



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för naturresurser och
jordbruksvetenskap

Samband mellan näringsämnen och växtplankton i näringsfattiga kväve- och fosforbegränsade sjöar

Mathilda Lundgren

Samband mellan näringsämnen och växtplankton i näringsfattiga kväve- och fosforbegränsade sjöar

Mathilda Lundgren

Handledare: Jens Fölster, Sveriges Lantbruksuniversitet,
Institutionen för vatten och miljö
Btr handledare: Stina Drakare
Examinator: Maria Kahlert, Sveriges lantbruksuniversitet,
Institutionen för vatten och miljö

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E

Kurstitel: Självständigt arbete i miljövetenskap - kandidatarbete

Kurskod: EX0688

Program/utbildning: Biologi och miljövetenskapsprogrammet

Utgivningsort: Uppsala

Utgivningsår: 2016

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: Tot-P, DIN, fosfor, kväve, oligotrof, näringsfattig, biovolym, TPI, procentandel cyanobakterier, multipel regression, samband, bedömningsgrunder

Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap
Institutionen för vatten och miljö

Abstract

Sweden's national environmental goal "no eutrophication" focuses on the problem of eutrophication in Swedish waters. This study is based on statistical analysis of water chemistry and phytoplankton data from environmental monitoring of nutrient nitrogen and phosphorus limited lakes. The survey is performed to possibly revise assessment criteria for eutrophication. It is a flawed compliance between these data, and therefore this study is of interest.

Phytoplankton grows by sunlight and nutrients, particularly nitrogen and phosphorus for which phosphorus is the limited nutrient. Environmental analysis follows the criteria and is implemented partly for monitoring eutrophication in lakes. The recommended criteria to classify the lake as nitrogen or phosphorus limited is the ratio of DIN (Dissolved Inorganic Nitrogen) and Tot-P (total phosphorus).

The material of the study includes data for both water chemistry and phytoplankton which are collected mainly from MVM's (Land, water and environment center) environmental database. The data were processed in the statistics program JMP and also in ArcGIS. The water chemistry parameters consisted of Tot-P and DIN and phytoplankton data included the total biovolume, TPI (planktonic trophic index), and percentage cyanobacteria. The statistical analysis was performed by linear regressions to describe the nutrients effects on the various phytoplankton.

The sampling frequency for lakes in southern Sweden is predominant in comparison with the northern regions. The regressions showed that there were a stronger link in northern Sweden than in the south in terms of the total biovolume. The growth of biovolume with respect to Tot-P also differ depending on whether the lake is nitrogen or phosphorus limited. There were also a different growth for biovolume with respect to DIN in northern and southern Sweden. Multiple regressions with biovolume and DIN for nitrogen and phosphorus limited lakes together gave no significant values. However, there was correlation between biovolume and DIN in the study of nitrogen and phosphorus limited lakes separately in simple regressions.

The correlations were weaker for biovolume in southern Sweden, and could be explained by that the nitrogen deposition is higher there. The lakes in northern Sweden will therefore be more sensitive to the addition of nutrients. Biovolume relative to total-P gave stronger connections in the nitrogen limited lakes i.e. supply of phosphorus gives greater effect in nitrogen limited lakes than in phosphorus limited. The nitrogen limited lakes are therefore more sensitive to the addition of phosphorus.

The method used in the study does not give complete answers. Therefore, there are opportunities to do further work and studies in the area.

Sammanfattning

Sveriges nationella miljömål ”ingen övergödning” fokuserar på problemet med övergödning i Svenska vatten. Den här studien baseras på statistiska analyser av vattenkemi- och växtplanktondata från miljöövervakningen i näringsfattiga kväve- och fosforbegränsade sjöar. Undersökningen utförs för att eventuellt revidera bedömningsgrunderna för övergödning. Det är en bristfällig överensstämmelse mellan dessa data och studien är därför av intresse.

