön att minimera tillflöden under början av vintern (fram till mitten på januari) och sedan öka tillflödena mot slutet av vintern. En modellering av syrgasförhållandena med och utan en sådan reglering resulterade i att de minsta simulerade syrgaskoncentrationen ökade från 0,6 mg/l till 2,1 mg/l vid reglering.

Med dessa resultat som bakgrund anses det för Tämnaaren lämpligt med en successiv höjning av vattenståndet efter det att isen lagt sig. Detta för att förbättra syrgasförhållandena i sjön vintertid genom att låta mer syrerikt vatten från inflöden lagras i sjön. Vid jämförelse sjöarna

emellan kan dock inte något sägas om huruvida det skulle vara lämpligt att minska tillflöden under tidig vinter. Detta eftersom syrgashalten i Tämnaaren jämfört med halten i inflöden är okänd. Det är inte heller rimligt att förvänta sig en lika stor skillnad i syrgaskoncentration på grund av ett ökat genomflöde i sjön då Tämnaaren har betydligt större volym än Dannemorasjön. Den större volymen gör att inflödets syrgaskoncentration inte ger lika stor påverkan på syrgaskoncentrationen i sjön.

Parametrar som påverkar syrgasförhållandet

Syrgasförhållanden i en sjö kan variera mycket mellan olika år och risken för syrebrist vintertid beror på bland annat vilken syrgaskoncentration sjön har då isen lägger sig och syrgashalten i inkommande flöden. Även syrgastäringen är svår att uppskatta eftersom denna beror på nedbrytningshastigheten i sedimenten, hur stort fiskbeståndet i sjön är och hur länge isen ligger. Utöver dessa parametrar är även sjöns volym något osäker eftersom de senaste djupmätningarna utfördes på 1970-talet och sjön sedan dess har grundats upp på grund av sedimentation. Allt detta sammantaget med variationer i isens mäktighet medför att det är mycket svårt att uppskatta hur stor risken för syrebrist faktiskt är.

Åtgärder för att förbättra syrgasförhållandet i Tämnaaren

En höjning av vattenståndet i Tämnaaren ger en ökad vattenvolym vilket leder till en ökad syrelagring. Dessutom skulle det bidra till att syrgastäringen under vintern minskar. Med 20 cm högre vattenstånd vintertid och antagande att isen som mest skulle kunna bli 35 cm mäktig (Rodhe, 2010) beräknas volymen, av det vatten som inte fryser, öka från $21,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ till $28,0 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Detta innebär att den volym fisken har att leva i skulle öka med 29,6 %. Se beräkningsunderlag nedan.

Utöver en höjning av vattenståndet i sjön vintertid skulle eventuellt sjöns syrgasförhållande kunna förbättras om syrgaskoncentrationen i inflöden kunde ökas. Detta skulle exempelvis kunna uppnås genom ökad turbulens i de åar som mynnar ut i Tämnaaren. För att utreda om en sådan åtgärd är möjlig krävs mätning av nuvarande syrgaskoncentrationer i inflöden. Om syrgaskoncentrationen i inloppet redan är god är inte denna åtgärd nödvändig.

Beräkningsunderlag

För beräkning av den volym fritt vatten som finns under vintern har sjöns djup och arean för respektive djup uppskattats utifrån djupkartan, se avsnitt 5.2 och figur 4. Ett medelvärde av djupintervallen (mellan djuplinjerna i kartan) har använts för vidare beräkning. Tabell 8 visar de olika djupmedelvärdena och uppskattad area med sådant djup. Isen på sjön har antagits vara 35 cm vid en riktigt kall vinter.

Tabell 8: Djupintervall, medeldjup och ungefärlig areal uppskattas utifrån djupkarta.

Djupintervall (cm)	Medeldjup (cm)	Ungefärlig areal (km ²)
0-10	5	1
10-35	22,5	3
35-60	47,5	4
60-90	75	5
90-115	102,5	7
115-140	127,5	13
140-165	152,5	2

Förändring av djupen vid 20 cm vattenståndshöjning antas inte påverka arean för de områden som inte är bottenfrysta eftersom det vatten som påverkar arean antas frysa helt. Återstående djup, både med och utan 20 cm höjning av vattenståndet och djupens

respektive areal visas i tabell 9. Volymen (medeldjupet multiplicerat med arealen) för de två fallen visas i tabell 10. Med 20 cm högre vattenstånd ökar volymen fritt vatten med $6,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Detta motsvarar en ökning med 29,6 %.

Tabell 9: Återstående djup under vintern, med och utan en vattenståndshöjning om 20 cm.

Återstående medeldjup under 35 cm is (cm)	Återstående medeldjup under 35 cm is, men med en 20 cm vattenståndshöjning	Ungefärlig areal (km^2)
0	0	1
0	7,5	3
12,5	32,5	4
40	60	5
67,5	87,5	7
92,5	112,5	13
117,5	137,5	2

Detta resultat kan jämföras med en grov uppskattning där medeldjupet för hela sjön antas vara 1,0 m före höjning och 1,2 med det högre vattenståndet. Arealen antas vara konstant 35 km^2 vid höjningen. Med en 35 cm mäktig is blir då volymen fritt vatten före höjning $21 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ och $28 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ då vattenståndet höjs med 20 cm, se tabell 10. Detta motsvarar en volymökning med ca 33 %. Denna uppskattning stämmer väl överens med beräkningen ovan.

Tabell 10: Volym fritt vatten i Tämnaaren då isens mäktighet är 35 cm, utan och med 20 cm vattenståndshöjning.

Volym ofruset vatten utan höjning	Volym ofruset vatten med 20 cm höjning
$21,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$	$28,0 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

4.1.4 Höjning av lägstanivån under sommaren

Gällande möjlig höjning av lägstanivån i sjön har beräkningar gjorts utifrån tappning med 0,5 och $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$ under perioden juni till september. Resultatet visar att Tämnaarens vattenstånd skulle kunna höjas med ca 7,5 cm vid en tappning på $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ under denna period. Enligt nuvarande tappningsplan, se figur 9, sker minsta tappning ($0,5 \text{ m}^3/\text{s}$) endast då vattenståndet ligger under 34,30 m.ö.h. Om vattenståndet är 34,30 till ca 35,15 m.ö.h. sker en tappning på $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$ vilket istället innebär en sammantagen ändring av vattenståndet med ca 4 cm för de fyra sommarmånaderna. Dessa små förändringar i vattenstånd är dock mycket osäkra då avdunstningen har stor påverkan på vattenbalansen under dessa månader. I en tidigare utredning om Tämnaaren uppgavs att vattenståndet i sjön skulle kunna sänkas med knappt 0,5 cm/dag vid en torrperiod under sommaren, då minimal tappning har antagits tillsammans med maximal pumpning till Fyrisån (Länsstyrelsen Västmanlands län, 1980).

Slutsatsen som kan dras av detta är att även vid låga tappningar är det svårt att höja vattenståndet under sommarmånaderna. För att höja lägstanivån krävs därför att vattenståndet inte ligger för lågt i slutet på våren. Det krävs således en balanserad reglering i övergången från översvämningarna vid vårfloden till torrperioden under sommaren. Vid tappning på $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$ kommer nivån att vara i stort sett oförändrad eller sjunka mellan juni och september. Enligt tappningsplanen regleras utflödet under vintern, t o m mars månad från $3 \text{ m}^3/\text{s}$ om vattenståndet är över 34,60 (34,60 - 34,70) m.ö.h. och så snart vattenståndet

når under 34,60 m.ö.h. sker tappning om 0,5 m³/s. I en alternativ tappningsplan som utformades 1975 föreslås genomgående att minimitappningen påbörjas vid något högre vattenstånd än 34,60 m.ö.h. (Länsstyrelsen Västmanlands län, 1979).

4.1.5 Diskussion

Om medelvattenståndet månadsvis hade varit känt, tillsammans med ett samband mellan vattenstånd och sjöarea hade ett mer noggrant samband mellan volymsändring och nivåändring för sjön kunnat erhållas.

Vegetationen i sjön påverkar vattenbalansen genom att avdunstningen från flytbladsväxter är betydligt större än från en vattenyta. Växtligheten upptar även en viss volym vilket minskar sjöns magasinering förmåga. Om vegetationen i sjön minskade skulle detta ge dubbel effekt, på sommaren minskas vattenförlusterna genom avdunstning och med ett större magasin skulle sjöns utjämningsförmåga öka.

4.1.6 Summering

En höjning av vattenståndet med 20 cm under vinterhalvåret anses utifrån utförda beräkningar vara möjligt om utflöden hålls låga. För att specificera hur tappningsplanen skulle behöva förändras vid föreslagen vattenståndshöjning vintertid behövs uppgifter om vilka vattenstånd som normalt råder vid olika tidpunkter under året. Tidigare simulering har påvisat att det med ett utflöde på 10 m³/s vid stigande nivåer skulle göra det möjligt att förhindra att ett höjt vattenstånd vintertid skulle leda till ökade översvämningar. Den volymsökning som höjningen ger skulle innebära att både syrgastäringen minskade och att syrgaslagringen ökade vilket skulle gynna fiskbeståndet i sjön.

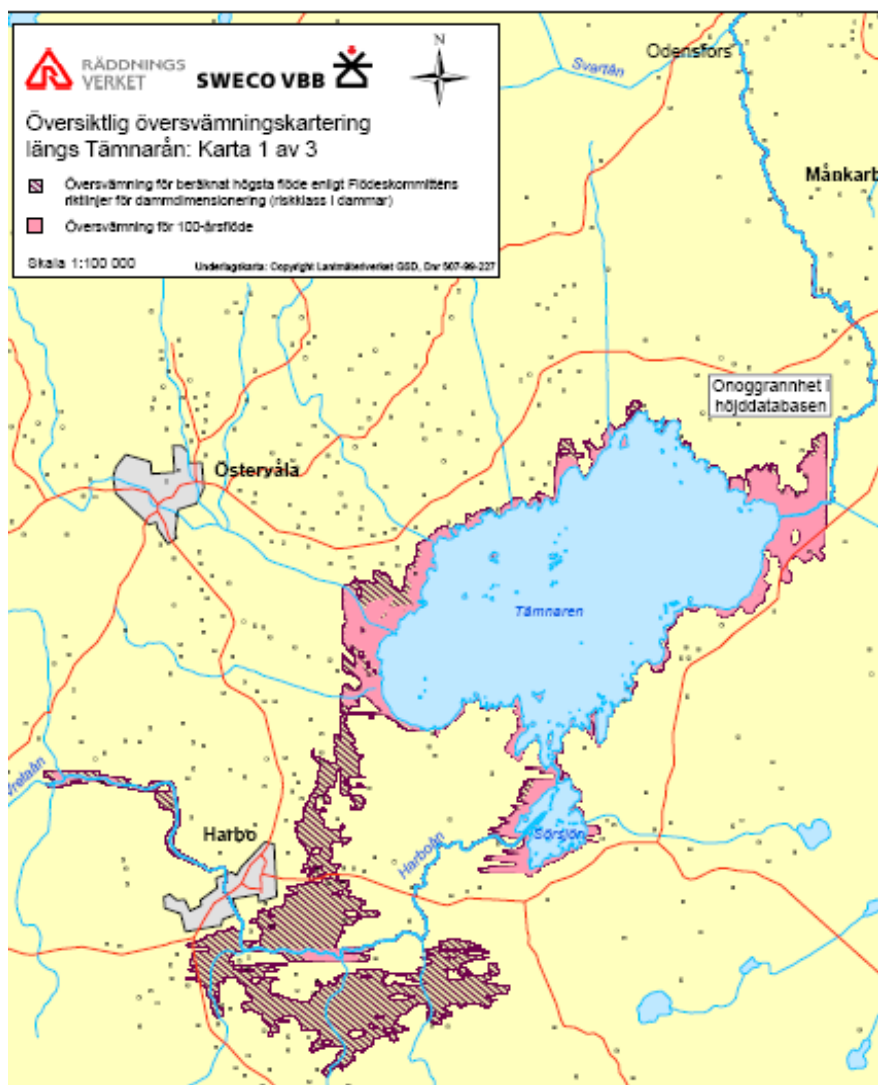
4.2 Invallning

Efter vattenståndshöjningen på 1970-talet utfördes omfattande invallningar av mark runt Tämnaån där översvämningar befarades. Uppsala kommun ansvarade för uppförandet av vallarna samt byggandet av pumpstationer. Invallningarna uppfördes på merparten av marken runt sjön, men vissa marker lämnades med motiveringen att det inte skulle vara lönsamt. Tämnaån, lämnades ovalad, eftersom det ansågs röra sig om för stora arealer samt att marken saknade värde som jordbruksmark. Även områden söder om Tämnaån i Nolmyra lämnades ovalade. Markägarna till dessa områden blev istället tilldelade ett engångsbelopp som ersättning för avkastningsförluster.

Invallning används för att skydda mark mot översvämningar och tillämpas både för vattendrag och för sjöar som under delar av året har ett för högt vattenstånd som hotar markanvändningen. Utformningen av vallarna beror på det omgivande vattenflödet och dess uppehållstid. Tanken med invallningar är att de ska fungera under en lång tid, vilket kräver ett kontinuerligt underhåll för att de inte ska falla ihop och börja läcka. Faktorer som kan påverka vallarnas funktion är om marken sänks, förändringar i nederbörd, avrinning eller vattenstånd. Vid ett eventuellt vallbrott dröjer det relativt länge innan vattnet kan försvinna från marken i fråga, eftersom vattnet snabbt sprids ut på stora areor och försvårar pumpningsarbetet (Jordbruksverket, 2009).

Tämnaån är en slättlandssjö med låglänta marker och saknar därför en egentlig vattenlagringskapacitet. Höga vattenflöden kan därför leda till översvämningar på de omgivande markerna. År 2006 har SWECO VBB på uppdrag av Räddningsverket i Karlstad utfört en översiktlig översvämningsskartering längs Tämnaån och runt Tämnaån. Skarteringen är gjord utifrån beräknat högsta flöde enligt Flödeskommitténs riktlinjer för dammdimensionering (riskklass I dammar) samt för översvämning vid 100-årsflöde

(Räddningsverket Karlstad, 2006). I figur 16 visas en karta över särskilt drabbade områden där rosafärgade områden visar översvämning vid ett 100-årsflöde. Randiga områden visar översvämning vid beräknat högsta flöde.



Figur 16: Karta framtagen av SWECO VBB på uppdrag av Räddningsverket (Räddningsverket Karlstad, 2006).

De områden som är hårdast drabbade är markerna kring utloppet från Tämnaren längs Tämnarån, Sörsjöns västra sida samt på Tämnarens västra sida främst vid Åbyån. År 1946 utfördes omfattande nivåmätningar av vattenståndet i Tämnaren som resulterade i ett beräknat samband mellan vattenstånd och sjöarea. För vattenstånd över 35,00 m.ö.h. har sjöarean approximerats. Vattendomens vattenstånd på 34,60 m.ö.h. skulle ge en area på cirka 33 km². Vid platsbesöket 2010-04-26, då vattenståndet var ovanligt högt, uppmättes vattenståndet till 35,83 m.ö.h. vid sjöns utlopp (Annedal). Sjöns area kan därmed utifrån modellen uppskattas till cirka 42 km², vilket skulle innebära att cirka 7 km² mark i nuläget är översvämmad (Länsstyrelsen Västmanlands län, 1979). Denna modell för sambandet mellan vattenstånd och sjöarea är gammal och det är osäkert hur mycket förändringar sedan 1946 och nuvarande förhållanden påverkar modellens tillförlitlighet.

De befintliga invallningarna uppfördes som skadeförebyggande åtgärd för de konsekvenser som en lagändrad höjd vattennivå skulle ge och frågan är vad som i nuläget skulle motivera uppförandet av nya vallar. Vallarnas utformning som blir ganska stor och skrymmande gör att det inte är allt för lämpligt på privat tomtmark. Att uppföra nya vallar skulle kunna vara

ett alternativ för att skydda jordbruksmark från översvämning. Samtidigt som marken blir mer odlingsbar hindras näringsämnen från översvämmad jordbruksmark att transporteras ner i sjön och bidra till övergödningen. De problem som finns vid uppförandet av nya invallningar är dels av praktisk och dels av ekonomisk karaktär. Det är inte givet vem som skall stå för ett eventuellt skadestånd och om det är ekonomiskt lönsamt att göra ytterligare invallningar. Eftersom Tämnaren ingår i ett Natura 2000-område kan tillstånd komma att behövas från Länsstyrelsen vid en eventuell invallning. Vad gäller översvämningsproblem kan det istället vara mer lämpligt att utföra andra röjningsåtgärder som kan hindra uppdamningar i de åar som är mest översvämningsdrabbade.

4.3 Muddring

Att muddra innebär att bottensediment grävs upp för att göra sjön eller den plats i havet som muddras djupare. Muddring stör det djur- och växtliv som finns i och runt sjön, varför det noggrant bör övervägas om muddring är nödvändigt och om det ger fler fördelar än nackdelar. De muddringsmassor som tas upp kan påverka naturen och måste därför tas omhand på miljömässigt korrekt sätt (Natur och miljö, 2005).

4.3.1 Konsekvenser

Vid muddring kan en rad konsekvenser uppkomma som i de värsta scenarion kan orsaka mycket stor skada på djur- och växtlivet och vid planerandet av muddring måste stor hänsyn tas för att minska dessa.

Grumling

Den största nackdelen med muddring är den grumlingen som uppstår i sjön vid ett sådant ingrepp. Grumligheten påverkar ljusflödet ner i sjön och kan på så vis försämra livsmiljön för växter som helt kan dö ut om ljusstillsättningen blir för liten. Partiklarna som slammas upp i vattnet försvårar överlevandet för fisklarver, dödligheten ökar redan vid så små partikelhalter som 10 mg/l. Vuxna fiskar klarar sig dock relativt bra eftersom de kan undvika grumliga platser. De sediment som slammas upp vid muddring kan förflyttas långa sträckor och inte bara försämra miljön för växter och djur på muddringsplatsen utan också påverka livet långt därifrån. När det suspenderade materialet åter sedimenterar kan det täcka över fiskägg, växter och bottenlevande djur vilka då kan ta skada eller helt dö ut (Natur och Miljö, 2005).

Ekologiska förändringar

En igenväxt botten fungerar som livsmiljö för många djur som lever av och på växterna. När en muddring genomförs försvinner de växter som finns på platsen och därmed också de djur som trivs där. Även fågellivet påverkas då igenvuxna platser fungerar som rastplatser och födotillgång. En del växter påverkas positivt av muddring och breder ut sig på bekostnad av de växter som inte kan anpassa sig lika bra till de nya förhållandena. Både när det gäller djur och växter påverkas alltså artsammansättningen av muddring. En del arter försvinner och andra tar helt över vilket skapar en mindre mångfald vilket inte är bra (Natur och Miljö, 2005).

Spridning av farliga ämnen

Miljöfarliga ämnen som kan finnas bundet i sediment frigörs och sprids vid muddring. Växter och djur kan då ta upp ämnena som inte bara påverkar dem utan också arter högre upp i näringskedjan och tillslut även människan (Länsstyrelserna, 2006).

4.3.2 Summering

För att minska konsekvenserna av muddring ska de aktuella platserna noggrant undersökas. Själva muddringen bör ske under hösten eller vintern då ekosystemet är som minst känsligt

och leksäsongen för fiskar bör även undvikas. Muddring av förorenade sediment bör undvikas då de farliga ämnena kan frigöras till omgivningen. De muddermassor som tas upp måste fraktas från platsen. Uppläggning eller dumpning av muddermassorna i och omkring Tämnaresjön är inte ett alternativ då området innefattas av områdesskydd. Ett fördelaktigt alternativ vore att återvinna muddringsmassorna om det inte skulle visa sig att det innehåller höga halter av tungmetaller eller andra miljöfarliga ämnen (Länsstyrelserna, 2006).

4.4 Vegetationsbegränsning

Tämnaresjöns övergödda tillstånd har lett till att stora delar av sjön är tämligen vegetationsrik och att sedimentationen är stor. För att trygga sjöns fortsatta existens krävs att åtgärder vidtas. Följande åtgärder skulle kunna tillämpas för att minska vegetationen och dess utbredning.

4.4.1 Rövning

Tämnaresjön har en rik vattenvegetation vilket medför att en kontinuerlig rövning måste utföras för att förhindra igenväxning. Det finns angivet i skötselplaner och bevarandeplaner hur områden runt Tämnaresjön ska skötas, idag är dock skötseln bristfällig. I skötselplanen för Aspnäs naturreservat står det hur och var rövning ska utföras. En rövning skulle innebära att näringsämnen bundna i växter avlägsnas, vilket i sin tur skulle resultera i en minskad övergödning. Enligt Borgestig (2010, pers. komm.) räcker dock i dagsläget inte Länsstyrelsens budget till för att följa skötselplanen och utföra rövning i den utsträckning som bestämts.

Den bästa tidpunkten för rövning är under sommaren då näringen i växterna ännu inte hunnit transporteras till rhizomet eller frigöras i vattnet. Häckningssäsongen för fåglar är då även avslutad, vilket är positivt då störningen av fågellivet minimeras. Tämnaresjön är en förstklassig fågellokal och det finns många rödlistade arter i området. Detta är mycket viktigt att ta hänsyn till när rövning skall utföras då fåglar använder vass till att bygga bon och som skydd. För att gynna fåglarna bör rövningen utföras på ett sådant sätt att en variation av ålder, höjdsikt och arter hos vegetationen bevaras. Genom att avverka vassen nära stranden och göra kanaler från denna ut till öppet vatten skärs tillväxten från land av och en grund strandzon för vadarfåglar skapas. Denna strandzon närmast land, kallad blå bård, är mycket viktig ur natursynpunkt. De ger långgrunda stränder som fisken behöver för sin lek och vadarfåglarna för föda (Sjö & Miljö, 2010:a).

Om möjligt bör vegetationen slås av under vattenytan då det förhindrar att det tillförs syrgas till växter och strån, vilket förebygger att vegetationen kommer tillbaka. Det är viktigt att transportera bort de röjda massorna för att förhindra att näringsämnen sprids i vattnet och att växterna slår rot igen. Beskäring är en relativt billig och skonsam metod men den kräver upprepning för att effekten ska kvarstå. Bladvass och säv försvinner efter tre till fyra klippningar (Sjö & Miljö, 2010:b).