Växtplankton tillväxer av solljus och näringsämnen, framförallt kväve och fosfor där fosfor är det begränsade näringsämnet. Miljöanalys följer bedömningsgrunder och genomförs bland annat för att övervaka övergödning i sjöar. Den rekommenderade bedömningsgrunden för att klassa en sjö som kväve- eller fosforbegränsad är kvoten mellan DIN (Dissolved Inorganic Nitrogen) och Tot-P (totala fosforhalten).

Materialet i studien omfattar data för både vattenkemi och växtplankton som insamlades i huvudsak från MVM:s (Mark- vatten och miljöcentrums) miljödatas. Data bearbetades i statistikprogrammet JMP och även i ArcGIS. De vattenkemiska parametrarna bestod av Tot-P och DIN och de växtplanktondata som studerades var den totala biovolymen, TPI (trofisk planktonindex) och procentandel cyanobakterier. De statistiska analyserna genomfördes med linjära regressioner för att beskriva om näringsämnena påverkar de olika bio-indexen.

Provtagningar för sjöar i södra Sverige dominerar i jämförelse med de norra delarna. Regressionerna visade att det förekom starkare samband i norra Sverige än i södra när det gäller den totala biovolymen. Tillväxten av biovolym med avseende på Tot-P skiljer sig även åt beroende på om sjön är kväve- eller fosforbegränsad. Vidare skiljer sig tillväxten åt för biovolym med avseende på DIN i norra och södra Sverige. Multipla regressioner med biovolym och DIN för kväve- och fosforbegränsade sjöar tillsammans gav inga signifikanta samband. Dock förekom samband mellan biovolym och DIN vid studie av kväve- och fosforbegränsade sjöar separat i enkla regressioner.

Sambanden var sämre för biovolym i södra Sverige vilket kan förklaras av att kvävedepositionen är högre där. Sjöarna i norra Sverige blir därför känsligare för tillförsel av näringsämnen. Biovolym i förhållande till Tot-P gav starkare samband i de kvävebegränsade sjöarna dvs. tillförsel av fosfor ger större effekt i kvävebegränsade sjöar än i fosforbegränsade. De kvävebegränsade sjöarna är därmed känsligare mot tillförsel av fosfor.

Metoden som används i studien ger dock inte fullständiga svar. Det finns därför möjligheter till fortsatt arbete och fördjupning inom området.

Innehållsförteckning

Tabellförteckning	5
Figurförteckning	6
Förkortningar	7
1. Inledning	8
1.1 Teori/Bakgrund	8
2 Syfte och Mål	11
2.1 Hypoteser	11
3 Material och Metod	12
3.1 Dataunderlag	12
3.1.1 Insamling	12
3.1.2 Dataprogram	14
3.1.3 Rensning	14
3.1.4 Indelning av kväve- och fosforbegränsade sjöar	15
3.1.5 Statistisk analys	15
4 Resultat	17
4.1 Samband mellan växtplankton och näringsämnen.	17
4.1.1 Biovolym	17
4.1.2 Procentandel cyanobakterier	18
4.1.3 Medelvärdet av TPI	18
4.2 Jämförelse mellan Norra och södra Sverige	18
4.2.1 Biovolym	19
4.2.2 Procentandel cyanobakterier	21
4.2.3 TPI	21
4.3 Jämförelse mellan kväve och fosforbegränsade sjöar	22
4.3.1 Biovolym	22
4.3.2 Procentandel cyanobakterier	23
4.3.3 TPI	23
4.4 Fördjupning av biovolymens förhållande till DIN	24
4.4.1 Kvävebegränsade sjöar, en jämförelse mellan norra och södra Sverige	24
4.5 Interaktion mellan DIN och Tot-P	25
4.5.1 Biovolym	25
4.5.2 Procentandel cyanobakterier	26

4.5.3	TPI	26
5	Diskussion och slutsats	27
5.1	Jämförelse mellan Norra och södra Sverige	27
5.1.1	Biovolym	27
5.1.2	Procentandel cyanobakterier	28
5.1.3	TPI	28
5.2	Jämförelse mellan kväve och fosforbegränsade sjöar	28
5.2.1	Biovolym	28
5.2.2	Procentandel cyanobakterier	29
5.2.3	TPI	30
5.3	Fördjupning av biovolymens förhållande till DIN	30
5.3.1	Kvävebegränsade sjöar, en jämförelse mellan norra och södra Sverige	31
5.4	Interaktion mellan DIN och Tot-P	31
6	Slutsatser	32
6.1	Fortsatt arbete	32
	Referenslista	34

Tabellförteckning

Tabell 1. r^2_{adj} [%] för biovolym, procentandel cyanobakterier och TPI.	18
Tabell 2. Multipel regression för biovolym, procentandel cyanobakterier och TPI med dummyvariabeln för norra och södra Sverige samt korsvariabler.	19
Tabell 3. Multipel regression för biovolym, procentandel cyanobakterier och TPI med dummyvariabel för kväve- och fosforbegränsade sjöar samt korsvariabler.	22
Tabell 4. Enkla regressioner för biovolym och Tot-P i kväve- respektive fosforbegränsade sjöar.	23
Tabell 5. Fördjupning. Regressioner mellan biovolym och DIN samt Tot-P i (1) kväve- och fosforbegränsade sjöar tillsammans, (2) kvävebegränsade sjöar i hela Sverige och (3) Kvävebegränsade sjöar i Norrbotten.	24
Tabell 6. Multipel regression för biovolym, procentandel cyanobakterier och TPI. Studier av eventuella interaktioner mellan DIN och Tot-P.	25

Figurförteckning

- Figur 1.* Sveriges sju sjölimniska regioner samt de studerade sjöarnas lokalisering (svarta punkter). 13
- Figur 2.* Logaritmerade medelvärden av biovolym [mm^3/l] som funktion av logaritmerade medelvärden av Tot-P [$\mu\text{g}/\text{l}$] för sjöar i norra Sverige. Ett exempel på hur fjällsjöar urskiljs av en takformad markering i brunt. 17
- Figur 3.* De uppmätta logaritmerade medelvärdena som funktion av de logaritmerade modellerade medelvärdena för biovolym [mm^3/l]. Ett exempel på när punkterna ligger nära regressionslinjen, vilket tyder på att modellen fungerar. 20
- Figur 4.* De uppmätta medelvärdena som funktion av de modellerade medelvärdena för biovolym [mm^3/l]. Ett exempel på när medelvärdena inte är logaritmerade. 20

Förkortningar

SLU = Sveriges lantbruksuniversitet

MVM = Mark-, vatten- och miljöcentrum vid SLU i Uppsala

DIN = Dissolved Inorganic Nitrogen

Tot-P = Totalfosfor

TPI = Trofiskt planktonindex

MÖ= Miljöövervakningen

NMÖ = Nationella miljöövervakningen

1. Inledning

Denna studie har grundas på statistiska analyser av vattenkemi- och biologidata från miljöövervakningen. Det är bristfällig överensstämmelse mellan dessa data och det behövs därför någon som undersöker sambanden mellan vattenkemi och biologi i näringsfattiga sjöar. För att kunna studera sambandet mellan parametrarna krävs det att data är tillgängligt för båda, bland provtagningarna är biologidata i centrum men det finns även kemidata att hitta.

I den här studien ligger fokus på sambandet mellan näringsämnen och växtplankton i näringsfattiga kväve – och fosforbegränsade sjöar. Studien ska ge en uppfattning om vilka parametrar som styr tillväxten i de olika oligotrofa sjöarna. Även skillnad som förekommer i kväve- och fosforbegränsade sjöar i södra respektive norra Sverige studeras.

1.1 Teori/Bakgrund

Sjöar som har klassats som näringsrika kallas eutrofa, där förekommer det rikligt med växtlighet, primärproduktionen är hög. Oligotrofa sjöar är näringsfattiga sjöar som är begränsade av olika näringsämnen. För att klassa sjöarna efter näringshalt studeras totalfosforhalten i sjön. Om halten ligger över 25 µg/l klassas sjön som eutrof eller hypereutrof, medan om halten ligger under klassas den som mesotrof eller oligotrof (Naturvårdsverket, 2007).