Vassklippning i större skala kan utföras med vassklippningsbåtar, som normalt kräver ett arbetsdjup på 50 cm. Vassen kan även avverkas med hjälp av en amfibiebandvagn som kan gå både på land och ute i vattnet till en djup på ca 1,20 m. Ett annat alternativ är att montera en vasslåtterskopa på en grävmaskin, denna metod lämpar sig väl i åar och vattendrag enligt Limnoteknik (2010:a). Maskinslåtter av vass med specialmaskin kostar i storleksordningen 4000-6000 kr per hektar med ihopsamling av vassen. Tidsåtgången brukar vara en hektar per dag (Naturvårdsverket & Fiskeriverket, 2008).

4.4.2 Betning

Landskapsvård med bete är en lämplig kompletterande metod för att hindra igenväxning och hålla landskapet öppet. Djuren är effektiva och samtidigt miljövänliga natur- och landskapsvårdare. Betesgång främjar naturens mångfald genom att växt-, insekts-, fjärils- och fågelbestånd ökar. Blandat bete, då olika djurarter får gå på samma område, är positivt då olika boskap kompletterar varandra. Nötkreatur är effektiva betesdjur och speciellt lämpliga att använda sig av vid hävd av strandområde. Detta eftersom de betar på mark, i vatten och av större buskage. Får däremot undviker helst fuktig mark, men klarar sig på små områden med liten produktion. Fåren är skickliga slybekämpare då de helst äter bladrikt och ungt växtbestånd. Därför lönar det sig att sätta fåren på bete så tidigt som möjligt innan växtbeståndet förvedas.

4.4.3 Vegetationsmuddring

Vegetationsmuddring är en åtgärd som kan användas för att avlägsna vegetation, men också förebygga dess utbredning, både av vass och av bottenvegetation. En fördel med denna metod är att även växtens rötter avlägsnas, vilket minskar risken att den återkommer.

Vegetationsmuddring medför en del negativa effekter och den största nackdelen är att det uppkommer grumling. Fiskar, främst fisklarver, tar stor skada när vattnet blir grumligt redan vid låga partikelhalter. På lång sikt skulle fiskarter dö ut om inte fisklarverna överlever. Sediment som rörs upp kan transporteras med strömmar i vattnet och på så sätt påverka platser långt från själva muddringsplatsen genom att sedimenten täcker över fiskägg, växter och bottenlevande djur. Den ekologiska balansen påverkas då vissa växter gynnas och andra tar skada av muddringen. Om någon växtart konkurreras ut påverkas hela sjön av den förändrade artsammansättningen (Naturvårdsverket, 2010:a). Positiva effekter av vegetationsmuddring är ökad framkomlighet för vattnet och en förbättring av syrgasförhållandena i och med minskad mängd organiskt material. Ökad syrehalt skulle i sin tur gynna det rika fiskbeståndet.

Att avlägsna rotdelarna är den mest effektiva metoden för att begränsa vegetationens utbredning och det enda tillvägagångssättet att bekämpa flytbladsvegetation så som näckrosor. Det är i rotstocken som näckrosor lagrar sin näring och hela rotstocken måste bort för att det ska ge ett varaktigt resultat, därför är vegetationsmuddring ett bra alternativ. Tidpunkten för vegetationsmuddringen är viktig. Muddringen bör utföras under lågvattenperioder för att få så lite grumling som möjligt. Fiskars lekperiod under september-oktober bör undvikas för att minska störningar på fisklivet.

Vid vegetationsmuddring måste valet av maskin anpassas till de förhållanden som råder på platsen, två faktorer som är viktiga att ta hänsyn till är vattendjup och framkomlighet. Vid låga vattendjup och svår framkomlighet är en amfibiemaskin med lågtrycksdäck passande (Limnoteknik, 2010:a). Då vattnet är djupare, ca 0.5-2.0 m, är det lämpligt med en pontonmaskin. Pontonmaskiner är lämpliga då vattenvegetationen är tät och hög enligt Limnoteknik, 2010:b). Det rotmaterial som tas upp kan transporteras bort för att förhindra att näring kommer ut i vattnet. Att sälja röjningsmassorna som biobränsle kan vara en möjlig finansiering av röjningskostnaderna.

4.4.4 Tillstånd och framtidsutsikter

Prognosen för Tämnaren är som det beskrivits i nollalternativen en fortsatt vegetationsutbredning av vass, säv och flytbladsvegetation. Tämnaren befinner sig idag i ett labilt utvecklingskede antingen fortsätter igenväxningen eller så hamnar sjön i ett stabilt

läge.

Förbuskning av våtmarker som upphört att hävdas, kan ske så snabbt som på 5-10 år. Att förutsäga förloppet av förbuskningen är svårt, speciellt för Tämnares där graden av förbuskning varierat mycket genom åren. Tämnares igenväxningsförlopp kommer med största sannolikhet att följa samma vegetationsmönster som Sörsjön. Genom att titta närmare på hur Sörsjön har åldrats kan föråldrandeprocessen för Nordsjön förutspås. Vegetationen kring Sörsjön har dokumenterats under cirka 100 års tid:

1870 - Dominerande vegetation på stränderna, mycket fräken och starr.

1930 - Spridda uppslag av säv och glesa näckrosbestånd, vattenspegel finns fortfarande kvar.

1940 - Sammanhängande vegetationsbälte runt hela sjön.

1970 - Enhetliga vassbälten runt hela sjön.

1973 - Mindre vass till följd av mer sävutbredning.

Efter 1973 - Snabb förbuskning, ung skog, framförallt björk har brett ut sig.

Idag befinner sig Tämnares i samma tillstånd som Sörsjön gjorde ungefär mellan år 1870-1930. Tämnares har idag vattenspegel med starka enartsbestånd som även Sörsjön hade på sent 1800-tal. Spridda rungar av säv har också börjat uppträda, viket tyder på att Nordsjön är något äldre än var Sörsjön var år 1870 (Länsstyrelsen Västmanlands län, 1980). En beräkning av hur vassutbredningen ser ut i nuläget kan ses i faktaruta 2.

Faktaruta 2

Beräkningar över dagens vassbestånd och vassutbredning samt kommande vasstillväxt.

Dagens vassbestånd:

Strandlängd \approx 40 000 m

Medelvassutbredning längs strandkanten \approx 80 m

Total area av vass: $40\,000\text{ m} \times 80\text{ m} = 3\,200\,000\text{ m}^2 = 320\text{ hektar}$

Vasstillväxt:

Strandlängd \approx 40 000 m

Uppskattad förbuskning i form av vass: 0,5-1,0 m/år

Total area av vasstillväxt $\approx 40\,000\text{ m} \times (0,5-1,0)\text{ m/år} = (20\,000-40\,000)\text{ m}^2/\text{år} = 2-4\text{ hektar per år}$

4.4.5 Inloppet till Nordsjön

I viken intill utloppet från Sörsjön till Nordsjön, se figur 17, minskar vattnets hastighet vilket leder till stor sedimentation och igenslamning på denna plats. Vegetationen kan breda ut sig genom att dess rötter lätt får fäste då vattennivån och vattenhastigheten är låg. Vattnet från Sörsjön passerar till Nordsjön via en muddrad kanal, som uppskattats vara ca 600 m lång och 8 - 10 m bred, innan det mynnar ut i viken. Även i denna kanal växer mycket vass som försämrar vattnets framkomlighet. En delåtgärd för att förlänga sjöns livstid är att röja vegetation i utloppet och viken intill, se figur 18. Uppskattningsvis behöver 25 ha vegetationsmuddras.



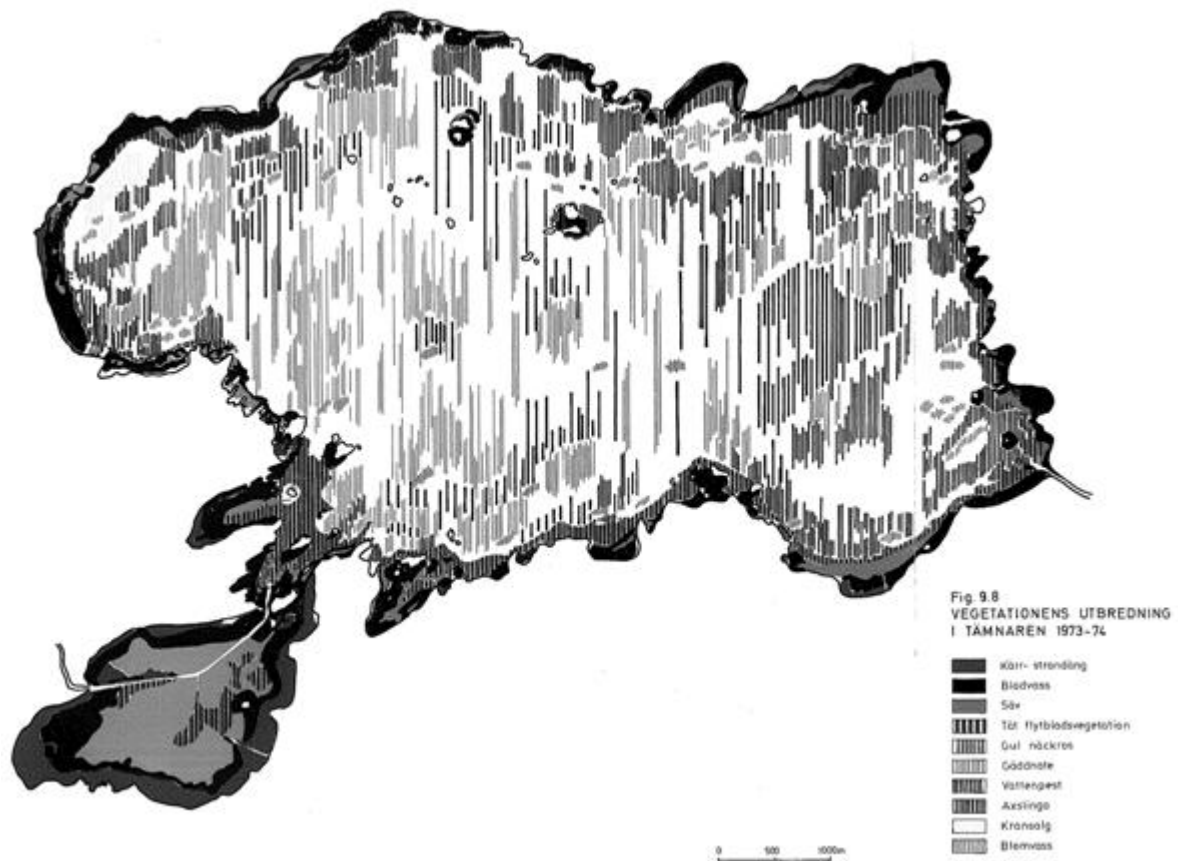
Figur 1: Karta över södra delarna av Tämnaån, med viken inringad. (Karta: www.google.se)



Figur 18: Utbredning av flytbladsvegetation i viken.

Foto: Kiell Tofters

Hela viken är täckt av flytbladsvegetation i form av näckrosor, se figur 18. Längs med kanalen mellan Sörsjön och Nordsjön breder vass ut sig vilket går att urskilja från vegetationskartan, se figur 19.



Figur 19: Vegetationskarta över Tämnamaren (Länsstyrelsen Västmanlands län, 1980).

4.4.6 Åtgärdsplan för vegetationsbegränsning

En årlig röjning av vass på ca 2-4 hektar för att hålla vassbeståndet nere är en åtgärd som är nödvändig för att sjön ska bevaras och ingen snabb förbuskning ska ske. Utökad vassröjning skulle innebära att skötselplanen som finns för området skulle följas i större omfattning. Skötselplanen är skapad för att bevara naturvärden och att följa denna medför därmed positiva effekter för områdets skyddsvärda natur.

En vegetationsmuddring av flytbladsvegetation i viken skulle i sin helhet ha övervägande positiv verkan för Tämnamaren då den skulle innebära en förbättring av syrgasförhållandena, minskad avdunstning och öka framkomligheten för vattnet. Förbättrade syrgasförhållanden skulle gynna det rika fiskbeståndet i sjön då risken för syrebrist minskar.

Vegetationsmuddring och vassavverkning av utloppet och viken skulle tillsammans utgöra en betydande del i en restaureringsplan som skulle resultera i en friskare och mer lättillgänglig sjö.

En förbättrad framkomlighet för vattnet genom att röja vass och annan vegetation i utloppet och viken skulle kunna minska dämningar som uppstår i Sörsjön och förhoppningsvis kunna bidra till en minskning av översvämningarna i Nolmyra. Dock är detta inte en åtgärd som ensamt kan utföras på grund av att det är viktigt att avskilja näringsämnen från vattnet innan det når utloppet och bidrar till en ökad övergödning. I kombination med andra åtgärder skulle det dock vara en ytterst lämplig del i en åtgärdsplan för restaurering av Tämnamaren. Vegetationsmuddring vid enstaka tillfällen kan användas på de mest drabbade områdena för en direkt och långvarig effekt. Kontinuerlig hävd genom röjning kompletterat med bete skulle långsiktigt medföra positiva effekter för bevarandet av naturvärdena och hindra

igenväxning av området. Därför bör även en utökning av bete och röjning utgöra en del av restaureringsplanen för Tämnaren.

Röjningskvantiteter

En beräkning av kvantiteter och kostnad för den årliga vassröjningen har gjorts och kan ses i faktaruta 3. Beräkningarna är baserade på vegetationskartan, se figur 19.

Faktaruta 3

Årlig röjning av vass på 2-4 hektar

Volym vass per kvadratmeter: 20 m² ger 1 m³

En lastbil rymmer ca 50 m³

Prisuppskattning: 200 kr/mil och lastbil + 1000 kr lastning och lossning

20 000m² till 40 000 m² → 1000 m³ till 2000 m³ vass

1000 m³ till 2000 m³ → 20 till 40 Lastbilar

Beräkningsexempel

Vid transport av 1500 m³ vass till en stäcka av 5 mil med 30 lastbilar

30 lastbilar × (1000 kr +(5×200 kr))= 60 000 kr

(Broberg, 2010, pers.komm.)

4.5 Åtgärdsalternativ för Sörsjön

På 1950-talet muddrades kanaler genom Sörsjön från de tre större inloppen. Från det största inloppet från Harboån muddrades en helt rak kanal genom Sörsjön. Drygt halvvägs in i Sörsjön sträcker sig vallar längs med sidorna av kanalen. Kanalerna har lett till att vattnet har svårt att fördela sig i hela sjön och uppskattningsvis cirkulerar vattnet endast aktivt i ca en fjärdedel av sjön, vilket innebär en låg hydraulisk effektivitet. Kanalen från Harboån bidrar till att det inkommande vattnet passerar relativt snabbt ut ur Sörsjön. Detta leder i sin tur till att större mängd näringsämnen och sediment passerar Sörsjön och hamnar i inloppet till Nordsjön istället för att avskiljas och sedimenteras i Sörsjön. Rännorna är med tanke på detta en anledning till de problem som finns i Tämnaren och då den största delen av inflödet går via Sörsjön medför detta att en åtgärd i Sörsjön skulle kunna få en stor positiv inverkan på sjöns allmäntillstånd.

De åtgärder som skulle vara lämpliga att utföra i Sörsjön är framförallt åtgärder som ökar den hydrauliska effektiviteten i sjön, alltså att öka vattnets uppehållstid, samt se till att hela Sörsjön blir utnyttjad för att öka sedimentationen och näringsavskiljningen. Att omvandla Sörsjön till en våtmarksliknande anläggning med sedimentationsfällor kommer troligtvis kunna göra att Tämnarens kritiska situation förbättras och livstiden på sjön förlängs.

4.5.1 Näringsavskiljning och sedimentation

Genom olika processer som sker i en våtmark avskiljs många olika typer av föroreningar. Genom sedimentation avskiljs fosfor och partiklar medan kväve främst reduceras genom denitrifikation. Även nedbrytning av bekämpningsmedel och fastläggning av metaller sker i våtmarker (Lindqvist, 2009). En våtmark bromsar både upp vattenflödet och magasinerar

vatten en tid (Marmolin, 2009), under vilken det sker en retention av närsalter genom olika processer. En våtmark kan därför verka reducerande på kväve- och fosforläckage från omgivande jordbruksmark. Viktiga processer för näringsretentionen är framförallt upptag av växter, sedimentation och denitrifikation.

Hydraulisk effektivitet

Vilken reningseffekt en våtmark har beror till stor del på vattnets rörelse, hydraulik, i våtmarken, samt den hydrologiska belastningen från avrinningsområdet. Hela vattenmassan i en våtmark deltar i verkligheten inte i genomflödet utan det uppstår "döda" zoner där vattnet befinner sig utanför flödesriktningen. Detta förlopp resulterar i att uppehållstiden förkortas på grund av stillastående vatten och den hydrauliska effektiviteten är i detta fall inte så hög. En hög hydraulisk effektivitet uppnås då hela vattenmassan i våtmarken utnyttjas, vilket sker då det inkommande vattnet fördelar sig jämnt över hela våtmarkens yta. Med hjälp av den hydrauliska effektiviteten kan en jämförelse göras mellan hur olika utformningar av våtmarken påverkar dess hydraulik. Den hydrauliska effektiviteten kan bl.a. mätas genom spårämnesförsök (Lindqvist, 2009).

Uppehållstid

Den teoretiska uppehållstiden innebär den tid det teoretiskt tar för vattnet att ta sig från inlopp till utlopp om hela våtmarksvolymen utnyttjas och ingen omblandning sker. Den teoretiska uppehållstiden erhålls genom att dividera våtmarksvolymen med vattenflödet enligt: $t = V/Q$ (där $Q = m^3/s$). Den teoretiska uppehållstiden är nästan alltid längre än den verkliga uppehållstiden. Detta beror på att uppehållstiden kan variera mycket i olika delar av våtmarken på grund av att det uppstår kanalbildningar och, som redan nämnts, zoner där vattnet nästan helt står still. Den verkliga medeluppehållstiden kan erhållas genom spårämnesförsök och då kan även den effektiva (verksamma) volymen beräknas. Den effektiva volymen påverkas av topografi, vind, vegetation, djup och placering av in- och utlopp. Ju större den effektiva volymen är desto längre stannar vattnet i våtmarken och det bidrar i sin tur till en högre hydraulisk effektivitet (Lindqvist, 2009).

En beräkning av omsättningstiden i Sörsjön har gjorts genom följande ekvation:

$$\text{Omsättningstid} = \frac{\text{Volym}}{\text{Flöde}}$$

Beräknade månadsmedelvärden på omsättningstiden för perioden 1995-2009 kan ses i tabell 11 tillsammans med modellerade data för flöden hämtade från SMHI. Beräkningarna har gjorts utifrån två skilda scenarion. Utifrån sjöns dagsläge har antagandet gjorts att endast en fjärdedel av Sörsjöns yta aktivt deltar i utbytet av vattnet. Den andra beräkningen har gjorts med antagandet att hela Sörsjöns yta aktivt deltar. Volymsberäkningar för Sörsjön kan ses i bilaga B och beräkningsexempel för beräkningar av omsättningstiden, samt omsättning i årsmedel för omsättningstiden kan ses i bilaga C.

Tabell 11: Beräknad omsättningstid månadsvis

Månad	Omsättningstid (dygn)	Omsättningstid (timmar)	Omsättningstid ¼ av sjön (dygn)	Omsättningstid ¼ av sjön (timmar)	Flöde (m ³ /s)
Januari	1,17	28,1	0,56	13,4	5,18
Februari	1,08	25,9	0,52	12,5	5,60
Mars	1,00	24,0	0,48	11,5	6,07
April	1,19	28,6	0,57	13,7	5,10
Maj	2,49	59,8	1,20	28,8	2,44
Juni	5,06	121	2,43	58,3	1,20
Juli	6,13	147	2,95	70,8	0,99
Augusti	8,20	197	3,94	94,6	0,74
September	10,8	259	5,21	125	0,56
Oktober	6,13	147	2,92	70,8	0,99
November	2,17	52,1	1,04	25,0	2,80
December	1,42	34,1	0,68	16,3	4,28

Omsättningstiden skulle i medel bli ca 2 dygn om hela vattenvolymen skulle medverka i vattenutbytet. I dagsläget är troligtvis omsättningstiden endast hälften så stor. Denna uppehållstid baseras på ett antagande att vattnet endast flödar aktivt i ca ¼ av sjön. I tabellen kan dock ses att omsättningstiden varierar ganska kraftigt under året. Under perioder med höga flöden blir naturligtvis omsättningstiden mycket kortare, vilket främst sker på våren vid snösmältning. På hösten är nedbrytningen av organiskt material större än växtproduktionen och kväveläckaget blir då större. Omsättningstiden av vattnet är längre på hösten, vilket är positivt för näringsavskiljningen.

Sedimentation

Sedimentation är en process då suspenderat material sjunker till botten. Eftersom fosfor, kväve och även tungmetaller delvis är bundna till partiklar kan vattnet renas från dessa ämnen genom sedimentation. Sjunkhastigheten för sfäriska partiklar kan beräknas genom Stokes lag ($V_s = \frac{1}{18} \frac{g(\rho_s - \rho_w) d_m^2}{\rho_w \nu}$). Sedimentationen bestäms i sin tur av partiklarnas

sjunkhastighet och vattnets hastighet, ju större partiklar och lägre vattenhastighet desto mer sedimentation kommer hinna ske, således gynnas processen av långsamma vattenflöden.

Partiklar i en våtmark är ofta av varierande storlek, form och densitet och därför kan Stokes lag inte tillämpas i dessa fall utan sedimentationen måste bestämmas experimentellt. Faktorer som kan ha inverkan på sedimentationen är flödesbelastning, växtlighet, vind samt koncentrationen av partiklar i inflödet till våtmarken.

Vegetation har i sig ingen inverkan på sedimentationshastigheten däremot kan växtlighet hålla kvar sediment och på så sätt minska resuspension som kan skapas av vinden. Sedimentationen kan även påverkas av den rådande temperaturen. I Bäckalöv våtmark, Växsjö, uppmättes en avskiljning av partiklar på 80 % respektive 49 % under sommaren 1997 respektive vintern 2003, vilket tyder på att sedimentationen under vintern är minskad (Florberger, 2006).