Näringsämnena fosfor och kväve förekommer i sjöar i både organisk och oorganisk form. Fosfor finns bundet i organismer, som fria joner i vattenmassan och bundet till partiklarna i sedimenten. Kväve finns även det bundet i organismer och är viktig för bland annat kolhydratomsättningen i växterna (Jan *et al.*, 2011). Det växttillgängliga kvävet är kväve i oorganisk form (DIN), medan fosfor kan tas upp av växterna även i organisk form. Växtplankton är organismer som befinner sig i den öppna vattenmassan och livnär sig på tillgängliga näringsämnen samt solljus via sina klorofyllmolekyler. Årstidsförändringarna i form av vårcirkulation och stagnation på sommaren påverkar växtplanktonsamhället. Det finns flest arter under sommartiden då uppehållstiden för vattnet är längre (Paerl *et al.*, 2001; Naturvårdsverket, 2010).

Fosfor och kväve är de växtnäringsämnen som är mest begränsande i Svenska sjöar. Det medför att det är dessa som begränsar utvecklingen och tillväxten av växtsamhällena i sjön (Persson, 1998). Fosfor anses vara det mest begränsade näringsämnet för växtplankton i sjöar och det betyder att en tillförsel av kväve inte skulle påverka tillväxten av biomassa i sjön utan det sker endast vid tillförsel av fosfor (David W., 1974). Det finns undantag i de sjöar som har en låg kvävedeposition eller är väldigt utsatta för fosforläckage, från ex. jordbruk, och därmed kan bli kvävebegränsade. De sjöar som är starkt utsatta för fosfortillförsel kan bli kvävebegränsade tillfälligt och kan medföra tillväxt av giftiga blågröna alger som är kvävefixerare (Fölster & Djodjic, 2015). De växtplanktonindex (bio-index) som studerats i denna undersökning är TPI (trofiskt planktonindex), procentandelen cyanobakterier och den totala biovolymen. TPI räknas fram genom att studera indikatorarter i eutrofa eller oligotrofa sjöar. TPI har ett värde mellan -3 (oligotrofa) och 3 (eutrofa) (Svensson et al., 2011). Cyanobakterier är planktonorganismer som förekommer i vattenmassan, vissa kan vara giftiga och andra kan fixera organiskt kväve. Den totala biovolymen är den totala mängden växtplankton som förekommer i sjön.

Studerad data har samlats in via miljöövervakningen som är en del av miljöanalyserarbetet. Miljöanalys genomförs för att få en överblick över miljötillståndet i ett område över tid dvs. en övervakning över sjöar, skogar, jordbruksmark och arter för att urskilja om det sker någon förändring i miljön över tiden. Miljöanalys som sker på SLU (Sveriges lantbruksuniversitet) sker i tio olika program, inom tio olika ämnesområden (*SLU:s miljöanalys - SLU - Sveriges lantbruksuniversitet*). Det är fokus på sötvattenprogrammet i den här studien. Miljöanalys är en viktig del i arbetet för att uppnå en hållbar utveckling och för att uppnå Sveriges nationella miljömål. Miljöanalysen följer bedömningsgrunder som styrs av EU:s vattendirektiv och konventioner. En bedömningsgrund används för att kunna klassa sjöar efter dess höga eller låga värde i förhållande till ett referensvärde. Bedömningsgrunderna tas fram genom beräkning av ett referensvärde för sjön eller vattendraget. Den avvikelse som värdena på parametrarna har från referensvärdet fastställer klassningen för graden av påverkan (Naturvårdsverket, 2007). Klassningen används sedan för att bedöma sjöns tillstånd ur övergödningssynpunkt och som en aktuell hjälp i arbetet för att uppnå miljömålet ”ingen övergödning”.

De reviderade bedömningsgrunderna kom när ramvattendirektivet infördes och sjöar började klassas efter sin ekologiska status (Naturvårdsverket, 2007). Vid studie av den ekologiska statusen för en sjö är det fokus på organismsamhällets sammansättning. De aktuella bedömningsgrunderna för övergödning är främst framtagna för att kassa eutrofa (näringsrika) sjöar i södra Sverige, som är påverkade av

bland annat jordbruk. Det kan ge en skev bild över hur förhållandena i de näringsfattiga sjöarna ser ut, de kan bli felaktigt klassade. Problematiken med de kvävebegränsade sjöarna har lyfts fram nu på senare tid (Fölster & Djodjic, 2015). Det förekommer bristande mängd data för biologiska parametrar och det är svårt att klassa sjöarna med avseende på biologi. Därför används de kemiska parametrarna för att klassa den ekologiska statusen för sjön. Det saknas även bedömningsgrunder mellan de kemiska och de biologiska kvalitetsfaktorerna i näringsfattiga sjöar, en förbindelse saknas (Fölster & Djodjic, 2015). Att det saknas bedömningsgrunder för kväve är diskutabelt eftersom senare forskning har visat att det förekommer kvävebegränsning i flera akvatiska system, detta tas upp av bland annat Bergström, 2010.

I den senaste versionen av bedömningsgrunderna har endast hänsyn tagits till fosfor eftersom det antas vara det näringsämnet i sötvatten som begränsar primärproduktionen. Det finns dock frågor som väcker intresse för att även framställa bedömningsgrunder för kväve. Bland annat för att kunna bedöma de kvävebegränsade sjöarna i norra Sverige, där kvävedepositionen är lägre (Andersson *et al.*, 2011). Även för att kunna hitta lösningar till problemet med kväveutlakning till havet, där näringsämnet är ett större problem (Fölster & Djodjic, 2015). Den bedömningsgrund som är rekommenderad att använda för att klassa en sjö som kvävebegränsad eller fosforbegränsad är kvoten mellan DIN (Dissolved Inorganic Nitrogen) och Tot-P (totala fosforhalten) (Bergström, 2010). Kvoten medför att det inte behöver finnas ett överflöd av fosfor för att kvävet ska bli det begränsade näringsämnet i sjön.

2 Syfte och Mål

Syftet med studien var att ta fram underlag för att eventuellt revidera bedömningsgrunder för övergödning i näringsfattiga sjöar. Fokus ligger på kväve- och fosforbegränsade sjöar och hur sambanden mellan bio-index (TPI, biovolym och procentandelen cyanobakterier) och Tot-P eller DIN ser ut. Även hur det skiljer sig åt beroende på om sjön är lokaliserad i norra eller södra Sverige. Eftersom bedömningsgrunderna använder sjöar i södra Sverige, som oftast är eutrofa, som utgångspunkt ska det undersökas om det blir någon skillnad i bedömningsgrunderna om man utgår från oligotrofa sjöar. De flesta oligotrofa sjöar återfinns i norra Sverige men de förekommer även i de södra delarna.

2.1 Hypoteser

Sambandet mellan biologiska och kemiska parametrar ser olika ut i kväve – respektive fosforbegränsade sjöar.

Skillnad förekommer i en jämförelse av kväve- och fosforbegränsade sjöar i norra och södra Sverige, framförallt eftersom kvävedepositionen och fosforläckaget är högre i södra Sverige.

3 Material och Metod

3.1 Dataunderlag

3.1.1 Insamling

Befintlig miljödata från miljöövervakningen (MÖ) för vattenkemi och biologi hämtades från MVM:s (Mark- vatten- och miljöcentrums) miljödatabas (*Miljödata MVM - Search*). All växtplanktondata i Sverige, inklusive index, samt kemidata i sjöar från alla nationella miljöövervakningsdata (NMÖ) användes i studien. Samt en kompletterande del av vattenkemidata, från andra program, för de sjöar som erhöll befintlig växtplanktondata men saknade kemidata från NMÖ. Data omfattade medelvärden mellan tre och tio år med start 2005-12-28 till och med 2015-12-28, för att minska osäkerheterna och öka möjligheterna för ett rimligt resultat.