Att förutsäga var och på hur stor yta som sedimentationen äger rum i en våtmark är omöjligt. Undersökningar som gjorts visar dock att sedimentationen är störst närmast inloppen och att mer än 50 % av sedimenten hamnar på 30 % av våtmarkens yta (Marmolin, 2009). Sedimentationen har i första hand betydelse för fastläggning av oorganiskt bunden fosfor. Det är mycket svårt att bestämma fosforretentionen i våtmarker där flödet och koncentrationen varierar. En studie över fosforretentionen i våtmarker anlagda i Norden visade att avskiljningen var mellan 30-50 % av belastningen för grunda våtmarker och mellan 7-20 % av belastningen för dammar (Ivarsson, 2005).

Sedimentationstid

Beroende på storlek och form sedimenterar partiklar med olika hastighet. Tabell 12 visar den tid det tar för en partikel att sjunka en meter i stillastående vatten. I rinnande vatten uppstår ofta turbulens, vilket gör att sedimentationstiden blir mycket längre. Vattnets uppehållstid i våtmarken spelar därför en stor roll för hur stor andel av partiklarna som sedimenterar. Under våren då flödet är störst sker ofta även den största transporten av material vilket ställer till problem eftersom vattnets omsättningstid i våtmarken är som kortast under denna period.

Tabell 12: Jordarteremas indelning efter kornstorlek (diameter) samt sedimentationstid (sedimentationstid = den tid det tar för en partikel att sjunka 1 meter i stillastående vatten) (Jordbruksverket 2004).

Fraktion	Diameter (mm)	Underavdelning	Sedimentationstid (tid/m)
Grus	20 - 6	Grovgrus	1 sekund
	6 - 2		
Fingrus	2 - 0,6	Grovsand	10 sekunder
	0,6 - 0,2	Mellansand	
Mo	0,2 - 0,06	Grovmo	2 minuter
	0,06 - 0,02	Finmo	
Mjåla	0,02 - 0,006	Grovmjåla	2 timmar
	0,006 - 0,002	Finmjåla	
Lera	0,002 - 0,0006	Grovlera	8 dygn
	0,0006 - 0,0002	Finlera	

Sedimentationsprocessen gynnas av att våtmarken är grund eftersom partiklarna då snabbare når botten. Tillgången på syre är även bättre på grunda bottenar och detta ökar möjligheten att fosfat binds till järn- och manganoxider i sedimenten. Däremot ökar risken för utsköljning av sediment i grunda våtmarker. Sedimentationshastigheten och bindningen av fosfor till aggregat ökar om tillgången på organiskt material i sedimenten är god. Dock kan fosfat frigöras om syrebrist uppstår, något som kan hända vid nedbrytning av organiskt material (Jordbruksverket, 2004).

I en undersökning från 1992 av vindpåverkad resuspension erhöles följande kornstorleksfördelning i bottenmaterialet i Tämnaren: d_{20} 0,0002 mm, d_{50} 0,002 mm, d_{80} 0,02 mm och d_{95} 0,33 mm (Bengtsson, 1992). I tabell 13 delas dessa fraktioner upp efter korndiametern enligt tabell 12.

Tabell 13: Tämnarens bottenmaterials fraktioner enligt tabell 2.

Fraktion	Procent (%)	Sedimentationstid (tid/m)
Grus till fingrus (>0,33 mm)	5	1 till 10 s
Fingrus till mo (0,33 - 0,02 mm)	15	10 s till 2 minuter
Mjåla (0,02 – 0,002 mm)	30	2 timmar
Lera (0,002 – 0,0002 mm)	30	8 dygn
Mindre än ler (<0,0002 mm)	20	> 8 dygn

Bland de kornstorlekar som återfinns i Tämnarens bottenmaterial har de två största fraktionerna en sedimentationstid på 2 timmar respektive 8 dygn. Dessa tider gäller för sedimentation i stillastående vatten och kan inte antas gälla i en sjö eller våtmark där vattnet flödar. Däremot ger det en bild av hur en ökad uppehållstid i Sörsjön skulle öka sedimentationen, även av de fraktionerna med längre sedimentationstider. Åtgärder som gör att sedimentationen ökar i Sörsjön kommer att göra att belastningen på utloppet till Nordsjön och Tämnaren minskar.

Denitrifikation

Kväve når våtmarker i form av nitrat eller ammonium. Nitrat är en vattenlöslig jon och avskiljs främst genom denitrifikationen, men även genom växtupptag. Den positiva jonen som ammonium utgör kan absorberas till negativt laddade markpartiklar, men vid god syretillförsel ingår ammonium i nitrifikationsprocessen ($\text{NH}_4^+ + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + 2 \text{H}^+$) vid vilken ammonium omvandlas till nitrat. Nitrifikationen är en viktig process eftersom den skapar förutsättningen så att ammonium kan avskiljas. Kväve binds dock inte i lika stor utsträckning som fosfor till partiklar och sediment (Florberger, 2006).

Då 85-90 % av det kväve som kommer från jordbruksmark utgörs av nitrat (Jordbruksverket, 2004) är denitrifikationsprocessen den viktigaste för kväveretentionen. Genom denitrifikation omvandlas kväve i form av nitrat till ofarlig kvävgas som avgår till luften, $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$. Omvandlingen sker med hjälp av denitrifikationsbakterier vilka gynnas av syrefattiga miljöer med stor tillgång på organiskt material. Växternas blad och stammar erbjuder denna gynnsamma miljö, vilken kallas för biofilm. Denitrifikationen kan vid vissa förhållanden bli ofullständig och kvävet reduceras då inte helt till kvävgas utan slutprodukten blir istället nitrit och lustgas. Ofullständig denitrifikation kan förekomma då pH ligger kring 4-5, temperaturen är låg och miljön syrefattig. Sörsjön är grund vilket underlättar syresättningen och dess vatten har ett neutralt pH. Dessa förhållanden är gynnsamma ur denitrifikationssynpunkt och därför är risken att kväveavskiljningen i Sörsjön avstannar vid bildning av nitrit och lustgas mindre.

Denitrifikationsbakteriernas tillväxt gynnas av temperaturer mellan 15-30°C, men det har visat sig att processen även fungerar vid temperaturer ned till noll grader. Denitrifikationen gynnas alltså av ett varmare klimat, men även våtmarkens omsättningstid, hydraulik samt näringsbelastning har stor inverkan på denitrifikationen. Ju längre tid som vattnet uppehåller sig i våtmarken desto mer tid har denitrifikationsbakterierna på sig att omvandla nitrat till kvävgas. Denitrifikationen ökar även vid ökad belastning av nitratkväve. När den hydrauliska effektiviteten är hög sprids det inkommande vattnet över så stor del som möjligt av våtmarken vilket gör så att fler denitrifikationsbakterier kan medverka i processen (Jordsbruksverket, 2004).

Kvantitativ uppskattning av kväveretention

Det är svårt att beräkna hur stor avskiljning som verkligen sker i våtmarken eftersom flödet och halterna närsalter i det tillrinnande vattnet varierar under året. Under hösten när nedbrytningen av organiskt material är större än tillväxten ökar halterna kväve i sjöar och vattendrag jämfört med våren då växtproduktionen är som störst. I tabell 14 redovisas en sammanfattning av resultaten från ett antal studier över kväveavskiljning i våtmarker (Tonderski, 2002). Det ska dock noteras att osäkerheten i dessa data är väldigt stor.

Tabell 14: *Kväveavskiljning i våtmarker via olika processer (Tonderski, 2002).*

Mätmetod/process	Kg N ha⁻¹år⁻¹
Massbalansstudier	0-7 000
Denitrifikation i sediment/jord	0-4 600
Denitrifikation i biofilm på undervattenväxter och trådalger	8-2 900
Upptagning av akvatiska växter	30-300
Upptagning av planktonalger	10-40
Sedimentation	?

4.5.2 Belastning och avskiljning

Som ett mått på hur många kilo kväve och fosfor som transporteras in i våtmarken används belastningen. Denna uttrycks på årsbasis och per ytenhet (kg ha⁻¹år⁻¹). Det har dokumenterats vid flertalet undersökningar att det råder ett positivt samband mellan belastning och retention av näringsämnen i en våtmark. Med andra ord erhålls en större avskiljning när belastningen är hög. Den kväveavskiljande förmågan gynnas av att inkommande vatten kommer från ett stort odlat tillrinningsområde och att vattnet har en hög kvävehalt (Länsstyrelsen Hallands län, 2005). För att anläggandet av en våtmark ska vara motiverat rent kostnadseffektivt bör medelkoncentrationen av det inkommande kvävet vara minst 5 mg N/l (Jordbruksverket, 2004). Detta baseras på att marken har ett alternativt värde som exempelvis livsmedelsproduktion. I fallet med Sörsjön handlar det inte om att ändra markanvändningen utan att använda den nuvarande på ett effektivare sätt, vilket motiverar åtgärder gällande näringsavskiljning och sedimentation.

Värden på transporten av kväve och fosfor från Harboån till Sörsjön har modellerats av SMHI och dessa kan ses i tabell 15. Noteras bör att de modellerade värdena för fosfortransport har visats sig vara lägre än mätdata. Vad det beträffar modellvärdena för kvävetransport kan inget sägas eftersom mätdata saknas.

Tabell 15: Årsmedelvärden för vattenföring och kväve- respektive fosfortransport in till Sörsjön beräknat utifrån modellerad data för åren 2000-2009 (SMHI Homer, 2010).

Utloppspunkt i område:	666708-158205		
	Vattenföring [m ³ /s]	Kvävetransport [kg]	Fosfortransport [kg]
2000	3,38	193649	3929
2001	3,18	157375	1963
2002	3,62	223102	2794
2003	2,36	136600	2140
2004	2,45	145544	1523
2005	2,00	106515	1060
2006	2,99	179229	2818
2007	2,41	132800	1728
2008	4,09	262268	3751
2009	2,89	134110	1732

Medelkvävetransporten till Sörsjön under åren 2000 till och med 2009 var enligt modellerade data ca 167 ton per år. Följaktligen var den ytspecifika kvävebelastningen på Sörsjön under dessa år i snitt 1,034 ton N per hektar och år. I nuläget är det fosfor som är den begränsande faktorn för ökad tillväxt i sjön. Medelfosfortransporten till Sörsjön var enligt modelldata 2,3 ton per år, detta värde är dock antagligen för lågt. Genom att anpassa värdet utifrån mätvärden från 80-talet skulle medelfosfortransporten snarare vara ca 3,6 ton fosfor per år (Lindgren, 2010, pers.komm.). Med detta värde skulle medelvärdet för den ytspecifika fosforbelastningen på Sörsjön vara 22,3 kg P per hektar och år. Eftersom dessa värden baseras på modellberäkningar ger de en grov uppskattning med stor osäkerhet.

Uppfattningarna om möjlig kvävereningseffekt i en våtmark är många och varierar som tidigare nämnts inom vida gränser beroende på placering och utformning. Med en area på 1,614069 km² skulle Sörsjön i egenskap av våtmark uppskattningsvis ha en reningseffekt på 24,2-32,3 ton N/år. Detta värde baseras på en genomsnittlig reningseffekt på 150-200 kg N ha⁻¹år⁻¹ som gjorts av Jordbruksverket och värdet bör ses som en generalisering.

Enligt en restaureringsplan för Hallsjön gjord av WRS och HS konsult AB från 2009 har de uppskattat, utifrån erfarenheter från fem olika våtmarker i mellersta och södra Sverige, att en våtmark på 50 ha förväntas avskilja 50-100 kg fosfor och 1-1,5 ton kväve per år. Hallsjön är en utdikad sjö i anslutning till Vretaån som övergår till Harboån (Andersson et al., 2009). Jämförelse med dessa värden kan med tanke på att de ligger i anslutning till varandra ge rimliga uppskattningar på avskiljningen i Sörsjön. Avskiljningen förväntas då bli ca tre gånger större än de ovan angivna värdena. För att vattnet som passerar Lindstadammen ska uppnå god status med avseende på fosfor skulle ca 700 kg fosfor (Lindgren, 2010, pers.komm.) av de 3,6 ton som passerar per år behöva sedimentera eller bindas upp i växter.

I fallet att utnyttja Sörsjön som våtmark måste hänsyn tas till att dess placering är fix och det som kan förbättra näringsretentionen är att skapa en högre hydraulisk effektivitet i sjön och därigenom öka vattnets uppehållstid.

4.5.3 Åtgärder i Sörsjön

Det största problemet i Sörsjön är som tidigare diskuterats framförallt rännan som är muddrad från Harboån. Denna bidrar till höga inflöden i Sörsjön och att vattnet inte har möjlighet att sprida sig över hela sjöns yta, samt att vattnet inte har möjlighet att sanna av för sedimentation och näringsavskiljning. En åtgärd som innebär omformningen eller borttagning av denna ränna är därför aktuellt att utföra.

Det finns flera lämpliga åtgärder som skulle kunna utföras i Sörsjön. Önskvärt är dock att åtgärden resulterar i att hela Sörsjön utnyttjas, så att så lite "döda zoner" som möjligt förekommer och att en hög hydraulisk effektivitet uppnås. För att uppnå detta är det viktigt att in- och utlopp inte ligger för nära varandra för att undvika att vattnet tar den kortaste vägen. Enligt rekommendationer från jordbruksverket kan risken för detta minskas om det strax efter inloppet placeras en tröskel eller ö (Jordbruksverket, 2004). Efter diskussioner med kontaktpersoner från bl.a. länsstyrelsen och Jonas Andersson på WRS har följande förslag på åtgärdsalternativ i Sörsjön studerats närmare:

Alternativ 1. Utnyttja den nuvarande rännan

Denna åtgärd innebär att den nuvarande rännan används, men nya utlopp grävs eller muddras från kanalen så att vattnet har möjlighet att spridas ut till större delar av sjön, för principskiss se figur 20. På detta vis kan sedimentationen och näringsavskiljningen ökas. Vid utformandet av de nya kanalerna måste det ses till att vattnet får ett naturligt flöde ut i dessa så att vattnet inte tar den lättaste vägen rakt ut i den befintliga rännan.



Figur 20: Principskiss för åtgärdsförslag 1. (Karta: www.google.se)

Alternativ 2. Gräva igen rännan och muddra nya utlopp från Harboån

Denna åtgärd innebär att den delen av den nuvarande rännan som finns i Sörsjön och grävs igen och sedan muddras flera nya utlopp, ca 5 stycken totalt, från Harboåns utlopp. Detta skulle ge en bra spridning på vattnet över hela Sörsjön och den hydrauliska effekten skulle öka. En principskiss över åtgärden kan ses i figur 21.



Figur 21: Principskiss över åtgärdsförslag 2. (Karta: www.google.se)

Alternativ 3. Gräva igen rännan och muddra ett nytt inlopp till Sörsjön från Harboån

Tanken med denna åtgärd grundades vid kontakt med Martin Larsson på Vattenmyndigheten och innebär att gräva ett nytt utlopp från Harboån in i Sörsjön. Genom placeringen av det nya utloppet i Sörsjöns sydligaste del har vattnet möjlighet att flöda på ett bra sätt genom sjön och större delar av sjöns yta kan utnyttjas på ett naturligt sätt (Larsson M, 2010, pers. komm). En principskiss kan ses i figur 22. En risk kan dock finnas att det mesta vattnet flödar den lättaste vägen rakt fram genom Sörsjön, men detta skulle kunna lösas med ex. öar i mitten av sjön så att vattnet tvingas sprida sig utåt kanterna.

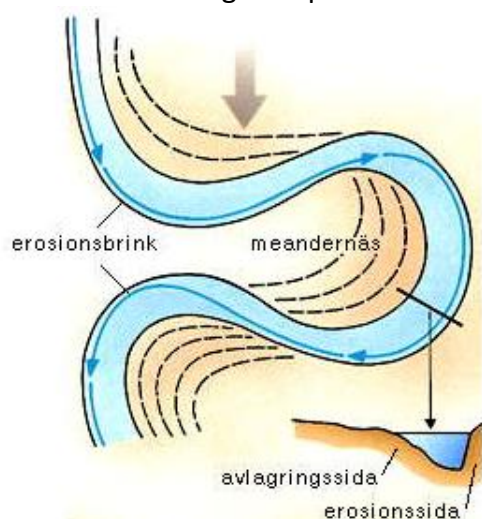


Figur 22: Principskiss över åtgärdsförslag 3. (Karta: www.google.se)

Meandrande vattenföring

Syftet med att skapa en meandrande vattenföring är att förbättra vattenmiljön och att öka den biologiska mångfalden. För vattnet är det ett naturligt tillstånd att röra sig i en slingrande form och det ger en ökad syreblandning. Vattnets rörelse i ett meandrande vattendrag skapar syrefattiga och syrerika partier. Detta ger goda förutsättningar för nitrifikation och denitrifikation, processer där kväve avgår som ofarlig kvävgas till atmosfären (Wikipedia, 2010:a). Sedimentation sker där vattnet rinner långsamt. Genom att uppehållstiden ökar för meandrande vattendrag gynnas sedimentationen och vattnet kan renas från fosfor.

I meanderbågarnas ytterkurvor ligger den högsta strömhastigheten som i figur 23 symboliseras med de blåa pilarna. Ytterkurvorna utsätts för erosion medan sedimentation i större utsträckning sker på den sidan med lugnare vatten (NE, 2010:a).



Figur 23: Meanderränna (NE, 2010:a).

Följande tre alternativ är exempel på hur en meandrande vattenföring i Sörsjön kan skapas:

Alternativ 4. Meanderränna

Detta alternativ går ut på att muddra en meanderränna genom Sörsjön med diametern 60x1,2 meter och en ungerfärlig längd på 6 km enligt figur 24. Detta skulle innebära att cirka 300 000 m³ muddringsmassor skulle behöva avlägsnas från sjön om medeldjupet antas vara 0,32 m. Dessa dimensioner är endast ett exempel på hur en ränna skulle kunna utformas, noggrannare beräkningar bör utföras innan ett eventuellt genomförande.



Figur 24: Figuren visar den planerade rännans utformning i Sörsjön (Karta: www.google.se).

Detta alternativ skulle utifrån beräkningar på vattnets nuvarande uppehållstid kunna ökas cirka 1,7 gånger under förutsättning att allt vatten rör sig i rännan. Om inga vallar byggs längs rännans sidor kommer vattnet inte enbart röra sig i rännan, vilket leder till att vattnet kommer fördela sig i hela Sörsjön och den egentliga uppehållstiden blir något längre.

Sedimentationen i rännan kommer främst ske i innerkurvorna där vattnets hastighet är lägre än i övriga delar av rännan, se figur 23. Hastigheten är som högst i ytterkurvorna, därför sker ingen sedimentation där utan snarare erosion. För att öka sedimentationen kan utstickande fåror på sidorna av meanderrännan grävas så att bakvatten bildas och vattenhastigheten minskar så att sediment kan avsättas.

Underhållet av rännan behöver ske kontinuerligt, främst där sedimentationen är som störst. Hur ofta extra muddring skulle vara nödvändigt är svårt att säga då inga modelleringar av utformningen genomförts.

Alternativ 5. Vallar

Ett annat alternativ för att uppnå de fördelar som ett meandrande vattendrag medför är att uppföra vallar i Sörsjön för att tvinga vattnet att röra sig i en slingrande väg (Andersson, 2010, pers. komm). Vattnet skulle ledas om från Lindstadammen till utloppet från Sörsjön, se figur 25. Den muddrade rännan som i nuläget finns i Sörsjön skulle på något sätt behöva bearbetas och därefter skulle vallar uppföras.



Figur 25: Satellitbild över Sörsjön med principskiss på vallarna. (Karta: www.google.se)

En fördel med meandrande vattenföring är att den ger en minskad risk för dämning uppströms. Simuleringar vid olika flöden skulle dock vara lämpliga att utföra för att avgöra om en dämmande effekt skulle kunna uppkomma. För både alternativ 4 och 5 skulle den nuvarande omsättningstiden som uppskattats till 23,3 timmar förlängas. Med den förlängda uppehållstiden och den slingrande vattenföringen erhålls större näringsavskiljning och sedimentation i Sörsjön.

Alternativ 6. Flytväggar

Ytterligare ett alternativ för en meandrande vattenföring och rening av vattnet från kväve och fosfor är flytväggar. En flytvägg är till exempel en plastvägg som förankras i botten och hålls flytande med hjälp av bojar. Järven AB som tillverkar flytväggar anger att fosfor kan reduceras med 65 % och kväve kan reduceras med 50 % (Järven AB, 2009). Detta är ett alternativ som det rekommenderas att undersöka närmare eftersom att ingreppet inte skulle behöva vara lika stort som för alternativ 4 och 5.

Näringsavskiljning

Beräkningar av vilken effekt på näringsavskiljningen åtgärderna skulle få har inte kunnat utföras. Detta då många olika faktorer inverkar och någon ekvation för beräkningar av upptaget inte påträffats i studierna. En meandrande vattenföring skapar, som tidigare nämnts, goda förutsättningar för framförallt kväveavskiljning.

4.5.4 Skötsel av våtmark

Växterna i våtmarken ackumulerar under sin växtperiod näringsämnen i sin biomassa. Ett sätt att minska mängderna kväve och fosfor är därför att skörda bort vegetationen från våtmarken. Denna röjning får dock inte påverka denitrifikationen och sedimentationen negativt utan den skötsel som sker bör vara inriktad på att öka den effektiva ytan och vattnets omsättningstid i våtmarken. Våtmarkens reningsförmåga kan minskas om skörd av vattenväxter minskar ytan för biofilmen eller att växternas förmåga att dämpa flödes hastigheten och resuspensionen försämras.

En grund våtmark där det sker en stor sedimentation kommer så småningom att grundas upp. Den fosfor som fastlagts i sedimenten kan även börja läcka ut vid t.ex. ändrade

syrgasförhållanden. Det kan av dessa anledningar bli nödvändigt att gräva bort sediment. Hur ofta utgrävningarna måste ske beror på det ursprungliga djupet och belastningen av partiklar. I våtmarker med mycket stor belastning antas pålagringen av sediment i snitt uppgå till en centimeter per år. Detta skulle innebära en uppgrundning med 0,5 meter på 50 år. Bortgrävningen av sediment kan inverka negativt på denitrifikationen. Med en djuphåla strax efter inloppet kan den del där sediment måste grävas bort begränsas och på så sätt minska de negativa effekterna (Jordbruksverket, 2004).