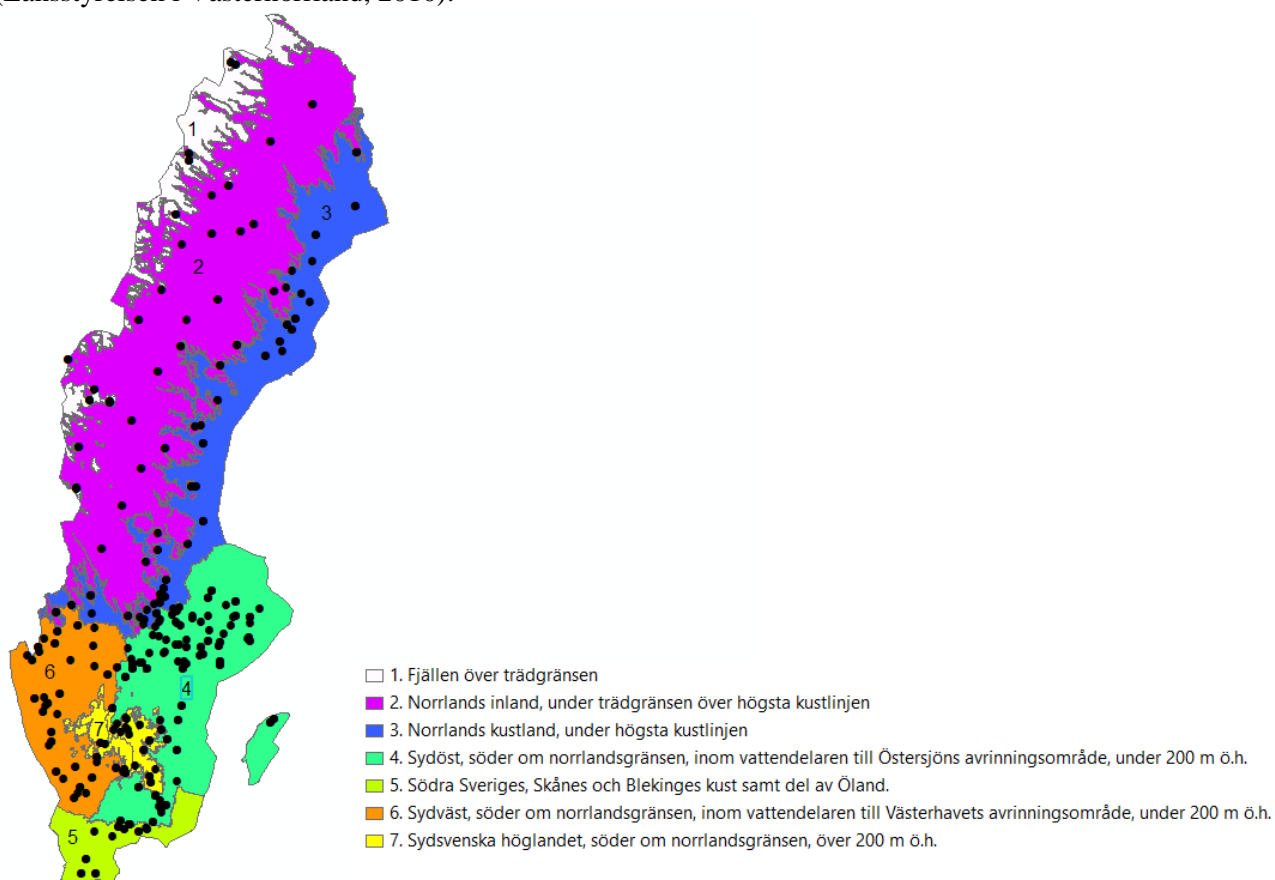
Den praktiska insamlingen av data genomförs med båt, oftast från den djupaste delen av sjön. Prover tas för vattenkemi och biologi på olika djup och med olika rör. För vattenkemi används en Ruttnerhämtare som även tar temperaturen på vattnet. Proverna tas på förbestämda djup. Biologin i sjön mäts med en planktonhåv för att få kvalitativa prov och en rörhämtare (Rambergör) för att få kvantitativa prov, proverna tas på bestämda djup om två meter. Proven tas i epilimnionskiktet, beroende på sjöns storlek regleras antalet provtagningar (Institutionen för Vatten och Miljö, SLU, 2006). För att få en praktisk förståelse över hur insamlingen går till genomfördes en provtagning i fält på Ekoln.