4.5.5 Tillstånd

Åtgärderna som är tänkta att utföras i Sörsjön kommer på ett eller annat sätt att innebära muddring eller grävning, vilket är något som kräver tillstånd. Tillståndet prövas utifrån syftet med åtgärden och fördelar och nackdelar vägs mot varandra. Restaurering av vattendrag är en tillståndspliktig vattenverksamhet, som definieras i kap.11 § 2 MB, enligt kap. 11 § 9 MB. Tillståndet söks av fastighetsägaren som har förfogande över vattnet där åtgärden ska utföras. Enligt kap. 2 § 5, Lagen med särskilda bestämmelser om vattenverksamhet, kan t.ex. kommunen eller vattenförbund överta förfogandet över vattnet vid särskilda intressen och därmed ansöka om tillstånd för vattenverksamhet.

Ansökan lämnas skriftligt in till miljödomstolen efter att samråd med Länsstyrelsen utförts i ett tidigt skede enligt kap. 6 § 4 MB. Länsstyrelsen bedömer om verksamheten kommer att medföra en betydande miljöpåverkan och om så är fallet ska även ett utökat samråd hållas. Ansökan skall innehålla följande:

- Uppgifter, ritningar och tekniska beskrivningar i relevant omfattning
- Uppgifter för att bedöma hur de allmänna hänsynsreglerna kommer att följas
- Förslag till förebyggande eller avhjälpande av olägenhet från verksamheten
- Förslag till hur verksamheten ska kontrolleras
- En miljökonsekvensbeskrivning (kap. 6 MB)
- Uppgifter om samrådet

Vattenverksamheten måste även uppfylla miljöbalkens allmänna hänsynsregler (kap. 2 MB) och vara samhällsekonomiskt lönsam för att tillåtas (kap. 11 § 6 MB). Miljödomstolen bedömer därefter om verksamheten är tillåtlig och eventuella villkor för utförandet av vattenverksamheten. Länsstyrelsen är tillsynsmyndighet för vattenverksamheter och kan följa upp de krav och villkor som blivit fastställda i tillståndsbeslutet (Rent vatten, 2005).

4.5.6 Finansiering

Troligtvis finns det en hel del bidrag att söka, t.ex. från Länsstyrelsen, kommunen och EU, för olika åtgärder som kan tänkas göras i och intill Sörsjön. Här ges ett relevant exempel på bidrag som kan sökas. Bidraget kallas för LOVA och står för lokala vattenvårdsprojekt. LOVA är ett nytt bidrag beslutat av regeringen och skall bidra till att minska mängden kväve och fosfor i Östersjön och Västerhavet. Syftet med bidraget är att få fram lokala åtgärder som kan förbättra havsmiljön genom att minska belastningen av näringsämnen från exempelvis skogs- och jordbruksområden.

Bidraget kan sökas av kommuner, ideella sammanslutningar och kombinationer av dessa. Till ideella sammanslutningar räknas de som driver verksamhet utan vinstsyfte, vilket även kan vara kommunala bolag och ekonomiska föreningar som har samma linje. Vad gäller finansiering och genomförande av åtgärderna kan den sökande samarbeta med andra aktörer exempelvis kommun och jordbrukare i kommunen eller flera kommuner runt ett

specifikt avrinningsområde. Bidraget söks hos länsstyrelsen i det län där projektet skall genomföras.

Troligtvis kommer 120 miljoner att delas ut som LOVA-bidrag under 2011 och bidraget kommer att kunna sökas under hösten 2010. Naturvårdsverket har beslutat om en procentuell fördelning av LOVA-medlen för olika län baserad på den geografiska fördelningen och kunskaper om den befintliga uttransporten av näringsämnen från antropogena källor till Östersjön och Västerhavet.

Bidraget kan sökas för åtgärder som minskar utsläppen av kväve och fosfor från jord- och skogsmarker, enskilda avlopp och reningsverk, så kallade orsaksbehandlande åtgärder. Åtgärder som är symtombehandlande kan också sökas bidrag för, vilket är åtgärder som minskar det fosfor och kväve som redan har nått eller kommer att nå haven. Bidrag kan även ges till planering av åtgärder som kommer minska fosfor och kvävebelastningen (Naturvårdsverket, 2010:b).

4.5.7 Diskussion

Våtmarksalternativen 1 till 3 kommer troligtvis ha störst positiv effekt för att fånga upp fosfor, kväve och organiskt material. Risken med dessa alternativ är att det vid höga flöden eventuellt kan uppkomma en dämningseffekt uppströms. För att underlätta vattnets väg genom Sörsjön, men ändå bibehålla en god reningseffekt är alternativ 3 till 6 möjliga modifieringar av vattnets strömning.

Enligt de uppskattningar som gjorts, utifrån exemplet från Hallsjön, av de kvantiteter som kan komma att avskiljas i Sörsjön är avskiljningen inte tillräcklig för att vattnet som kommer in i Sörsjön ska uppnå god status med avseende på fosfor. Därför kan ytterligare åtgärder bli aktuella, exempelvis kan mindre våtmarker uppströms Sörsjön bidra till minskat tillflöde av näringsämnen och sediment.

Åtgärden att endast ta bort eller omforma rännen från Harboån kommer givetvis att ha en stor positiv effekt på sedimentationen och näringsavskiljningen i Sörsjön och bidra till att förhållandena i Nordsjön förbättras avsevärt. Den stora igenslamningen i utloppet till Nordsjön kommer troligtvis att avstanna drastiskt och på så vis minska bottenhöjningen och igenväxningen i Nordsjön. Det som motiverar ytterligare åtgärder för att förlänga vattnets uppehållstid är att vattnet helst tar den lättaste och snabbaste vägen genom sjön. Största delen av vattnet kommer föredra att rinna i mitten av Sörsjön och inte ut vid kanterna om vegetationen där är hög. För att våtmarksalternativen ska fungera på ett tillfredsställande sätt är det viktigt att vattnet transporteras över så stora delar av sjön som möjligt och att kanalbildning med "döda" zoner som följd undviks. Detta kan uppnås genom att få vattnet att ta en meandrande väg genom sjön runt konstruerade hinder så som öar. Analyser av hur stor effekt som vill uppnås med åtgärderna är därför mycket viktiga innan ett beslut tas om vilken åtgärd som skall genomföras.

Omfattande studier så som platsundersökning måste även göras för att analysera hur åtgärderna tekniskt bör utformas för att undvika att göra alltför stora ingrepp med muddring och grävning i sjön. Bland annat måste sedimenten analyseras, hur djupet skiljer sig i sjön, hur vattnet flödar in och ut och hur stor kapacitet som behövs för att uppnå den önskade effekten av sedimentation och näringsavskiljning. Analyserna krävs för att finna en så kostnadseffektiv lösning som möjligt och för att undvika att göra onödigt stora ingrepp.

Alla åtgärder oavsett om enbart rännan ändras eller om en meandrande väg genom sjön skapas kommer att innebära muddring, grävning och röjning i olika omfattning. Dessa ingrepp behövs för att få vattnet att rinna i rätt riktning och inte dämmas upp. När Sörsjön på detta sätt används som en form av fälla för sediment och näringsämnen kommer det givetvis även att krävas ett visst underhåll för att Sörsjön ska bibehålla sin reningsförmåga. Ett underhåll kan bli aktuellt var tionde till tjugonde år beroende på hur åtgärderna utformas och hur stor belastningen är på sjön. För att underlätta ett framtida underhåll, samt minska kostnaderna, är det viktigt att utformningen av åtgärderna planeras väl så att sedimentfällorna kan placeras lättåtkomligt. (Andersson, 2010)

5 Slutsats

För att få ett minskat inflöde av näringsämnen och suspenderat material i Nordsjön bör åtgärder för att öka den hydrauliska effektiviteten i Sörsjön vidtas. I dagsläget är det stora problemet den muddrade rännan som leder vattnet direkt ut i sjön och därmed förkortar vattnets uppehållstid. Det alternativ som anses mest lämpligt för att komma till rätta med det problemet är att först och främst förändra inloppet till Sörsjön från Harboån så att vattnet leds ut till en större del av sjön. Enligt de uppskattningar som gjorts av de kvantiteter som kan komma att avskiljas i Sörsjön är avskiljningen inte tillräcklig för att vattnet som kommer in i Sörsjön ska uppnå god status med avseende på fosfor. Därför kan ytterligare åtgärder bli aktuella, exempelvis kan mindre våtmarker uppströms Sörsjön bidra till minskat tillflöde av näringsämnen och sediment.

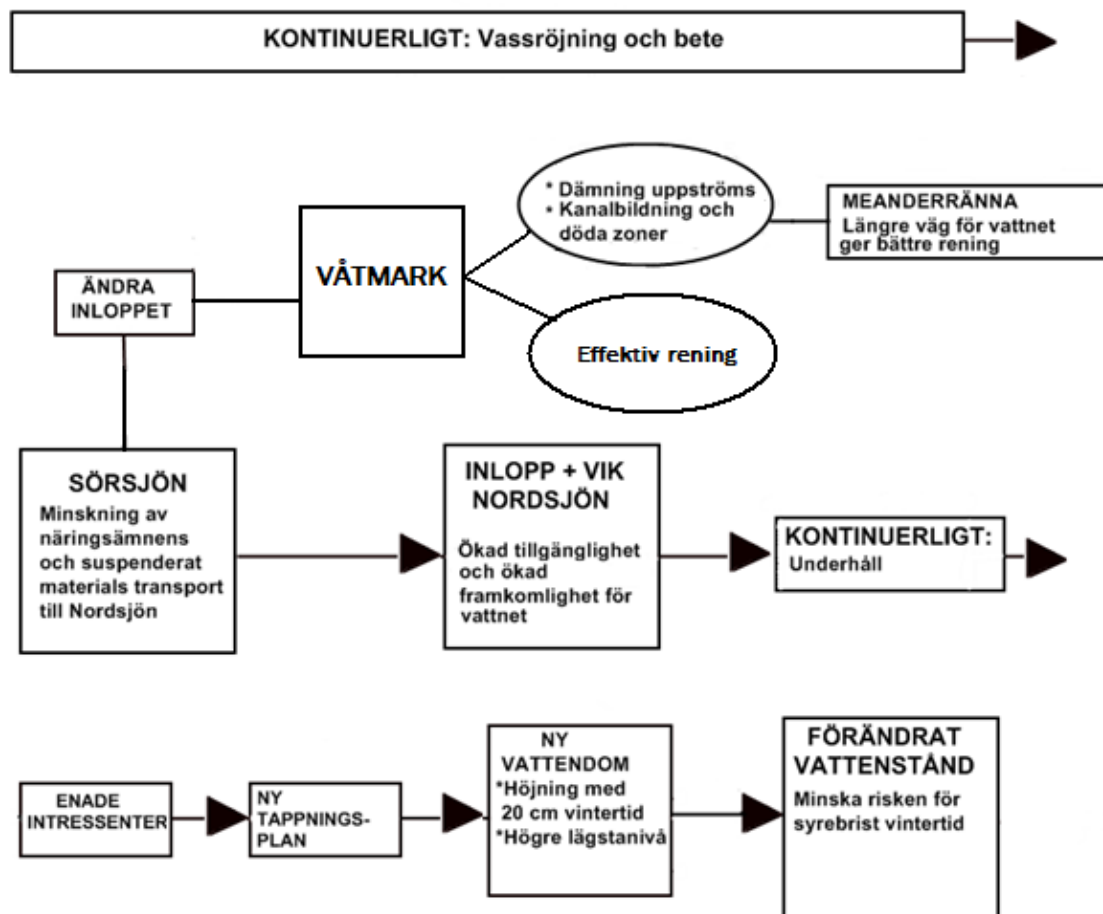
För att öka vattnets framkomlighet vid inloppet till Nordsjön är röjning av vegetation en åtgärd som bör utföras i detta område. Vassröjningen skulle ge positiva effekter för naturvärdena och vegetationsmuddringen skulle förbättra syrgasförhållandena i sjön vilket är positivt för fiskbeståndet. Att röja bort vass och genomföra en vegetationsmuddring skulle även öka vattnets hastighet in till Nordsjön. Den ökade hastigheten skulle kunna minska översvämningarna i Nolmyra. När hastigheten på vattnet ökar kan mer näringsämnen och suspenderat material komma ut i Nordsjön. För att röjning ska ge en positiv verkan för Tämnaren är det därför först nödvändigt att vidta åtgärderna i Sörsjön så att kvalitén på det inkommande vattnet förbättras. Kontinuerlig röjning av vegetation och tillämpat bete skulle öka tillgängligheten till Tämnaren. Det skulle också sakta ner igenväxningsförloppet vilket skulle förlänga livstiden på sjön.

Ett högre vattenstånd än vad som i dagsläget är tillåtet enligt rådande vattendom skulle vara gynnsamt för Tämnaren. En ny tappningsplan som undviker lägsta nivåer och ger en höjd vattennivå med 20 cm vintertid skulle förbättra syrgasförhållandena i sjön och även kunna förhindra ökade översvämningar till följd av en sådan höjning. För att detta ska vara genomförbart krävs en ny vattendom vilket endast är möjligt om alla intressenter kring sjön är eniga.

Invallningar skulle hindra att näringsämnen från översvämmade jordbruksmarker transporteras ner i sjön samtidigt som de medverkar till att mer mark blir odlingsbar. Det är dock tveksamt om invallning är ekonomiskt lönsamt och det är inte heller realistiskt att hela området kring sjön skulle bli invallat.

De åtgärder som bör vidtas för Tämnaren är att binda upp näringsämnen i Sörsjön, röja bort vass och annan vegetation och höja vattennivån. Detta skulle minska övergödningen och sedimentationen i Nordsjön och även öka syrehalten. Tämnarens rika fisk- och fågelliv skulle också gynnas om dessa åtgärder vidtas.

En schematisk skiss över restaureringsförfarandet visas i figur 26.



Figur 26: Översiktlig bild över åtgärderna i restaureringsplanen.

6 Referenser

6.1 Tryckta källor

- Andersson J., Eriksson S., Ridderstolpe P. (2009) *Restaureringsplan av för Hallsjön*, Heby kommun, Länsstyrelsen i Uppsala län
- Bengtsson L., Hellström T. (1992) *Wind-induced resuspension in a small shallow lake*, Dept Water, Resources Engineering, Lunds Universitet, Lund
- Bydén S., Larsson A., Olsson M. (2003) *Mäta vatten – Undersökningar av sött och salt vatten*, Inst. för miljövetenskap och kulturvård
- Carlsson M. (2007) *Angående höjt vintervattenstånd i Tämnaren samt betydelsen av mittutskovet för dammens avbördning*, Vattenfall, Rapport 2255800
- Florberger J. (2006) *Dagvattendammars reningseffekt – påverkande faktorer och metodik för statistisk modellering*, Examensarbete, SLU
- Ivarsson M. (2005) *Våtmarker som kvävefällor i Götaälvdalen möjlig kostnads- och reningseffektivitet*, Examensarbete, Institutionen för Nationalekonomi med statistik Handelshögskolan i Göteborg, Göteborg
- Jordbruksverket (2004) *Kvalitetskriterier för våtmarker i odlingslandskapet – kriterier för rening av växtnäring med beaktande av biologisk mångfald och kulturmiljö*, Rapport 2004:2
- Lindqvist J. (2009) *Referensvåtmarker för uppföljning av växtnärringsretention i anlagda våtmarker - Pilotstudie i Västra Götalands län*, Sektionen för ekonomi och teknik, SET Högskolan i Halmstad
- Länsstyrelsen Västmanlands län (1979) *Utredning om Tämnaren, Etapp 1* – Länsstyrelsen i Västmanlands län informerar, Västerås
- Länsstyrelsen i Västmanlands län (1980) *Utredning om Tämnaren, Etapp 2* – Länsstyrelsen i Västmanlands län informerar, Västerås
- Marmolin C. (2009) *Våtmarkssediment - resurs eller risk för samhället*, HS Skaraborg rapport nr 2/09
- Naturvårdsverket (2008) *Bilaga A till handbok 2007:4 Bedömningsgrunder för sjöar och vattendrag*
- Stenius S. (2007) *Modellering av flöden och syrgasförhållanden i Dannemorasjön och dess tillrinningsområde*, Examensarbete, Institutionen för geovetenskaper Uppsala universitet, Uppsala
- Tonderski K., Weisner S., Landin J. & Oscarsson H. (2002) *Våtmarksboken - skapande och nyttjande av värdefulla våtmarker*, Vastra.
- Vattendom (1977) *Vattendom för Tämnaren*, Dom 1977-02-24

6.2 Webbaserade källor

- Jordbruksverket (2009) Klimatförändringarna och invallningen, http://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf_ovrigt/ovr170.pdf (2010-05-20)
- Järven AB (2009) Flexibel dagvattenrening – med naturens hjälp, http://www.jarven.se/files/1029_1.pdf (2010-05-26)

Limnoteknik (2010:a) Amfibiemaskiner
<http://www.limnoteknik.se/amfibie.html> (2010-05-14)

Limnoteknik (2010:b) Pontonmaskiner
<http://www.limnoteknik.se/pontonmaskiner.html> (2010-05-14)

Länsstyrelsen (2010) Översikt av Väsentliga Frågor för ytvatten,
http://www.lansstyrelsen.se/NR/rdonlyres/5634C09E-9478-46A4-82AE-7652D24ADEAB/0/Oversikt_vasentliga_fragor_kustARO_uppland.pdf (2010-04-20)

Länsstyrelsen Hallands län (2005) Våtmark – från idé till vattenspegel,
<http://www.lansstyrelsen.se/NR/rdonlyres/C4991116-A16A-4FEA-8AE1-22385B9CB9F2/0/Vatmark.pdf> (2010-05-14)

Länsstyrelsen Uppsala län (2000) Bevarandeplan för Natura 2000-område Tämnaren Öst SE0210278,
<http://www.c.lst.se/upload/naturreservat2009/Tamnaren.pdf> (2010-04-21)

Länsstyrelsen Uppsala Län (2009:a) Skötselplan för naturreservatet Aspånäs,
<http://www.tamnaren.se/images/stories/pdf/beslut/microsoft%20word%20-%20sktselplanaspns%204.1-med%20bilder.pdf> (2010-05-20)

Länsstyrelsen Uppsala län (2009:b) Naturreservat Kalvnäset,
<http://www.c.lst.se/templates/Naturreservatsmall.aspx?id=4478> (2010-05-24)

Länsstyrelsen Uppsala län (2009:c) Riksintresse för naturvård,
<http://www.c.lst.se/templates/Page.aspx?id=3533> (2010-04-11)

Länsstyrelserna (2006) Vägledning för muddring och kvittblivning av muddringsmassor,
<http://www.miljosamverkansverige.se/projekt/Rapport%20Muddring/V%C3%A4gledning%20of%C3%B6r%20muddring%20och%20kvittblivning%20av%20muddringsmassor.pdf> (2010-04-23)

Natur och Miljö (2005) Muddra mindre med mera miljöhänsyn,
http://www.muddra.se/Muddra_mindre.pdf 2010-04-23

Naturvårdsverket (2003) Natura 2000 i Sverige - handbok med allmänna råd,
<http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/620-0131-0.pdf> (2010-05-20)

Naturvårdsverket (2006), Så bildas naturreservat – svar på vanliga frågor från markägare
<http://www.swedishepa.se/Documents/publikationer/620-8234-5.pdf> (2010-05-24)

Naturvårdsverket (2010:a) Muddring och hantering av muddermassor,
http://www.naturvardsverket.se/upload/07_verksamheter_med_miljopaverkan/vattenverksamhet/Vagledning_om_muddring_o_hantering_av_muddermassor/Hela_rapporten_muddring_och_hantering_av_muddermasso_ej_bilagor.pdf (2010-04-23)

Naturvårdsverket (2010:b) LOVA - bidrag för havsmiljön,
<http://www.naturvardsverket.se/sv/Arbete-med-naturvard/Satsning-pa-havsmiljo/Sa-finansieras-havsmiljoarbetet/LOVA---bidrag-for-havsmiljon-i-Osterjon/> (2010-05-10)

Naturvårdsverket & Fiskeriverket (2008) Ekologisk restaurering av vattendrag,
https://www.fiskeriverket.se/download/18.6c4377b411c8913db658000167/Ekologisk+restaurering+av+vattendrag_web.pdf (2010-05-20)

NE (2010:a) Sökord: meander
<http://www.ne.se/lang/meandrande-flod> (2010-05-26)

NE (2010:b) Sökord: antropogen
<http://www.ne.se/lang/antropogen> (2010-05-26)

NE (2010:c) Sökord: suspension
<http://www.ne.se/lang/suspension/319418> (2010-05-19)

Rent Vatten (2005) RENT VAND – Helt enkelt!, Lund ,
http://www.rent-vatten.com/download/rent_vatten_handbok.pdf (2010-05-24)

Räddningsverket Karlstad (2006) Översiktlig översvämningsskartering längs Tämnrån, Sträckan Harbo till mynningen i Bottenhavet, MSD. Rapport nr 53.
<http://www.msb.se/Upload/Kunskapsbank/Kartor/oversvamningskartering/T%C3%A4mnar%C3%A5n.pdf> (2010-04-26)

Sjö & Miljö (2010:a) Vassklippning,
<http://www.sjomiljo.se/vass.html> (2010-05-14)

Sjö & Miljö (2010:b) Muddring,
<http://www.sjomiljo.se/muddring.html> (2010-05-14)

SLU (2010:a) Riksinventering och omdrevsinventering, Institutionen för vatten och miljö, SLU, [http://info1.ma.slu.se/ri/www_ri.acgi\\$Project?ID=Intro](http://info1.ma.slu.se/ri/www_ri.acgi$Project?ID=Intro) (2010-05-18)

SLU (2010:b) Omdrevssjöar, Institutionen för vatten och miljö, SLU
http://www.ma.slu.se/ShowPage.cfm?OrgenhetSida_ID=8165 (2010-06-02)

SMHI (2004) Dataset Emån – Vattenbalans,
<http://www.smhi.se/sgn0102/n0201/vattenbalans.htm> (2010-04-21)

SMHI (2007) Flödesstatistik för Sveriges vattendrag, version 2007-06-12,
<http://www.smhi.se/klimatdata/hydrologi/vattenforing> (2010-04-20)

SMHI (2010:a) Normal uppskattad årsnederbörd, medelvärde 1961-1990,
<http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/nederbord/1.6934>

SMHI (2010:b) Nederbördsdata från Harbo, stationsnummer 10708, koordinater 6669440 1579450
http://data.smhi.se/met/climate/time_series/month_year/normal_1961_1990/SMHI_month_year_normal_61_90_precipitation_mm.txt (2010-05-11)

SMHI Homer (2010)
homer.smhi.se (2010-04-21)

VISS (2010:a) Vattenförekomst Tämnrån,
<http://www.viss.lst.se/Waters.aspx?waterEUID=SE667402-158923&competentAuthorityID=3&areaID=3&basinID=136&countyID=12&municipalityID=178&waterTypeID=36&ReportUnitSearch=1&searchType=16¶meterID=565¶meterGroupID=218&WaterStationSearch=1> (2010-04-24)

VISS (2010:b) Vattenförekomst Sörsjön,
<http://www.viss.lst.se/Waters.aspx?waterEUID=SE666846-158447&competentAuthorityID=3&basinID=136&countyID=12&ReportUnitSearch=1&searchType=16&WaterStationSearch=4&> (2010-05-13)

VISS (2010:c)
www.viss.lst.se (2010-05-13)

Wikipedia (2010:a) Sökord: meander
<http://sv.wikipedia.org/wiki/Meander> (2010-05-24)

Wikipedia (2010:b) Sökord: avrinningsområde
<http://sv.wikipedia.org/wiki/Avrinningsomr%C3%A5de> (2010-05-19)

6.3 Muntliga källor

Andersson, Jonas, 2010 (Water Revival System)

Borgestig, Pär-Ola, 2010 (Länsstyrelsen Uppsala län)

Broberg, Jonas (Enköpings åkeri)

Larsson, Anders, 2010 (Uppsala Vatten)

Larsson, Martin, 2010 (Vattenmyndigheten)

Lindberg, Mikael, 2010 (Länsstyrelsen Uppsala län)

Lindgren, Gunilla, 2010 (Länsstyrelsen Uppsala Län)

Melin, Daniel, 2010 (Länsstyrelsen Uppsala län)

Rodhe, Allan, 2010 (Uppsala universitet)

Söderberg, Kjell, 2010 (Tämnarens Vattenråd)

6.4 Interna rapporter

Reviderad offert för restaureringsundersökning av sjön Tämnaren
Rapportkod: W-10-03/A-03

Nollvision samt höjning av vattenstånd med 20 cm vintertid för sjön Tämnaren
Rapportkod: W-10-03/G-11

Labrapport – vattenprover 2010-04-26
Rapportkod: W-10-03/L-100

7 Bilagor

Bilaga A: Magasinering och vattenståndsändring

Bilaga B: Volymberäkning

Bilaga C: Beräkningar av omsättningstid

Bilaga D: Ordlista

7.1 Bilaga A: Magasinering och Vattenstånd

Tabell A:1: Magasinering och motsvarande vattenståndsändring vid minimalt utflöde, $Q_{ut}=0,5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Månad	Magasinering (m^3/s)	Vattenståndsändring (cm)
Jan	22473076	64,21
Feb	21635544	61,82
Mars	25260188	72,17
April	18755920	53,59
Maj	5958696	17,02
Juni	363400	1,04
Juli	78524	0,22
Aug	950880	2,72
Sept	1143220	3,27
Okt	3886524	11,10
Nov	12235680	34,96
Dec	18749328	53,57

Tabell A:2: Magasinering och vattenståndsändring vid utflödet, $Q_{ut}=0,6 \text{ m}^3/\text{s}$.

Månad	Magasinering (m^3/s)	Vattenståndsändring (cm)
Jan	22205236	63,44
Feb	21393624	61,12
Mars	24992348	71,41
April	18496720	52,85
Maj	5690856	16,26
Juni	104200	0,30
Juli	1417724	4,05
Aug	2290080	6,54
Sept	2439220	6,97
Okt	5225724	14,93
Nov	13531680	38,66
Dec	20088528	57,40

Tabell A:3: Magasinering och vattenståndsändring vid maximalt utflöde, $Q_{ut}=10 \text{ m}^3/\text{s}$.

Månad	Magasinering (m^3/s)	Vattenståndsändring (cm)
Jan	-2971724	-8,49
Feb	-1346856	-3,85
Mars	-184612	-0,53
April	-5868080	-16,77
Maj	-19486104	-55,67
Juni	-24260600	-69,32

Tabell A:4: Magasinering och vattenståndsändring vid utflödet, $Q_{ut}=8 \text{ m}^3/\text{s}$.

Månad	Magasinering (m^3/s)	Vattenståndsändring (cm)
Jan	2385076	6,81
Feb	3491544	9,98
Mars	5172188	14,78
April	-684080	-1,95
Maj	-14129304	-40,37
Juni	-19076600	-54,50

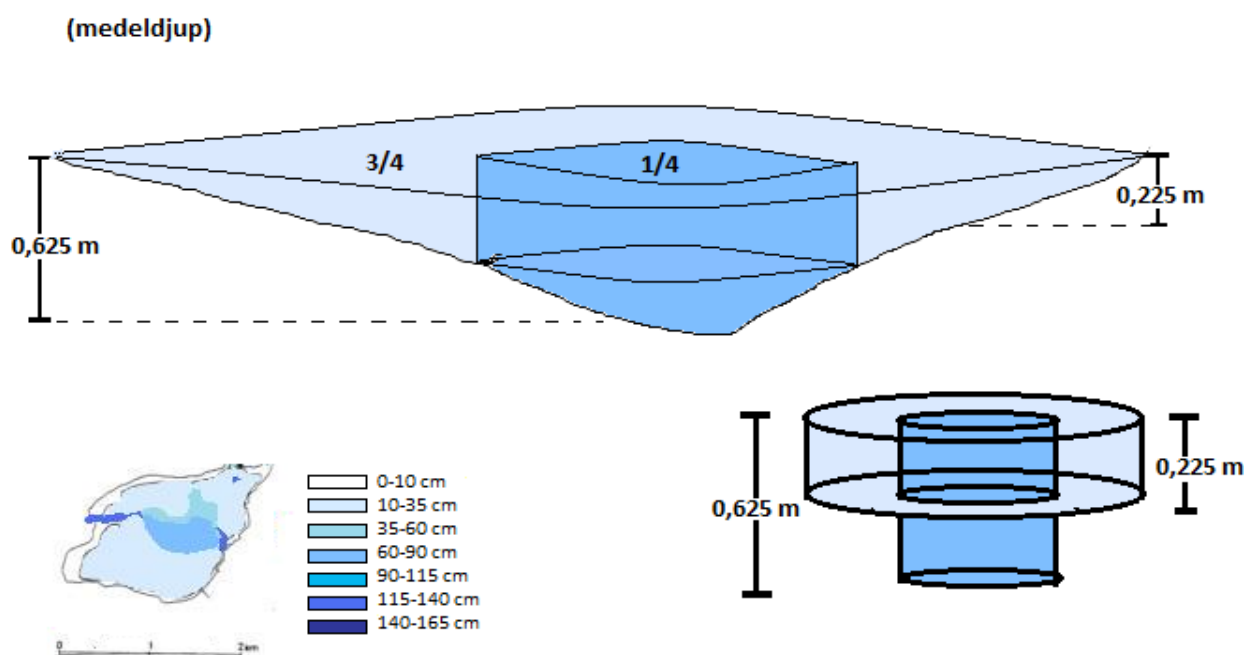
Tabell A:5: Magasinering och vattenståndsändring vid utflödet, $Q_{ut}=6 \text{ m}^3/\text{s}$.

Månad	Magasinering (m^3/s)	Vattenståndsändring (cm)
Jan	7741876	22,12
Feb	8329944	23,80
Mars	10528988	30,08
April	4499920	12,86
Maj	-8772504	-25,06
Juni	-13892600	-39,69

7.2 Bilaga B: Volymberäkning

Sörsjöns volym är beräknad utifrån en djupkarta där vattenytan ligger 35 m.ö.h. (Länsstyrelsen i Västmanlandslän 1979).

Den del som enligt djupkartan, se figur 1, har ett djup mellan 0 och 10 cm har försumrats, vidare har sektionerna 35-60 cm och 60-90 cm slagits samman. Utifrån djupkarta uppskattades därefter att $\frac{3}{4}$ av sjöarean har ett djup mellan 10 och 35 cm och $\frac{1}{4}$ ett djup mellan 35 till 90 cm. Förenklat har delvolymerna antagits vara cylindriska, se figur A:1. Beräknade medeldjup redovisas i figur A:1. Sörsjöns area är enligt VISS 1,614069 km². (VISS, 2010:b)



Figur A:1. Uppskattning av medeldjup.

$$V = (0,25 \times 0,625 + 0,75 \times 0,225) \times 1,614069 \times 10^6 = 524572 \text{ m}^3$$

Sjöns medeldjup kan beräknas genom att dividera sjövolymen med sjöarean. Om detta utförs med den volym som beräknats erhålls ett medeldjup på 32,5 cm något som kan anses vara rimligt.

$$\text{Medeldjup} = \frac{524572 \text{ m}^3}{1,614069 \times 10^6 \text{ m}^2} = 0,325 \text{ m}$$

7.3 Bilaga C: Beräkning av omsättningstider

Månadsmedelvärden för vattenföring är beräknade utifrån modellerad data för åren 1995-2009 från SMHI. Årsmedel har utifrån dessa värden beräknats till 3 m³/s.

Månadsmedelvärden återfinns i tabell 3.

$$\text{Omsättningstid} = \frac{\text{Volym}}{\text{Flöde}}$$

Beräkning enligt ovanstående ekvation om hela sjöns areal utnyttjas:

$$\text{Omsättningstid, Januari} = \frac{524572 \text{ m}^3}{5,18 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 86400 \text{ s/dygn}} = 1,17 \text{ dygn} = 28 \text{ h}$$

$$\text{Omsättningstid, Årsmedel} = \frac{524572 \text{ m}^3}{3 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 86400 \text{ s/dygn}} = 2,02 \text{ dygn}$$

Beräkning enligt ovanstående ekvation om ¼ av sjöns areal utnyttjas (dagsläge):

$$\text{Omsättningstid, januari} = \frac{252198 \text{ m}^3}{5,18 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 86400 \text{ s/dygn}} = 0,56 \text{ dygn} = 13,4 \text{ h}$$

$$\text{Omsättningstid, Årsmedel} = \frac{252198 \text{ m}^3}{3 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 86400 \text{ s/dygn}} = 0,97 \text{ dygn} = 23,3 \text{ h}$$

7.4 Bilaga D: Ordlista

Alkalinitet	Mått på vattnets förmåga att neutralisera syror.
Ammonium, fosfat, nitrat	Växtnäringsämnen, dessa orsakar i förhöjda halter övergödning i sjöar och vattendrag.
Antropogen	Påverkad, skapad eller orsakad av människan. Ordet används bl.a. för att karakterisera utsläpp från industri, trafik, jordbruk. (NE, 2010:b)
Avbördning	Är relationen mellan vattenstånd och vattenföring uppströms en bestämmande sektion i ett vattendrag.
Avrinningsområde	Landområde inklusive sjöar som avvattnas via samma vattendrag. (Wikipedia, 2010:b)
Buffertkapacitet	Vattnets förmåga att motverka förändring i sur eller basisk riktning.
Extern belastning	Belastning av näringsämnen som kommer till en sjö från tillrinnande vatten.
Hydraulik	Här: på vilket sätt vattnet strömmar.
Hävd	I ekologiskt språkbruk "gammaldags" skötsel av fodermarker, särskilt slåtterängar. Förutom slåttern kunde hävden omfatta avverkning eller stympning (hamling, klappning) av träd, buskröjning, lövtäkt, ibland kvisträfsning (fagning) på våren och ofta betesgång på hösten.
Konduktivitet	Ledningsförmåga, ju fler lösta joner vattnet innehåller desto lättare leder det elektricitet, dvs. desto högre konduktivitet.
Morfologiska förändringar	Detta miljöproblem handlar om fysisk påverkan i vattenförekomsten. Sjön kan t.ex. vara rätad, rensad, kanaliserad, invallad eller på annat sätt fysiskt förändrad. (VISS, 2010:c)
Omdrevsinventering	Delprogrammet Omdrevssjöar ingår i Naturvårdsverkets programområde Sötvatten inom den nationella miljöövervakningen. Programmet omfattar provtagning av vattenkemi i 800 sjöar per år. Under en sexårsperiod provtas varje år 800 nya sjöar, varefter omdrevet börjar om och sjöarna provtagna det första året provtas igen. Ett omdrev av sjöar under sex år omfattar därmed 4 800 sjöar. Provtagningen sker under höstcirkulationen (SLU, 2010:b).

Resuspension	Material som tidigare har sedimenterat kommer åter i suspenderat tillstånd. (Naturvårdsverket, 2009)
Retention	Näringsämnen som avskiljs från vattenmassan genom olika processer, exempelvis växtupptag, denitrifikation och sedimentation. (Florberger, 2009)
Rhizom	Är en hos växter underjordisk och mer eller mindre långsträckt stam, som vanligen bär fjällika lågblad, ofta innehåller upplagsnäring och ofta är överlevnadsorgan under vinter och torrtid.
Spårämnesförsök	Användning av mätbart ämne för att detektera vattnets flödesväg och uppehållstid. Tiden när koncentrationen för spårämneskurvan har nått sitt maximum mäts. Genom att maxkoncentrationstiden divideras med den teoretiska uppehållstiden erhålls den hydrauliska effektiviteten. (Lindqvist, 2009)
Suspenderat material	Finfördelat fast ämne som befinner sig uppslammat i vatten. (NE, 2010:c)
Syrgastäring	Syrgasförbrukning
Vattenföring	Den volym vatten som, per tidenhet, rinner fram genom ett tvärsnitt av t.ex. ett vattendrag, en rörledning eller ett grundvattenförande jordlager. Vattenföringen anges vanligen i m ³ /s eller l/s.
Ytspecifik belastning	I begreppet ytspecifik belastning ingår våtmarkens storlek och då menas mängden kväve eller fosfor per våtmarksyta och år (kg ha ⁻¹ år ⁻¹). (Jordbruksverket, 2004)



	Dokumenttyp Offert	Dokumentkod W-10-03/A-03
	Datum 2010-04-21	Ersätter W-10-03/A-01
	Författare Emelie N Melander	
Handledare Roger Herbert	Rapportnamn Reviderad offert för restaureringsundersökning av sjön Tämnaren	

Sammanfattning

Följande offert behandlar sjön Tämnarens rådande status och föreliggande problem för ett bevarande av sjön. Vidare presenteras projektets mål och syfte samt möjliga restaureringsalternativ. Offerten innehåller även en tidsplan för projektets arbetsgång samt en kostnadsberäkning i form av en tidsbudget.

Offert

DATUM 2010-04-16

Rev. 2010-04-21

Grupp 3

Projektledare, kontakt Emelie N Melander

Telefon 0702-736281

E-post emelie_melander@hotmail.com

Offert för

Tämnarens Vattenråd

att. Kiell Tofters

Bragdebo Gård, 740 46 Östervåla

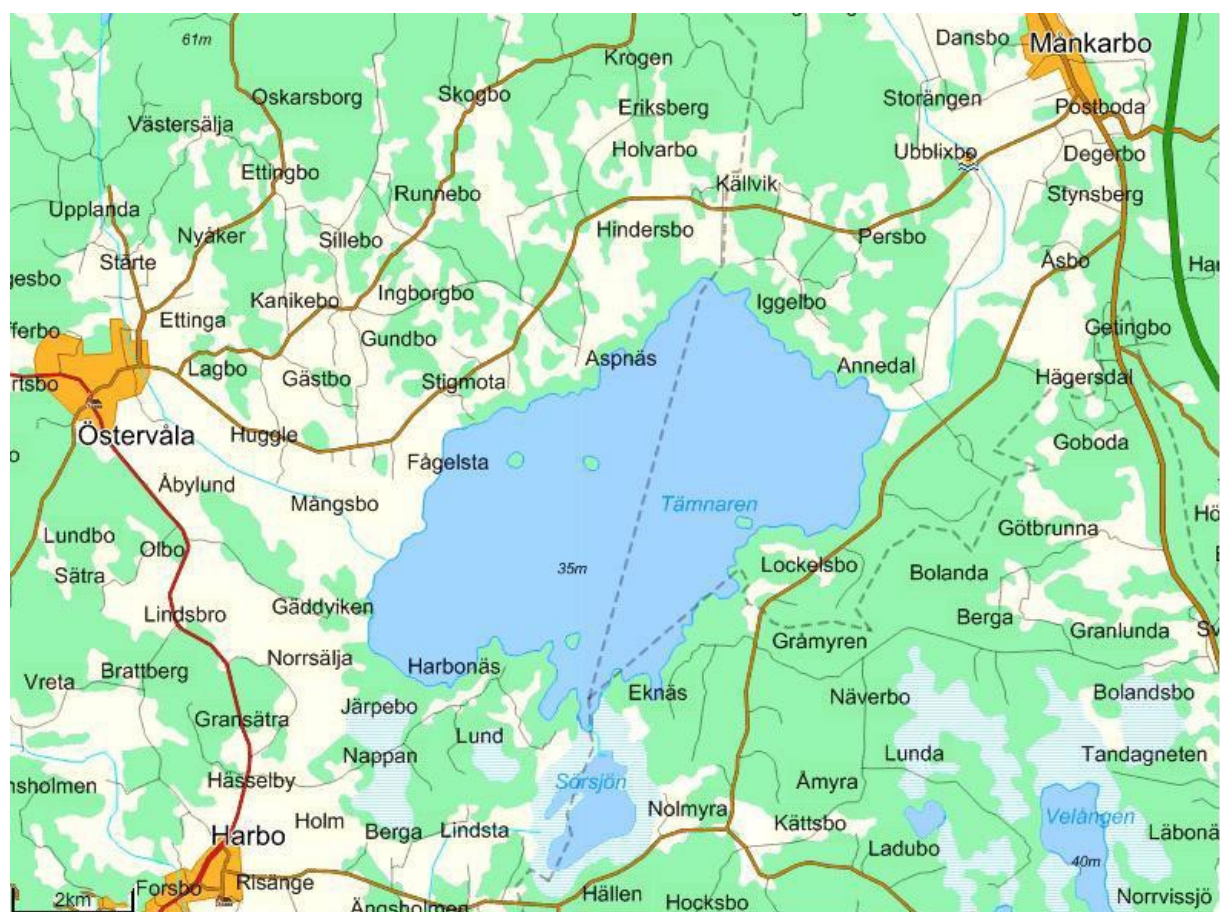
Telefon 0292-10077; 0706-647405

E-post kiell@tofters.net

Offert för restaureringsundersökning av sjön Tämnaaren

Bakgrund Tämnaaren

Tämnaaren är Upplands största insjö med en yta på ca 38 km² och ligger i Heby, Tierp och Uppsala kommun och cirka 40 km norr om Uppsala. Tämnaarens största tillflöde är Harboån som rinner ut i den södra delen av Tämnaaren, Sörsjön, men även Åbyån har stor betydelse för inflödet till sjön. Genom Tämnaarån sker ett utflödet till Östersjön. Berggrunden i området består av bland annat granit, gnejs och diorit.



Figur 1. Karta över Tämnaaren, hämtad från www.hitta.se

Sjön klassas som eutrof och har kraftig igenväxning. Botten täcks till stor del av tjocka lager slam. Sjön ingår i två Natura 2000-områden, Tämnaaren öst och Tämnaaren väst, och det finns även flera naturreservat vid Tämnaaren. Det förekommer ett rikt djurliv i sjöns område, framförallt många hotade fågelarter. Det finns en befintlig vattendom från 1976 som säger att vattenytan ska ligga 35m över havet samt att sommarens medeldjup ska vara 1 m. Sjön har reglerats av tre vattendomar, varav de två första innebar en sänkning och den senaste en höjning av vattennivån.



Figur 2. Bild över Tämnaren, hämtad från www.panoramio.com/photo/3277218

Problemformulering

Tämnaren står i ett kritiskt läge och om inga åtgärder vidtas för att försöka åtgärda sjöns status finns risk att sjön på kort sikt försvinner. Problemen som finns i sjön är framförallt att den blir allt grundare, vilket dels beror på att sjön är sänkt med vattendomar under årens lopp och att botten höjts p.g.a. igenslamning av organiskt material. Även landhöjningen har en inverkan. Den minskade vattennivån ökar risken för bottenfrysning under vinterhalvåret, vilket i sin tur kan leda till fiskdöd. Tillförseln av organiskt material och näringsämnen till sjön, från inlopp, avlopp och omgivande åkrar, har gett konsekvensen att sjön är övergödd. Den goda näringstillgången och att sjöns yta sänks gör att växtligheten i sjön ökar, vilket i sin tur leder till ytterligare igenslamning när växterna dör samt att tillgängligheten av sjön för allmänheten minskar. Läget är mer kritiskt i den södra delen av Tämnaren som kallas för Sörsjön. Denna del är kraftigt igenväxt och under delar av året saknas en vattenspegel. Fågel och djurlivet i Sörsjön är rikt och frågan är om området bör göras om till permanent våtmark istället för att låta höja vattennivån.

Grunden för de problem som finns i sjön beror framförallt på att sjön är övergödd. Högsta prioritet är att rädda sjön på långsikt, vilket innebär att försöka minska näringstillförseln till sjön. Den största delen av inflödet till sjön går genom Sörsjön. En åtgärd för att minska näringstillförseln från Sörsjön bör undersökas närmare, samt ett hållbart alternativ för dess framtid bör utredas. Mindre åtgärder bör göras för att förbättra Tämnarens status på kort sikt. Exempel på sådana åtgärder kan vara att minska växtligheten runt sjön eller bortföra en del av det slam som ligger på botten. En höjning av vattenytan genom införande av en ny

vattendom kan vara ett alternativ för att stabilisera sjöns vattennivå, avstanna processer som innebär ökad växtlighet och igenslamning, samt minska risken för allvarliga konsekvenser som bottenfrysning och fiskdöd.

Mål och syfte

Projektets mål är att konstruera och leverera en restaureringsplan för bevarandet av sjön Tämnamaren. Planen ska innehålla lämpliga åtgärder baserade på naturvetenskapliga, tekniska och juridiska undersökningar med omfattning utifrån tidsplan och budget. Restaureringsplanen ska även ta upp möjligheter till finansiering av ett bevarandet av Tämnamaren.

De restaureringsåtgärder som ska ingå i planen kommer arbetas fram med syfte att bevara sjön och dess ekosystem. Fokus kommer att ligga på vilka behov sjön har för att dess existens ska tryggas för kommande generationer.

Undersökning av åtgärder

För restaurering av sjön kommer studier göras inom de alternativ som presenteras nedan. Undersökningarna kommer att fokuseras på vilken effekt en åtgärd skulle få, både positiva och negativa, och innebär bl.a. förstudier av liknande fall och en fältstudie. Efter avstämning den 3 maj kommer studierna fokuseras på de åtgärder som anses vara mest aktuella för Tämnamaren. Då det endast finns resurser till ett platsbesök kommer fördjupade teoretiska studier att genomföras.

Muddring

Muddring medför att vattendjupet ökas genom att delar av bottensedimenten tas bort. Det finns både för- och nackdelar med muddring och för att få reda på vad som är bäst för Tämnamaren måste botten undersökas. Om det finns tungmetaller i bottensedimenten måste man veta det innan muddring och därför bör sedimentprov tas på potentiella muddringsplatser så som in- och utlopp.

Våtmark

Sörsjön är redan idag igenväxt och har vissa delar av året inte någon vattenspegel. Därför finns det potential att göra om Sörsjön till en permanent våtmark. För att minska näringsämnen till den redan övergödda sjön ska det undersökas om den befintliga muddrade kanalen kan grävas om så att det blir en längre transportväg för vattnet. Växter skulle då under transporten kunna ta upp näringsämnen i större utsträckning vilket skulle ge en minskad övergödning i resten av sjön.

Vattendom

Den befintliga vattendomen för Tämnamaren följs inte strikt i nuläget och variationerna i sjöns vattennivå är relativt kraftiga. En ny vattendom skulle kunna innebära att sjöns nivå höjdes och dessutom varierade mindre än i nuläget, vilket skulle leda till att sjöns övergödning minskade.

Röjning

En röjning av växter längs strandkanten skulle göra sjön mer lättillgänglig för allmänheten och dessutom bidra till minskad bildning av dött organiskt material på botten. Möjligheter för röjning längs vissa strandpartier skall därför utredas och vilken påverkan detta skulle ha på sjön och närliggande områden ska undersökas.

Invallning

Invallning av sjön har tidigare gjorts för att motverka översvämning av värdefulla marker och är en viktig del vid diskussion om ändring av sjöns vattennivå. Därför kommer effekterna av invallning och aktuella platser för detta att studeras .

Tidsplan

Projektets sträcker sig över åtta veckor med slutdatum första juni. Under veckan som passerat har gruppen arbetat i mindre grupper med förstudier för att ta fram vilka områden som är av intresse att studera. Från och med den 19 april kommer fördjupade studier inom respektive område ske i mindre delgrupper. Dessa kommer lämna in rapporter enligt tidschemat nedan där även planen för fortsatt arbete framgår.

23 april

Beslut om vilka prover som skall genomföras skall vara beslutat

Rapport om skyddsområden färdigställd

Rapport över sjöns status färdigställd

28 april

Rapport/presentation av åtgärdernas för- och nackdelar skall vara klara inför avstämningen

3 maj

Avstämningsmöte

Avgränsat och specificerat fortsatt inriktning samt veta om någon speciell del kan uteslutas.

4 maj

Skapa plan för vidare arbete utifrån avstämningsmötet

7 maj

Rapporter på provtagningsresultat skall vara klara

17 maj

Samtliga ansvarsområden skall vara klara för sammansättning till slutgiltig rapport

Sammanställning av slutrapport startar

20 maj

Första utkastet på slutrapporten klart

27 maj

Inlämning av slutrapport

1 juni

Muntlig redovisning

Kostnad

Likhetstecken har satts mellan projektets kostnad och tidsåtgång. För kostnadsberäkningen har därför utgångspunkten varit att projektgruppen består av nio personer som samtliga lägger ner åtta timmar per helgfri vardag. Arbetet efter offerten startar måndagen 19/4 och slutrapporten skall vara inne den 27/5 vilket innebär att 28 arbetsdagar står till förfogande. Detta resulterar i att 2016 arbetstimmar kommer läggas ner under projektets genomförande, se tabell 1.

Tabell 1. Tidsbudget för projektets genomförande

Tidsbudget	
Antal personer	9
Arbetsdagar from 19/4 fram till 27/5	28
Totalt antal timmar	2016

Denna offert har tagits fram av grupp 3, civilingenjörsprogrammet i miljö- och vattenteknik, Uppsala Universitet:

Carolin Hansson
Elin Ottosson
Emelie Henningsen
Emelie N Melander
Josefin Svensson
Magdalena Nilsson
Maria Westermark
My Broberg
Sofia Andersson

genom



Emelie N Melander, projektledare

Uppsala 2010-04-21
Ort, datum

.....
Tämnarens Vattenråd, att. Kiell Tofters

.....
Ort, datum



	Dokumenttyp Grupprapport	Dokumentkod W-10-03/G-11
	Datum 2010-05-05	Ersätter
	Författare Sofia Andersson, My Broberg	
Handledare Roger Herbert	Rapportnamn Nollvision samt höjning av vattenstånd med 20 cm vintertid för sjön Tämnaren	

sammanfattning

Denna rapport innehåller dels en redogörelse för de konsekvenser som en vattenståndshöjning på 20 cm vintertid skulle medföra och dels en nollvisions beskrivning av sjön Tämnaren. Rapporten innehåller också ett röjningsförslag och en förändring i tappningsplan.

Nollvision samt höjning av vattenstånd med 20 cm vintertid för sjön Tämnaren

Inledning

Det är svårt att förutspå Tämnarens framtid eftersom att sjön befinner sig i ett ostabilt läge i dagsläget. En kvalificerad gissning av en nollvision (om inga restaurerings åtgärder utförs) för sjön kan dock göras där parametrarna, sedimentationshastighet, landhöjning och förbuskning tas med i beräkningarna. Utifrån detta kan ett röjningsförslag av vass konstrueras för att hämma förbuskningen och därmed öka livslängden av sjön.



En åtgärd som är aktuell för sjöns vidare existens är en vattenståndshöjning vintertid på 20 cm. Det är av stor betydelse att få kvantitativa siffror på de konsekvenser som en höjning av vattenståndet skulle medföra. Det är också av betydelse att veta hur man på bästa möjliga sätt kan uppnå denna vattenståndshöjning genom att göra en förändring i tappningsplanen.

Nollvision - *Tämnarens framtid om inga åtgärder utförs*

Historik

Under vintern 1974 utfördes en kontroll av vattendjupet i Tämnaren. Efter kontrollen utreddes hur mycket sjön hade grundats upp mellan åren 1946 och 1974. Sjön hade under de 28 åren blivit 4-5 cm grundare i medeltal. Fördelningen av uppgrundningen var ojämn och följde inget tydligt mönster. På vissa platser kunde uppgrundningen ligga på upp till 15 cm medan den på andra platser hade sjön blivit något djupare än tidigare. I Sörsjön uppmättes uppgrundningen till cirka 10 cm i medeltal.

I kontrollen specialstuderades även tre vikar, en i norra delen och två i södra delen av Tämnaren. Resultatet av studien var att uppgrundningen var större i södra delen än i norra delen av Tämnaren. Detta är rimligt då den dominerande vindriktningen i Tämnarområdet är sydvästlig.

Hänsyn ska förstås tas till osäkerhet i mätningarna vilket uppskattades ge en avvikelse på +/- 5 cm vid de båda mättillfällena. I områden som har en högre vegetation är sedimentationen större dels för att det bildas lugnvatten med goda sedimentationsförhållanden, dels för att rotsystemen i sig bidrar till ökad höjning av sedimentytan.

Det har även genomförts kompletterande sedimentundersökningar med ^{137}Cs för att närmare undersöka hur mycket sediment som bildats i Tämnaresjön under de senaste decennierna. År 1963 skedde ett stort utsläpp av den radioaktiva isotopen ^{137}Cs som sedan föll ned och fastnade i sedimenten. Genom att mäta gammastrålningen från ^{137}Cs i sedimentprover har sedimentationshastigheten i sjön uppskattats. Undersökningarna visade att det skett en uppgrundning på 7-8 cm under samma tidsintervall eftersom en tydlig gräns i ^{137}Cs -halten återfanns på denna nivå.

Tämnaresjöns framtid kommer med största sannolikhet att följa samma vegetationsmönster som Sörsjön (södra delen av Tämnaresjön). Genom att titta närmare på hur Sörsjön har åldrats kan man på lång sikt förutspå föråldrandeprocessen för Norrsjön (norra delen av Tämnaresjön).

Vegetationen kring Sörsjön har dokumenterats under cirka 100 års tid:

1870- Dominerande vegetation på stränderna, mycket fräken och starr.

1930- Spridda uppslag av säv och glesa näckrosbestånd, vattenspegel finns fortfarande kvar.

1940- Sammanhängande vegetationsbälte runt hela sjön.

1970- Enhetliga vassbälten runt hela sjön.

1973- Mindre vass till följd av mer sävutbredning.

Efter 1973- snabb förbuskning, ung skog, framförallt björk har brett ut sig.

Idag befinner sig Tämnaresjön i samma ålder som Sörsjön var någonstans mellan år 1870-1930. Tämnaresjön har idag vattenspegel med starka enartsbestånd vilket även Sörsjön hade på sent 1800-tal. Spridda rungar av säv har också börjat uppträda vilket tyder på att Norrsjön har en något mer framskriden vegetationsutveckling idag jämfört med Sörsjön år 1870.

Beräkningar

Vi beräkning av sedimentationshastigheten har de båda undersökningarna ovan vägts samman och resulterat i en medeluppgrundning på 6 cm på 28 år (1946-1974). Landhöjningen i Uppland är uppskattad till 0,5 centimeter per år¹. Vad det beträffar beräkning av vassstillväxt har en tillväxthastighet av vassen antagits vara 1 meter per år.

Sedimentationshastighet

Norrsjön

Tid: 28 år

Sedimenttillväxt: 0.06 m

Sedimentationshastighet: $\frac{0.06 \text{ m}}{28 \text{ år}} \approx 0.0021 \text{ m/år}$

¹ Lantmäteriet 2010-05-18

Sörsjön

Tid: 28 år

Sedimenttillväxt: 0.10 m

Sedimentationshastighet: $\frac{0.10}{28} = 0.0036$ m/år

Livslängd

Norrsjön

Maxdjup: 1.65 m

Landhöjning: 0.005 m/år

Total uppgrundning per år: 0.005 m/år + 0.0021 m/år = 0.0071 m/år

Livslängd: $\frac{1.65 \text{ m}}{0.0071 \text{ m/år}} \approx \mathbf{232}$ år

Sörsjön

Maxdjup: 0.65 m

Total uppgrundning per år: 0.005 m/år + 0.0036 m/år = 0.0086 m/år

Livslängd: $\frac{0.65 \text{ m}}{0.0086 \text{ m/år}} \approx \mathbf{76}$ år

Vass

Dagens vassbestånd

Strandlängd $\approx 40\,000$ m

Vassens utbredning längs strandkanten i medeltal: 84 m

Total area av vass: $40\,000 \text{ m} \times 84 \text{ m} = 3\,360\,000 \text{ m}^2 = 336$ hektar

Vasstillväxt

Strandlängd $\approx 40\,000$ m

Uppskattad vassutbredning: 0.5-1.0 m/år

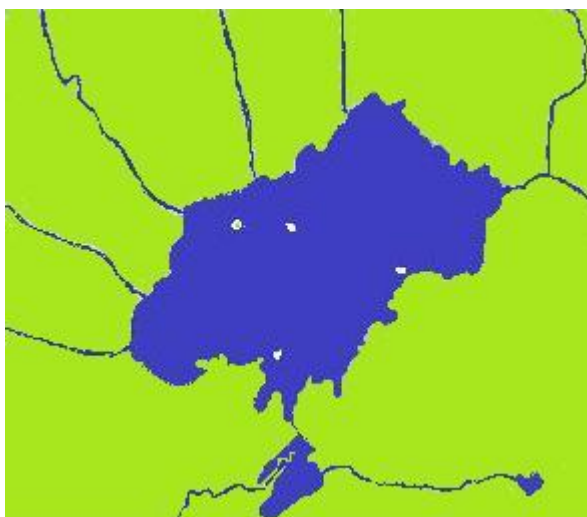
Total area av vasstillväxt $\approx 40\,000 \text{ m} \times (0.5 - 1.0) \text{ m/år} = (20\,000 - 40\,000) \text{ m}^2/\text{år} = 2 - 4$ hektar/år

Prognos för Tämnaren

Om inga restaureringsåtgärder genomförs kommer Tämnarens framtid med största sannolikhet att följa samma mönster som Sörsjön. Sannolikt börjar uppgrundningen i de södra delarna av sjön där det är högst sedimentationshastighet. Tämnarens återstående livslängd uppskattas till ca 200 år (Se beräkningar ovan). Livslängden kan bli något kortare om ingen vegetationsröjning genomförs. Hur mycket kortare är svårt att avgöra, då vegetationen är påverkad av både väder och vind.

Vegetationsprognosen för Tämnaresjön är att vassutbredningen längs med stränderna kommer att fortsätta. Dock kan utbredningen hämmas av väder och vindförhållanden. Vassens utbredningshastighet kan uppgå till 1 meter per år. Flytbladsvegetationen förutspås också utvecklas snabbt, framförallt i vindskyddade vikar och bakom holmar. Utbredningen av säv i Tämnaresjön kommer troligen att gå något långsammare än för mindre grannsjöar eftersom att Tämnaresjön är utsatt för stark vind. Förbuskningen kommer även att hämmas av isens utbredning vintertid. Högvuxen vegetation kommer troligen breda ut sig längs strandkanten, framför allt björk.

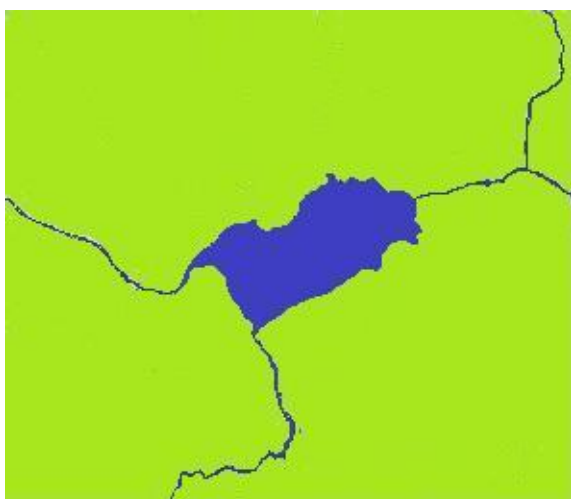
Tämnaresjön befinner sig i ett labilt utvecklingskede. Antingen kan Tämnaresjön svänga mot snabb igenväxning eller mot ett mera stabilt läge där föråldrandeprocessen sker mycket långsamt. Nedan illustreras en grov uppskattning av Tämnaresjöns uppgrundningsförlopp över en 200 år period (figur 1-4)



Figur 1: Tämnaresjön idag



Figur 2: Tämnaresjön om 50 år



Figur 3: Tämnaresjön om 100 år



Figur 4: Tämnaresjön om 200 år

Röjning av vass

En årlig röjning av vass på ca 2-4 hektar (Se beräkningar ovan) för att hålla vassbeståndet nere är en åtgärd som är nödvändig för att sjön ska bevaras och inte en snabb förbuskning ska ske. Vid röjningen är det viktigt att man tar hänsyn till fågel och fisklivet i sjön. Om vasskanten mot fritt vatten successivt blir glesare är det för det flesta fågelarter gynnsammare än om vasskanten slutar abrupt. Ett förslag är att röja vass nära strandkanten (skapa blå board) och göra kanaler från denna ut till öppet vatten. Det skapar en grund strandzon för vadarfåglar samt mosaik med randzoner som fungerar som gläntor för fisk och fågel.

Risk för syrebrist i Tämnaaren vintertid

Bakgrund

Eftersom Tämnaaren är en så pass grund sjö, med ett medeldjup på ca en meter, föreligger risk för syrebrist vintertid. Detta är ett hot mot det rika fiskbeståndet. Under kalla vintrar med mäktig is krymper volymen som fisken kan röra sig i. Under vintern förbrukas syret i vattnet vilket gör att syrgasförhållandet mot vinterns slut kan bli så låg att fisken dör. Syrgaskoncentrationen är normalt lägst närmast botten eftersom syrgastäringen främst sker i sedimenten eller i vattnet närmast sedimenten. Eftersom syretäringen sker med en specifik hastighet per ytenhet är sjöns djup avgörande för dess syrgastillstånd. Risken för syrebrist är därför större i en grund sjö jämfört med en djup.

Jämförelse med Danemorasjön

En undersökning av syrgasförhållanden i Danemorasjön² har studerats för att få en uppfattning om lämpliga åtgärder för minska risken för syrebrist i Tämnaaren. Danemorasjön är liksom Tämnaaren är mycket grund men betydligt mindre till ytan. Undersökningen av Danemorasjön visade att tillflödet under början av vintern hade en lägre syrgaskoncentration i jämförelse med sjön. Eftersom syret förbrukas i sjön under vintern vänder detta förhållande och tillflödets syrgaskoncentration blir högre än sjöns under senare delen av vintern. Tillflöden med högre syrgaskoncentration än själva sjön bidrar till en positiv effekt på syrgasförhållandet i sjön. Det ansågs därför lämpligt för Danemorasjön att minimera tillflöden under början av vintern (fram till mitten på januari) och sedan öka tillflödena mot slutet av vintern. En modellering av syrgasförhållandena med och utan en sådan reglering visade en avtagande minskning av syrgaskoncentrationen under vintern. Den minsta simulerade syrgaskoncentrationen ökade från 0,6 mg/l till 2,1 mg/l vid reglering.

Med dessa resultat som bakgrund anses det för Tämnaaren lämpligt med en succesiv höjning av vattenståndet efter det att isen lagt sig. Detta för att förbättra syrgasförhållandena i sjön vintertid genom att låta mer syrerikt vatten från inflöden lagras i sjön. Vid jämförelse sjöarna emellan kan man dock inte säga något om hurvida det skulle vara lämpligt att minska

2 Modellering av flöden och syrgasförhållanden i Danemorasjön och dess tillrinningsområde, 2007.

tillflöden under tidig vinter. Detta eftersom syrgashalten i Tämnaaren jämfört med halten i inflöden är okänd. Det är inte heller rimligt att förvänta sig en lika stor skillnad i syrgaskoncentration pga ett ökat genomflöde i sjön då Tämnaaren har betydligt större volym än Danemorasjön. Den större volymen gör att inflödets syrgaskoncentration inte ger lika stor påverkan på syrgaskoncentrationen i sjön.

Parametrar som påverkar syrgasförhållandet i en sjö

Syrgasförhållanden i en sjö kan variera mycket mellan olika år och beror på bland annat vilken syrgaskoncentration sjön har då isen lägger sig och syrgashalten i inkommande flöden. Även syrgastäringen är svår att uppskatta eftersom denna beror på nedbrytningshastighet i sedimenten, hur stort fiskbeståndet i sjön är och hur länge isen ligger. Utöver dessa parametrar är även sjöns volym något osäker eftersom de senaste djupmätningarna utfördes på 1970-talet och sjön sedan dess har grundats upp pga både sedimentation och landhöjning. Allt detta sammantaget med variationer i isens mäktighet medför att det är mycket svårt att uppskatta hur stor risken för syrebrist faktiskt är.

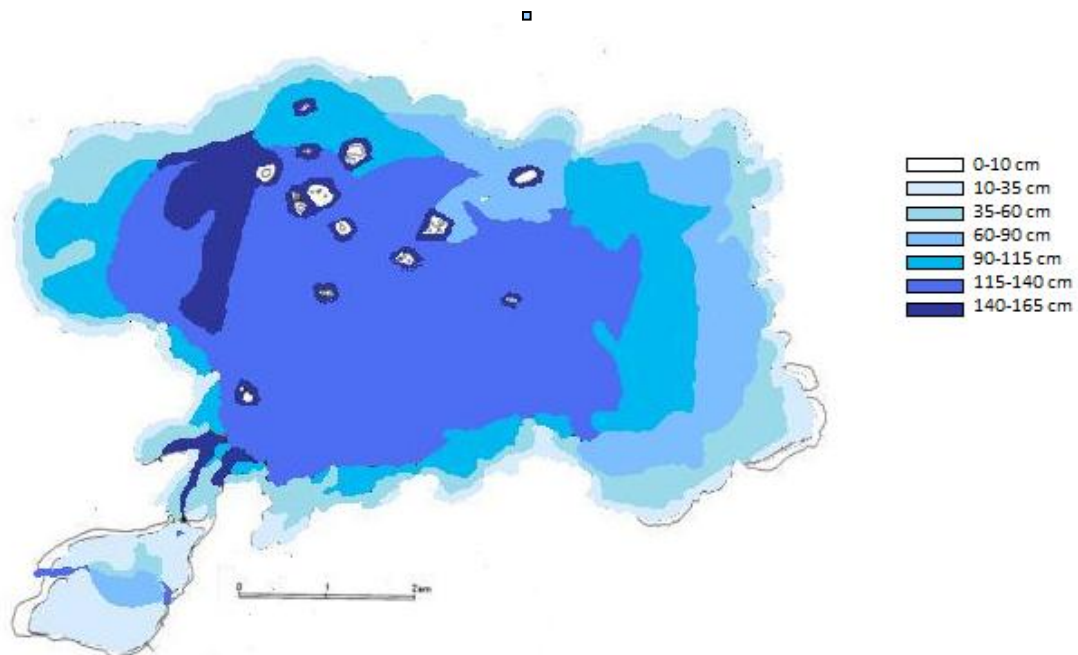
Åtgärder för att förbättra syrgasförhållandet i Tämnaaren

Som tidigare nämnts skulle en höjning av vattenståndet i Tämnaaren under vintern bidra till att syrgastäringen minskar (eftersom medeldjupen ökar) och att syrgaslagringen ökar i och med den ökade volymen vatten. Med 20 cm högre vattenstånd vintertid och antagande att isen som mest skulle kunna bli 35 cm mäktig beräknas volymen av det vatten som inte fryser öka från $21,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ till $28,0 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Detta innebär att den volym fisken har att leva i skulle öka med 29,6 %. Se beräkningsunderlag nedan.

Utöver en höjning av vattenståndet i sjön vintertid skulle eventuellt sjöns syrgasförhållande kunna förbättras om syrgaskoncentrationen i inflöden kunde ökas. Detta skulle exempelvis kunna uppnås genom ökad turbulens i de åar som mynnar i Tämnaaren. För att utreda om en sådan åtgärd är möjlig krävs mätning av nuvarande syrgaskoncentrationer i inflöden. Om dessa redan är goda är dock en sådan åtgärd onödig.

Beräkningsunderlag

För beräkning av den volym fritt vatten som finns under vintern har sjöns djup och arean för respektive djup uppskattats utifrån en djupkarta, se figur 1. Denna djupkarta är baserad på en djupkarta framtagen 1946 av Tämnaarens Sänkningsföretag. Djupen har modifierats utefter beräknad sedimentation och landhöjning från 1946 till 2010. Minskning av djupen har antagits vara 15 cm i de grundare delarna (djup mindre än 75 cm) och 10 cm i de djupare delarna. Sedimentationen antas vara större i de grunda delarna dels pga bättre sedimentationsförhållanden i dessa delar, dels för att vågor transporterar material till dessa områden. Ett medelvärde av djupintervallen (mellan djuplinjerna i kartan) har använts för vidare beräkning. Tabell 1 visar de olika djupmedelvärdena och uppskattad area med sådant djup. Isen på sjön har antagits vara 35 cm vid en riktigt kall vinter.



Figur 1. Djupkarta över Tämnaresjön baserad på en djupkarta framtagen 1946 av Tämnaresjöns Sänkningsföretag. Strandlinjen ligger vid 35.00 m.ö.h. Djupen har modifierats utefter beräknad sedimentation och landhöjning från 1946 till 2010.

Tabell 1: Djupintervall, medeldjup och ungefärlig areal uppskattas urifrån djupkarta.

Djupintervall (cm)	Medeldjup (cm)	Ungefärlig areal (km ²)
0-10	5	1
10-35	22,5	3
35-60	47,5	4
60-90	75	5
90-115	102,5	7
115-140	127,5	13
140-165	152,5	2

Förändring av djupen vid 20 cm vattenståndshöjning antas inte påverka arean för de områden som inte är bottenfrysta eftersom det vatten som påverkar arean antas frysa helt. Återstående djup, både med och utan 20 cm höjning av vattenståndet och djupens respektive areal för visas i tabell 2. Volymen (medeldjupet multiplicerat med arealen) för de två fallen visas i tabell 3. Med 20 cm högre vattenstånd ökar volymen fritt vatten med $6,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Detta motsvarar en ökning med 29,6 %.

Tabell 2: Återstående djup under vintern, med och utan en vattenståndshöjning om 20 cm.

Återstående medeldjup under 35 cm is (cm)	Återstående medeldjup under 35 cm is, men med en 20 cm vattenståndshöjning	Ungefärlig areal (km ²)
0	0	1
0	7,5	3
12,5	32,5	4
40	60	5
67,5	87,5	7
92,5	112,5	13
117,5	137,5	2

Tabell 3: Volym fritt vatten i Tämnaren då isens mäktighet är 35 cm, utan och med 20 cm vattenståndshöjning.

Volym ofruset vatten utan höjning	Volym ofruset vatten med 20 cm höjning
21,6 * 10 ⁶ m ³	28,0*10 ⁶ m ³

Detta resultat kan jämföras med en grov uppskattning där medeldjupet för hela sjön antas vara 1,0 m före höjning och 1,2 med det högre vattenståndet. Arealen antas vara konstant 35 km² vid höjningen. Med en 35 cm mäktig is blir då volymen fritt vatten före höjning 21 *10⁶ m³ och 28 *10⁶ m³ då vattenståndet höjs med 20 cm. Detta motsvarar en volymökning med ca 33%. Denna uppskattning stämmer väl överens beräkningen ovan.

Modell för Tämnarens vattenbalans

För att få en bild av hur olika tappningar påverkar vattenståndet i Tämnaren har en modell för sjöns vattenbalans skapats. Vattenbalansmodellen är baserad på månadsmedelvärden och förändringen av sjöns volym har studerats. Volymsändringen per månad ges av följande uttryck

$$dV = AdH = Q_{in} - Q_{ut} + PA - EA$$

och vattennivåändringen ges av

$$dH = \frac{1}{A}(Q_{in} - Q_{ut}) + P - E$$

där V är sjöns volym [m^3/s], A sjöns area [m^2], H vattenytans höjd över havet [m], Q_{in} flödet in till sjön, Q_{ut} flödet ut från sjön [$m^3/månad$], P nederbörd och E avdunstning [$m/månad$].

Månadsmedelvärden 1995-2009 för vattenföring [m^3/s] i Harboån (SMHI, 2010) vid inloppet till Tämnaren har använts för att beräkna inflödet till sjön. Ett sammantaget medelvärde månadsvis för hela denna period har beräknats och gjorts om från sorten [m^3/s] till [$m^3/mån$] (hänsyn har tagits till antal dagar för respektive månad). Genom att dividera flödet i Harboån, Q_{in}^1 , med motsvarande avrinningsområdes area, $A_1=428,4 \text{ km}^2$ fås den specifika avrinningen q_{in} .

$$q_{in} = \frac{Q_{in}^1}{A_1}$$

Den specifika avrinningen antas sedan vara densamma för hela Tämnarens avrinningsområde, $A_{tot}=693,5 \text{ km}^2$, och då kan det totala inflödet till Tämnaren, Q_{in} , beräknas enligt

$$Q_{in} = q_{in} A_{Tot}$$

Nederbördsdata i form av medelvärden [$mm/mån$] för perioden 1961-1990 från mätstation i Harbo, stationsnummer 10708, koordinater 6669440 1579450, (SMHI, 2010) ligger till grund för den nederbörd, P , som använts i beräkningarna.

Medelavdunstningen [$mm/mån$] för landområden har antagits ha samma fördelning under året som data från mätningar i Kalmar³. Till denna har meravdunstningen⁴ [$mm/mån$] för Tämnaren relativt omgivande landyta adderats för att få sjöns totala månadsmedelavdunstning. Data för Q_{in} , P och E finns redovisade i tabell 1.

3 SMHI 2010

4 Utredning om Tämnaren, etapp 1, sid 33.

Tabell 4. Månadsmedelvärden för inflöde Q_{in} , nederbörd P och avdunstning E för sjön Tännaren.

Månad	Q_{in} (m ³ /s)	P (mm/mån)	E (mm/mån)
jan	8,39	40,3	2
feb	9,07	27,8	2
mars	9,82	31,9	23,4
april	8,26	34,1	72,9
maj	3,94	35,4	128,4
juni	1,95	46,8	143,8
juli	1,61	65,7	148,4
aug	1,2	80,1	106,5
sept	0,91	62,2	59,9
okt	1,61	54,8	28,7
nov	4,54	56,4	6
dec	6,92	46,4	2

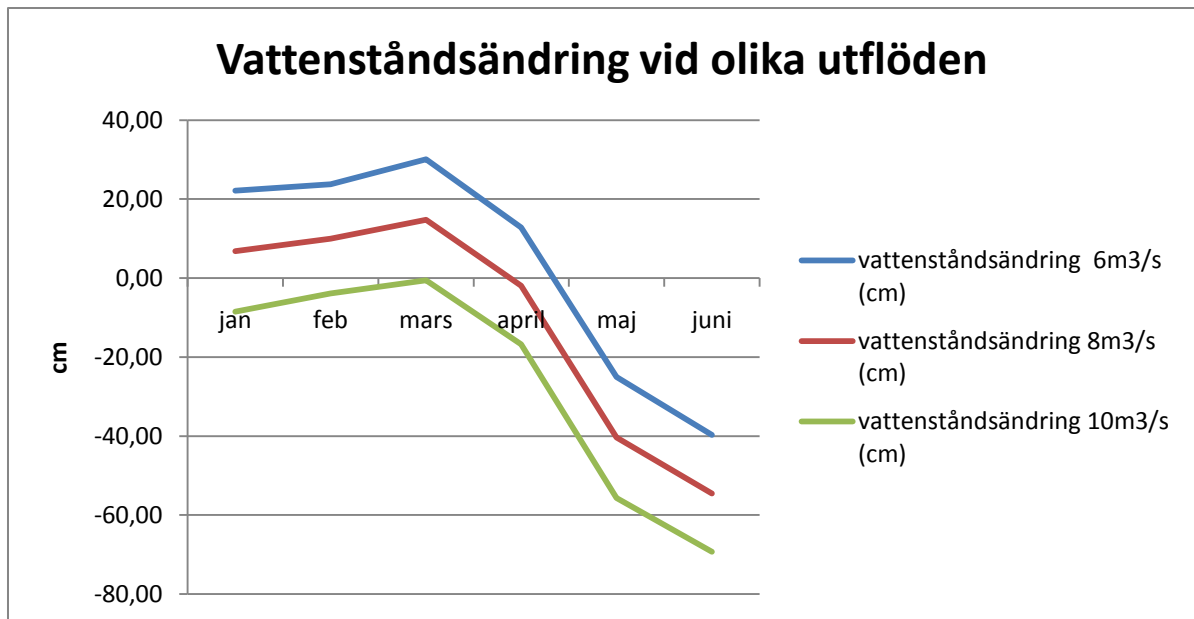
Med olika val av utflöden, Q_{ut} , har sjöns magasinering (volymsändring, dV) beräknats. Denna har sedan översatts till vattennivåändring, dH , med antagande att sjöns area, $A_{sjö}$, konstant är 35 km².

$$dH = \frac{dV}{A_{sjö}}$$

Vattenståndets ändring vid minimitappningen, $Q_{ut}=0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ och för tre större flöden visas i figur 1 respektive 2.



Figur 2 Höjning av vattenståndet vid utflödet $Q_{ut}=0,5 \text{ m}^3/\text{s}$



Figur 3 Vattenståndsändring vid olika utflöden

Höjning av vattennivån vintertid

Den uppsatta modellen visade att även vid minimal tappning ($0,5 \text{ m}^3/\text{s}$) skulle ingen betydande magasinering ske i sjön under månaderna juni - september. Detta innebär att en lagring av vatten under hösten, för att komma upp till ett 20 cm högre vattenstånd under vinterhalvåret, tidigast kan påbörjas i oktober. Under oktober månad kan maximalt $3,9$ miljoner m^3 magasineras och denna volym räcker inte för att höja vattenståndet med 20 cm. Med minimal tappning under oktober och november skulle magasineringen bli ca 16 miljoner m^3 vilket skulle innebära en höjning av vattenståndet med ca 46 cm, om arean antas vara konstant 35 km^2 vid höjningen. Vilket vattenstånd som kan uppnås vid maximal magasinering under månaderna oktober-november är beroende av vattenståndet i slutet av september. Under kommande vintermånader, dec-mars, finns större möjligheter att öka sjöns volym. Detta gör att man skulle kunna höja vattenståndet successivt under vinterhalvåret för att öka syrgaslagringen i sjön.

Om vattenståndet är relativt lågt vid isläggningen, som normalt inträffar i slutet på november⁵, och sedan höjs kan detta medföra en naturlig vassröjning. Detta eftersom fastfusen växtlighet kan slitas av när isen höjs vid ett ökat vattenstånd. En påföljande konsekvens av detta är att vassbårdens pågående utbredning skulle kunna bromsas upp. Åtgärder för att minska ökade översvämningar på våren

Beräkningar av maximal sänkning av vattenståndet inför vårfloden visar att det är svårt att få en kraftig sänkning under månaderna februari-mars även vid maximal tappning ($10 \text{ m}^3/\text{s}$). Om utflödet skulle vara $10 \text{ m}^3/\text{s}$ under dessa månader skulle vattennivån totalt sänkas med ca 4 cm. Vid islossningen som normalt sker i slutet på april skulle nivån kunna sänkas med ytterligare ca 17 cm. Detta innebär att om vattenståndet når maximalt $34,80 \text{ m.ö.h}$ under vintern skulle nivån kunna nå $34,60 \text{ m.ö.h}$ tidigast i maj månad, troligtvis senare. Detta medför att en höjning av vattenståndet under vinterhalvåret ger en varaktighet av förhöjt vattenstånd i ca 6 månader om maximal uttappning sker från och med februari. Om

antagande görs att utflödet istället är 8 m³/s vid tappning under samma period skulle vattenståndet istället fortsätta stiga fram till april och därefter drastiskt minska, se figur 2.

Höjning av lägsta nivån under sommaren

Gällande möjlig höjning av lägstanivån i sjön har beräkningar gjorts utifrån tappning med 0,5 och 0,6 m³/s under perioden juni till september. Resultatet visar att Tämnarens vattenstånd skulle kunna höjas med ca 7,5 cm vid en tappning på 0,5 m³/s under denna period. Enligt nuvarande tappningsplan, se figur 3, sker minsta tappning (0,5 m³/s) endast då vattenståndet ligger under 34,30 m.ö.h. Om vattenståndet är 34,30 till ca 35,15 m.ö.h sker en tappning på 0,6 m³/s vilket istället innebär en sammantagen ändring av vattenståndet med ca 4 cm för de fyra sommarmånaderna. Dessa små förändringar i vattenstånd är dock mycket osäkra då avdunstningen har stor påverkan på vattenbalansen under dessa månader. I en tidigare utredning om Tämnaren⁶ uppgavs att vattenståndet i sjön skulle kunna sänkas med knappt 0,5 cm/dag vid en torrperiod under sommaren, då minimal tappning har antagits tillsammans med maximal pumpning till Fyrisån.

Slutsatsen som kan dras av detta är att även vid låga tappningar är det svårt att höja vattenståndet under sommarmånaderna. För att höja lägstanivån krävs därför att vattenståndet inte ligger för lågt i slutet på våren. Det krävs således en balanserad reglering i övergången från översvämningarna vid vårflo den till torrperioden under sommaren. Vid tappning på 0,6 m³/s kommer alltså nivån att vara i stort sett oförändrad eller sjunka mellan juni och september. Enligt tappningsplanen regleras utflödet under vintern, t o m mars månad från 3m³/s om vattenståndet är över 34,60 (34,60 - 34,70) och så snart vattenståndet når under 34,60 sker tappning om 0,5 m³/s. I en alternativ tappningsplan som utformades 1975⁷ föreslås genomgående att minimitappningen påbörjas vid något högre vattenstånd än 34,60.

Vegetationens påverkan

Vegetationen i sjön påverkar vattenbalansen genom att avdunstningen från flytbladsväxter är betydligt större än från en vattenyta. Växtligheten upptar även en viss volym vilket minskar sjöns magasinering förmåga. Om vegetationen i sjön minskade skulle detta ge dubbel effekt, på sommaren minskas vattenförlusterna genom avdunstning och med ett större magasin skulle sjöns utjämningsförmåga öka.⁸

Tidigare utredning

En utredning angående höjt vintervattenstånd i Tämnaren samt betydelsen av mittutskovet för dammens avbördning⁹ har utarbetats på uppdrag av Uppsala Kommun. I denna rapport redovisas hur en förändrad sänkningsgräns, från 34,60 till 34,80 under vinterhalvåret påverkar vattenståndet. Vid höjd sänkningsgräns skulle den maximala nivån öka med 7 cm vid medelhögvattenföring och med 6 cm vid högsta högvattenföring. För att kunna förutsäga om det är möjligt att motverka nivåhöjningen genomfördes simulationer av olika tappningshastigheter.

⁶ Utredning om Tämnaren, Etapp 2.

⁷ Utredning om Tämnaren, etapp 1

⁸ Utredning om Tämnaren, etapp 1, sid 34

⁹ Vattenfall, 2007

Regleringsstrategier

Om gällande tappningsplan följs skulle varaktigheten av vattennivåer som överskrider 35,24 öka vid ett högre vattenstånd vintertid. Varaktigheten för de höga nivåerna skulle förlängas med 16 dygn vid medelhögvattenföring och med 49 dygn vid högsta högvattenföring. skulle det vara lämpligt att ändra Tappningsplanen om vintervattenståndet önskas höjas. Enligt simuleringen skulle det vara möjligt att drastiskt minska denna tid vid ökad tappning, vilket innebär att en ökad vattennivå vintertid inte automatiskt innebär att översvämningarna skulle öka.

Resultat

Resultatet av simuleringarna visade att om $10 \text{ m}^3/\text{s}$ tappades vid stigande nivåer i sjön blir det maximala vattenståndet i sjön detsamma vid medelhögvattenföring även då vattennivån tillåts vara 20 cm högre vintertid. Om en tappning på $7 \text{ m}^3/\text{s}$ vid stigande nivåer skulle tillämpas blir varaktigheten vid medelhögvattenföring istället bli 10 dygn längre.

Diskussion

Om medelvattenståndet månadsvis hade varit känt, tillsammans med ett samband mellan vattenstånd och sjöarea hade ett mer noggrant samband mellan volymsändring och nivåändring för sjön kunnat fås.

Slutsats

En höjning av vattenståndet med 20 cm under vinterhalvåret anses utifrån utförda beräkningar vara möjligt om utflöden hålls låga. För att specificera hur tappningsplanen skulle behöva förändras vid föreslagen vattenståndshöjning vintertid behövs uppgifter om vilka vattenstånd som normalt råder vid olika tidpunkter under året. Tidigare simulering har påvisat att det med ett utflöde på $10 \text{ m}^3/\text{s}$ vid stigande nivåer skulle vara möjligt att förhindra att ett höjt vattenstånd vintertid skulle leda till ökade översvämningar.

Referenser

Utredning om Tämnaaren, Etapp 1 – Länsstyrelsen i Västmanlands län informerar, Västerås 1979

Utredning om Tämnaaren, Etapp 2– Länsstyrelsen i Västmanlands län informerar, Västerås 1980

Modellering av flöden och syrgasförhållanden i Danemorasjön och dess tillrinningsområde, Stenius, Seija, 2007, Geotryckeriet Uppsala.

Lantmäteriet, 2010.

http://www.lantmateriet.se/upload/bilder/kartor/geodesi_gps_och_detaljmatning/Referenssystem/Landhojning/NKG2005LU_stor.jpg, 2010-05-18.

SMHI 2010,

http://data.smhi.se/met/climate/time_series/month_year/normal_1961_1990/SMHI_mont_h_year_normal_61_90_precipitation_mm.txt, 2010-05-11.

SMHI 2010,

www.homer.smhi.se, 2010-04-21

Vattenfall 2007

Utredning om höjt vintervattenstånd i Tämnaaren samt betydelsen av mittutskovet för dammens avbördning

Bilaga 1

Tabell 5. Magasinering och motsvarande vattenståndsändring vid minimalt utflöde, $Q_{ut}=0,5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Månad	Magasinering (m^3/s)	Vattenståndsändring (cm)
Jan	22473076	64,21
Feb	21635544	61,82
Mars	25260188	72,17
April	18755920	53,59
Maj	5958696	17,02
Juni	363400	1,04
Juli	78524	0,22
Aug	950880	2,72
Sept	1143220	3,27
Okt	3886524	11,10
Nov	12235680	34,96
Dec	18749328	53,57

Tabell 3. Magasinering och vattenståndsändring vid utflödet, $Q_{ut}=0,6 \text{ m}^3/\text{s}$.

Månad	Magasinering (m^3/s)	Vattenståndsändring (cm)
Jan	22205236	63,44
Feb	21393624	61,12
Mars	24992348	71,41
April	18496720	52,85
Maj	5690856	16,26
Juni	104200	0,30
Juli	1417724	4,05
Aug	2290080	6,54
Sept	2439220	6,97
Okt	5225724	14,93
Nov	13531680	38,66
Dec	20088528	57,40

Tabell 4. Magasinering och vattenståndsändring vid maximalt utflöde, $Q_{ut}=10 \text{ m}^3/\text{s}$.

Månad	Magasinering (m^3/s)	Vattenståndsändring (cm)
Jan	-2971724	-8,49
Feb	-1346856	-3,85
Mars	-184612	-0,53
April	-5868080	-16,77
Maj	-19486104	-55,67
Juni	-24260600	-69,32

Tabell 5. Magasinering och vattenståndsändring vid utflödet, $Q_{ut}=8 \text{ m}^3/\text{s}$.

Månad	Magasinering (m^3/s)	Vattenståndsändring (cm)
Jan	2385076	6,81
Feb	3491544	9,98
Mars	5172188	14,78
April	-684080	-1,95
Maj	-14129304	-40,37
Juni	-19076600	-54,50

Tabell 6. Magasinering och vattenståndsändring vid utflödet, $Q_{ut}=6 \text{ m}^3/\text{s}$.

Månad	Magasinering (m^3/s)	Vattenståndsändring (cm)
Jan	7741876	22,12
Feb	8329944	23,80
Mars	10528988	30,08
April	4499920	12,86
Maj	-8772504	-25,06
Juni	-13892600	-39,69



	Dokumenttyp Arbetsrapport	Dokumentkod W-10-03/L-100
	Datum 2010-05-27	Ersätter W-10-03/L-83
	Författare Emelie N Melander	
Handledare Roger Herbert	Rapportnamn Labrapport – vattenprover 2010-04-26	

Sammanfattning

I denna rapport redovisas analysdata från vattenprover tagna 2010-04-26 i Tämnrån vid Annedal och Ubblixbo, Harboån, Lindstadammen och Åbyån i Östervåla. Proven analyserades med avseende på alkaliniteten, pH, konduktiviteten, nitrat-, ammonium-, och nitrathalterna.

Inledning

Vattenprover togs vid fältbesöket vid Tämnaån 2010-04-26. Provpunkter visas i figur 1 var i Tämnaån vid Annedal, Tämnaårens regleringsdamm i Ubblixbo, vid Lindstadammen som utgör inflödet till Sörsjön, Harboån som rinner in till Sörsjön samt Åbyån i Östervåla.

I proven uppmättes alkaliniteten, pH, konduktiviteten, nitrat-, ammonium-, och nitrathalterna.



Figur 1. Vattenprov tog vid Ubblixbo, Lindstadammen, Harboån, Åbyån och Annedal. (Karta: eniro.se)

Syfte

Provtagningen och analysen gjordes för att ge en bild av det tillstånd som råder i Tämnaån och Sörsjön just nu.

Metod

Proven togs på ca 1 m djup med hjälp av en ca 1,5 m pinne på vilken en provflaska på 250 ml fastsatts. På varje provställe fylldes tre flaskor, förutom Åbyån där prov endast togs i en flaska. Prov för mätning av fosfat, nitrat och ammonium konserverades med 1 ml borsyra per 100ml prov i samband med provtagningen. Noteras kan att provet i Åbyån hämtades mycket ytligare än de övriga proverna pga. pinnen inte kunde användas.

Alkalinitet

Teori

$[H_2SO_4]=0,005 \text{ mol/l}$ vilket motsvarar $0,01 \text{ ekv/l } HCO_3^-$ eller 10 mekv/l .

Alkalinitet är ett mått på vattnets förmåga att neutralisera syror. Det är främst joner som vätekarbonat, karbonat- och hydroxidjoner som påverkar alkaliniteten. En ökning av dessa joner ger en ökning av alkaliniteten. Är alkaliniteten större än noll, ändras inte pH proportionellt mot tillskottet av vätejoner, men alkaliniteten minskar. Detta är alltså ett mått på hur känslig en vattenmassa är för försurning, dvs. dess buffertkapacitet. Alkaliniteten uttrycks i $\text{mmol } HCO_3^-$ eller mekv/l (milliekvivalenter per liter). Sjöar och vattendrag där alkaliniteten är lägre än $0,05 \text{ mekv } HCO_3^-/\text{l}$ har övergått i försurningsfas 2. I vatten som är väldigt kalkrika eller övergödda kan alkaliniteten ligga mellan 1 och 5 $\text{mekv } HCO_3^-/\text{l}$.

När en sjös surhet bedöms görs detta i första hand efter vattnets alkalinitet. Detta eftersom vattnets förmåga att motstå ett tillskott av syra är viktigare än mängden vätejoner ur ekologisk synpunkt.

Alkaliniteten kan variera med årstiden och ett vatten som normalt har god alkalinitet kan vid t.ex. kraftig snösmältning eller häftiga regn råka ut för vad som kallas en surstöt, ett tillstånd då pH och alkaliniteten sjunker kraftigt.

Utförande

Bestämning av alkalinitet gjordes genom titrering med H_2SO_4 av koncentration 0,005 mol/l och tillsats av fem droppar indikator.

Beräkning:

$$\text{Alk} = V_{\text{H}_2\text{SO}_4} * [\text{H}_2\text{SO}_4] / V_{\text{prov}}$$

pH

Teori

Sjöar som är belägna i trakter med en kalkrik berggrund, t.ex. Skåne, kan ha pH-värden över 8, medan näringsfattiga skogssjöar kan ha ett normalt pH på 6. När pH är lägre än 5,4 är alkaliniteten noll och sjön är kraftigt hotad av försurning, dock sker de första biologiska skadorna redan vid pH strax under 6,0. Biologiska processer som t.ex. fotosyntesen kan förskjuta kolsyrasystemet och därmed höja pH något. Även tillrinning till en sjö kan ge en ökning hos pH-värdet.

Utförande

Proverna värmdes till rumstemperatur och pH mättes därefter under omrörning.

Konduktivitet

Teori

Konduktiviteten, den elektriska ledningsförmågan, är ett mått på mängden lösta salter i vattnet. Konduktiviteten i svenska insjöar ligger för normalfallet mellan 2-20 mS/m. Smältvatten från snö har i början av smältningen en mycket högre konduktivitet än i slutet. Koncentrationen av oorganiska salter bestäms av bl.a. jordarter i nederbördsområdet, sjömorfometri och avståndet till havet.

Utförande

Konduktiviteten mättes i rumstempererade prover och det avlästa värdet multiplicerades med mätcells konstanten, vilken var 1.293 cm^{-1} .

Närsalter

Kväve och fosfor är ämnen som i de allra flesta sjöar förekommer i så låga koncentrationer att primärproduktionen kontrolleras av dessa. Koncentrationerna av ammonium, nitrat och fosfat varierar mycket under året. På sommaren under växtperioden är koncentrationerna låga och ökar under hösten då nedbrytningen ökar och tillväxten minskar.

Nitrat

Teori

Nitrat används tillsammans med ammonium och urea som kvävekälla av primärproducenterna. I näringsrika sjöar där fosforhalten är hög kan nitratkväve vara den begränsande faktorn för primärproducenterna. På grund av avrinningen från gödslade åkrar kan nitratkoncentrationen vara förhöjd i jordbruksområden. Koncentrationen av nitrat brukar anges som nitratkväve enligt följande samband: $1,0 \text{ mg NO}_3\text{-N} = 4,4 \text{ mg NO}_3^-$

Fosfat

Teori

Fosfat-fosfor är den enda form av fosfor som växterna omedelbart kan ta upp och

tillgodogöra sig. Därav kan en hög fosfatkoncentration i en sjö vara en indikator på eutrofiering och i näringsrika sjöar kan koncentrationen fosfat-fosfor uppgå till ca 200 µg/L. Om fosfater tillförs en sjö från omkringliggande åkrar och jordbruksmarker eller enskilda avlopp reagerar sjöns vegetation snabbt på den ökade fosfatkoncentrationen med en ökad tillväxt. När det organiska materialet i form av döda celler från växter och djur bryts ned frigörs fosfat igen och därigenom kommer bottenvattnet och sedimentet bli fosforrika. Bottenvattnets syrgaskoncentration spelar här en viktig roll eftersom tillgängligt syre kommer att göra så att det frigjorda fosfatet binds i sedimentet med hjälp av järn(III)joner och fosfatet kommer på så sätt att dras undan kretsloppet. Är syrgaskoncentrationen däremot låg reduceras järn(III)jonerna och fosfor frigörs som fosfatjoner i bottenvattnet.

Kemikalier

Reagens A: 6 g ammoniummolybdat löses i 125 mL avjonat vatten. 0,145 g kaliumantimonoxidtartat löses i 125 mL avjonat vatten. Lösningarna blandas med 0,5 L 2,5 M svavelsyra, späds till 1 L.

Spektrofotometri: Mätning i 1x1 cm, vid 880nm våglängd.

Utförande

Gör iordning reagenslösning B vilket består av 20 mL reagens A och tillsätta 100 mg askorbinsyrekristaller som får lösas. Tillsätt därefter 0,35 mL reagenslösning B i så många rör som ska mätas (gör dubbla prover), alla proverna + blanklösning + standard i plastburkar, provrör eller glasbägare. Lämpliga standardlösningar är 0,03, 0,3 och 3 mg P/L.

Tillsätt 3,7 mL prov, blank eller standard. Skaka

Mät provens absorbans efter mer än 20 minuter. Destillerat vatten används som 0-prov. Gör en standardkurva baserad på provblanken och standarder.

Mät på dubbla prover och beräkna medelvärde. Absorbansen hos blankprov av varje provlösning mäts och subtraheras från resultatet hos de behandlade proven.

Ammonium (NH₄-N)

Teori

När kväverika föreningar bryts ner bildas ammonium och i vatten med hög syrgaskoncentration kan en riklig förekomst av ammonium visa på förorening. Ammonium tillförs vattendrag via avrinning från gödslad åkermark och dessutom tillförs ammonium sjöar och vattendrag via nederbörden. I sötvatten är normalt ammoniumdelen av kvävefraktionerna låg, högst koncentrationer uppnås under hösten då nedbrytningen är större än den biologiska produktionen.

Utförande

Se bilaga 2, med undantag att proven ej filtrerades.

En serie prov späddes 10x, medan en serie analyserades utan spädning.

Absorbansen hos blankprov av varje provlösning mäts och subtraheras från resultatet hos de behandlade proven.

Resultat och diskussion

Tabell 1. Alkalinitet

Prov, mätplatser	Volym prov (ml)	Volym H ₂ SO ₄ (ml)	Alk (mekv/l)
Annedal	10	1.048	1,05
Harboån	10	0.624	0,62
Åbyån	10	0.473	0,47
Ubblixbo	10	1.047	1,05
Lindstadammen	10	0.714	0,71

Alkaliniteten som uppmättes i vattenproverna från fältbesöket 2010-04-26 hade en något lägre alkalinitet än vad som uppmättes vid omdrevsinventeringen 2007-11-26 (utförd av Länsstyrelsen i Uppsala Län). Se bilaga tabell 7 och 8. Detta kan ha att göra med årstiden då proverna togs. En något lägre alkalinitet skulle kunna förväntas på våren då snösmältning sker eller har skett. Variationen kan även bero på att bottenrotad vegetation, påväxtalger och växtplankton kan fälla ut avsevärd mängd kalk under de mest intensiva produktionsperioderna samtidigt som koldioxid tas upp från vattnet. En alkalinitet större än 0,2 mekv/l visar på ett vatten med mycket god buffertkapacitet.

Tabell 2. pH

Prov, mätplatser	pH
Annedal	7,4
Harboån	6,9
Åbyån	6,9
Ubblixbo	7,3
Lindstadammen	7,1

Vattenproverna hade pH-värden som var väldigt nära neutralt. Vid jämförelse med alkaliniteten, tabell 1, ses att de provpunkter med högst pH värden även hade de högsta värdena på alkaliniteten, och det prov med lägst uppmätt alkalinitet hade lägst pH. Däremot uppmättes samma pH-värde hos proven från Harboån och Åbyån medan dessa prov inte hade lika stor alkalinitet, något som kan bero på felanalys.

Tabell 3. Konduktivitet

Prov, mätplatser	kond. (mS/m)
Annedal	26,8
Harboån	21,0
Åbyån	14,1
Ubblixbo	27,0
Lindstadammen	21,5

Alla provställen utom Åbyån visade på en högre konduktivitet än vad som brukar förväntas i insjöar.

I sjöar som ligger nära havet kan man dock förvänta sig en något högre konduktivitet och för Tämnares del kan man därför förvänta sig en konduktivitet på ca 13,0. Undersökningar på

30-talet visade på att konduktiviteten i medeltal var 14,7 mS/m, ett förhöjt värde som förklaras med att marken omkring Tämnaaren relativt intensivt brukades som åkermark. Vid 1957 års undersökning uppmättes värden mellan 18,7 och 23,0 vilket får ses som en effekt av vattenståndssänkningen som ägde rum 1950-1953. Ökad erosion från gamla bottnar kan då innebära att salthalten ökar. När den omedelbara effekten av sänkningen hade avklingat visade en undersökning 1969 att värdet sjunkit något igen till 18,4. Från 1969 till 1974-1975 ökade dock elektrolythalten och ett medelvärde i sjön uppmättes till 26,7. Ett värde som även uppmättes i Tämnaaren och Sörsjön 2007, se tabell 8 och 9. Detta värde kan förklaras med flera samverkande faktorer. Ett intensivare jordbruk innebär större förluster av ämnen såsom Ca, Mg, Na, K, NCO_3 , SO_4 , Cl och närsalterna kväve och fosfor. Dessutom har befolkningens mängden i Harbo och Östervåla ökat vilket föranlett större avloppsvattenutsläpp. Transporten av närsalter har dessutom ökat markant sedan 1960-talet, en utveckling som inte är speciellt för Tämnaaren (Länsstyrelsen i Västmanlands län, 1979).

Tabell 4. Nitrat

Prov, mätplatser	NO_3^- (mg/L)	$\text{NO}_3\text{-N}$ ($\mu\text{g/L}$)
Annedal	6,3	1432
Harboån	7,1	1614
Åbyån*	1,8*	409*
Ubblixbo	6,7	1523
Lindstadammen	6,4	1455

Halterna visade sig ligga omkring 1500 $\mu\text{g/L}$ $\text{NO}_3\text{-N}$, förutom i provet taget i Åbyån där halten var mycket lägre. Halten längre uppströms i Harboån var högre än uppmätta halter vid Lindstadammen. Nitralthalterna som uppmättes i inloppen till sjön, Åbyån och Lindstadammen, var tillsammans högre än vad som uppmättes i Tämnaaren i Annedal. Nitralhalten längre nedströms i Tämnaaren, vid Ubblixbo, var högre än vad som uppmättes i Annedal.

Tabell 5. Uppmätt absorbans i blankprov

Prov, mätplatser	$\text{PO}_4\text{-P}$ ($\mu\text{g/L}$)	$\text{NH}_4\text{-N}$ ($\mu\text{g/L}$)
Annedal	0,058	0,012
Harboån	0,071	0,018
Åbyån*	0,041*	0,009*
Ubblixbo	0,058	0,012
Lindstadammen	0,098	0,016

Tabell 6. Fosfat-fosfor

Prov, mätplatser	Prov 1. PO4-P (µg/L)	Prov 2. PO4-P (µg/L)	Medel (µg/L)
Annedal	40,0	53,0	46,5
Harboån	76,0	96,0	86,0
Åbyån*	42,0*	63,0*	52,5*
Ubblixbo	28,0	29,0	28,5
Lindstadammen	17,0	20,0	18,5

*Ej konserverat prov

I inloppet till Tämnaren, Åbyån, är halten fosfat högre än vad som uppmättes i utloppet i Annedal och Ubblixbo. Vid Lindstadammen som utgör inloppet till Sörsjön var fosfathalten lägre än vad som uppmättes längre uppströms i Harboån. Ingående fosfathalter till Sörsjön var lägre än utgående halterna i Tämnarån vid Annedal och Ubblixbo. Detta kan ha en förklaring i att halterna som går in i Sörsjön och därefter i Norrsjön adderas till halterna som kommer till Norrsjön från Åbyån. Dock är dessa adderade halter högre än vad som uppmättes i Annedal och det rinner alltså ut mindre fosfat än det kommer in till sjön.

Tabell 7. Ammonium

Prov, mätplatser	Prov 1. NH4-N (µg/L) (multiplicerad med 10)	Prov 2. NH4-N (µg/L)	Medel (µg/L)
Annedal	18,0	16,0	17,0
Harboån	22,0	16,0	19,0
Åbyån*	21,0*	15,0*	18,0*
Ubblixbo	18,0	24,0	21,0
Lindstadammen	14,0	(5,0)	14,0

*Ej konserverat prov

Koncentrationen av ammonium hos det outspädda provet vid Lindstadammen blev mycket lägre än koncentrationen av ammonium i proven från de övriga mätpunkterna och därför har detta värde inte använts vid beräkning av medelvärde. Vid jämförelse med värden uppmätta vid omdrevsinventeringen 2007-11-26 och riksinventering 2000-11-01, se bilaga 1, ses att dessa värden är högre för Sörsjön och Åbyån, medan värdet i Tämnaren är mindre. Att värdena är högre vid mätningar som skett på hösten kan förklaras, som redan nämnts i teoridelen, med att nedbrytningen är högre än den biologiska produktionen. På våren då växtligheten ökar är ammonium den form av kväve som växterna först tar upp. Mätningarna från fältbesöket har ingen motsvarande mätpunkt i Tämnaren som vid omdrevsinventeringen 2007-11-26, utan mätningarna 2010-04-26 utfördes i vattendragen in till Tämnaren respektive Sörsjön.

Felkällor

Djupet vid vilket proven upphämtades varierade mycket mellan provställena beroende på framkomligheten till vattnet. Provet i Åbyån hämtades mycket ytligare än övriga prov pga att pinnen inte kunde användas då det fattades tejp att fästa provflaskan med. Detta kan vara en förklaring till att nitrathalten i just provet taget i Åbyån visade på mycket lägre halter än övriga provställena och varför även konduktiviteten var lägre i detta prov. Dock avviker övriga värden uppmätt i provet från Åbyån inte nämnvärt. För att kunna mäta pH, alkalinitet och konduktivitet fick provet inte vara konserverat därför skedde konservering av provet i Åbyån

inte i samband med provtagningen. Anledningen till detta var att endast en flaska fylldes med prov och även detta kan vara en förklaring till den låga nitrathalten.

Slutsats

pH i Tämnaån in- och utlopp är närmast neutralt och alkaliniteten i proven varierade mellan 0,47 och 1,05 där lägst värde uppmättes i Åbyån. Konduktiviteten som uppmättes i vattenproven visade på förhöjda värden. Nitratkoncentrationen uppmätt längre uppströms i Harboån var högre än vad som uppmättes vid Lindstadammen. Lägst koncentration av nitrat uppmättes i Åbyån som rinner in till Tämnaåns norra del. Halten i inloppet till Sörsjön och i utloppet från Nordsjön var i det närmaste lika. Högre halter fosfat uppmättes i vattendragen in till sjön än vad som uppmättes i utloppet. Ammoniumhalterna var ungefär lika stora i både ingående och utgående vattendrag. Noteras kan att ett högre värde uppmättes i Tämnaån vid Ubblixbo än i Annedal.

Referenser

Bydén, S., Larsson, A., Olsson, M., *Mäta vatten – Undersökningar av sött och salt vatten* Inst. För miljövetenskap och kulturvård 2003

Hylander, L. Bestämning av fosfatfosfor med molybdatmetoden 08-11-10

Länsstyrelsen i Västmanlands län, *Utredning om Tämnaaren etapp 1*, 1979

Bilaga 1.

Tabell 8. Analysdata omdrevsinventering 2007-11-26 – Tämnaaren, mätpunkt 667402 158923

pH	7,69
Alkalinitet (mekv/l)	1,87
Konduktivitet (mS/m25°C)	26,3
Ammonium (NH ₄ -N µg/l)	8
Tot-P (µg/l)	40
Tot-N (µg/l)	980
NO ₂ +NO ₃ -N (µg/l)	108
PO ₄ -P (µg/l)	10

Tabell 9. Analysdata omdrevsinventering 2007-11-26 – Sörsjön, mätpunkt 666846 - 158447

pH	7,27
Alkalinitet (mekv/l)	1,59
Konduktivitet (mS/m25°C)	28,7
Ammonium (NH ₄ -N µg/l)	68
Tot-P (µg/l)	102
Tot-N (µg/l)	2663
NO ₂ +NO ₃ -N (µg/l)	1817
PO ₄ -P (µg/l)	59

Tabell 10. Analysdata riksinventering 2000-11-01 – Åbyån, mynning till Tämnaaren, mätpkt. 667154 - 158101

pH	7
Alkalinitet (mekv/l)	1,36
Konduktivitet (mS/m25°C)	22,7
Ammonium (NH ₄ -N µg/l)	54
Tot-P (µg/l)	160
Tot-N (µg/l)	2358
NO ₂ +NO ₃ -N (µg/l)	1844

Tabell 11. Analysdata från samordnad recipientkontroll 2000-12-12 Tämnrån mätpkt. 6696180 - 1596430

pH	6,9
Alkalinitet (mg/l)/(mekv/l)	110/1,80
Konduktivitet (mS/m25°C)	29,4
Ammonium (NH ₄ -N µg/l)	52
Tot-P (µg/l)	35
Tot-N (µg/l)	2300
NO ₂ +NO ₃ -N (µg/l)	1200
PO ₄ -P (µg/l)	16

Tabell 12. Analysdata från samordnad recipientkontroll 2003-08-14 Tämnrån mätpkt. 6696180 - 1596430

pH	7,5
Alkalinitet (mg/l)/(mekv/l)	110/1,80
Konduktivitet (mS/m25°C)	25,5
Ammonium (NH ₄ -N µg/l)	24
Tot-P (µg/l)	58
Tot-N (µg/l)	1400
NO ₂ +NO ₃ -N (µg/l)	270
PO ₄ -P (µg/l)	7

Bilaga 2.

Department of Earth Sciences
Uppsala university

Roger Herbert

Determination of ammonium nitrogen (NH₄⁺-N) in fresh water

Analytical principles

An intensely blue compound, indophenol, is formed by the reaction of ammonia, hypochlorite and phenol, catalyzed by nitroprusside.

Procedure

1. Add 10 mL of sample to 15 mL centrifuge tube. Sample should be filtered prior to use.
2. Add 1 mL of phenol – nitroprusside reagent and mix well.
3. Add 1 mL of hypochlorite reagent and mix well.
4. Let tube stand for 1 hour to develop color. The color is stable for 24 hours.
5. Determine absorbance in a 1 cm cuvette at 635 nm in a spectrophotometer. Distilled water can be used as the spectrophotometer blank.

Calibration range

The concentration of ammonium in the water sample is determined from a calibration curve. Note that the calibration curve is roughly linear in the concentration range of 0 – 0.1 mg/L NH₄⁺-N (fitting the curve with a second-order polynomial will give an exact fit). A calibration curve should be constructed with at least three samples, for example 0, 0.05, and 0.1 mg/L NH₄⁺-N. Above 0.1 mg/L, the sample absorbance becomes rapidly too high for accurate determination.

As many natural waters will have an ammonium-nitrogen concentration above 0.1 mg/L, these samples should be diluted prior to determination. A 1:10 or 1:100 dilution is often a good starting point.

Interferences

If the water sample contains colored humic material, blind samples should also be analyzed, where the blind consists of the sample + phenol-nitroprusside reagent. The absorbance which depends on the inherent color of the water is then subtracted from that of the sample after addition of both reagents.

Chemicals

Phenol-nitroprusside reagent

Reagent contains 5 g phenol p.a. and 0.025 g sodium nitroprusside [Na₂ Fe(CN)₅NO*2H₂O] dissolved in 100 mL deionized water. Solution is stable for 2 months in dark storage in the refrigerator.

Alkali hypochlorite reagent

Reagent contains 2.5g NaOH and 0.21g active chlorine (in hypochlorite) in 100 mL deionized water. Solution is stable for 2 months in dark storage in the refrigerator.

As hypochlorite will degrade over time, the strength of a hypochlorite solution must be determined from time to time by titration with thiosulfate. The fresh hypochlorite solution available in the laboratory has a concentration of 0.5M, which is 1.77 g Cl/100 mL. Thus, 11.9 mL of this solution are used in the reagent, which is diluted with deionized water to a total volume of 100 mL.

Ammonium solution (100 mg NH₄⁺-N/L)

0.3819 g NH₄Cl, dried at 100 °C and stored in a dessicator, are dissolved in 1000 mL deionized water. Stored in refrigerator. Department of Earth Sciences Roger Herbert Uppsala university

References

Ahlgren & Ahlgren 1976, Limn. inst., Uppsala univ.