Markanvändningen från avrinningsområdena baserades på svensk marktäckningsdata som hämtades från SLU:s interna databaser. Markanvändningsområdena delades in i större generella grupper; urbanmark, jordbruksmark, skog, våtmark, övrigt, vatten och utanför Sverige. För dessa grupper räknades andelen av den totala markanvändningen ut. Det gav en översikt över den mänskliga påverkan på sjön i området. För att dela upp landet i norra och södra Sverige användes de sju sjölimniska regionerna. Verktyg i ArcGIS användes för att sammanfoga ekoregiondata med koordinaterna för de sjöar som studeras, det visade vilken ekoregion respektive sjö tillhör.

Sverige har sju stycken sjölimniska regioner:

1. Fjällen över trädgränsen
2. Norrlands inland, under trädgränsen över högsta kustlinjen
3. Norrlands kustland, under högsta kustlinjen
4. Sydöst, söder om norrlandsgränsen, inom vattendelaren till Östersjöns avrinningsområde, under 200 m ö.h.
5. Södra Sveriges, Skånes och Blekinges kust samt del av Öland.
6. Sydväst, söder om norrlandsgränsen, inom vattendelaren till Västerhavets avrinningsområde, under 200 m ö.h.
7. Sydsvenska höglandet, söder om norrlandsgränsen, över 200 m ö.h.

(Länsstyrelsen i Västernorrland, 2010).



Figur 1. Sveriges sju sjölimniska regioner samt de studerade sjöarnas lokalisering (svarta punkter).

3.1.2 Dataprogram

Data hanterades i programmet JMP som är ett statistikprogram som arbetar med tabeller, grafer och statistiska modeller. Genom JMP bearbetades den insamlade datan för att få en strukturerad metadatafil med endast de parametrar som skall studeras i studien. För att studera samband mellan de olika sjöarna och parametrarna genomfördes linjär regression. Det är en metod som tillämpas vid analyser av en y-parameter mot en eller flera x-parametrar. Vid hanteringen av geografiska data användes ArcGIS som är ett program för geografiska informationssystem.

3.1.3 Rensning

Studien omfattade data för både vattenkemi och växtplankton från MVM:s miljödatabas. De vattenkemiska parametrarna omfattade: Tot-P (totalfosfor), PO₄ (fosfat), NH₄ (ammonium), pH, NO₂+NO₃ (nitrit + nitrat), Tot-N (Totalkväve), absorbans (både ofiltrerad och filtrerad), TOC (totalorganiskt kol), DOC (upplöst organiskt kol) och turbiditet (grumlighet). De växtplanktondata som studerades var: klorofyll, totala biovolymen, TPI (trofisk planktonindex) och procentandel cyanobakterier. Den enhet som användes var µg/l för de kemiska och mm³/l för de biologiska parametrarna. Endast augusti månad valdes ut eftersom växtplanktonprover dominerar och blomningen är som störst då. För att erhålla rena vattenkemiprover och rimligare resultat, då det förekommer sommarstagnation i sjöarna, studeras endast ytprover(0,5m) (Naturvårdsverket, 2007). Gonyostomumsjöar önskas inte vara med i studien då de kan ge skeva resultat i analysen av biovolym. Alla sjöar som innehåller mer än 5 % Gonyostomum klassas som en Gonyostomumsjö och uteslöts (Willén, 2005).

Studien avgränsades till oligotrofa och mesotrofa sjöar med en totalfosforhalt lägre än 25 µg/l. När ett referensvärde räknas fram ska sjön vara opåverkad av människan, sjöarna ska studeras i dess naturliga tillstånd. Alla sjöar som påverkas av mer än 10 % jordbruksmark rensades därför bort (Naturvårdsverket, 2007; Fölster, 2014). Endast kväve och fosforbegränsade sjöar studeras och de klassades med DIN/Tot-P-kvoten. Alla värden från 2015 uteslöts på grund av att dessa var för få och kunde påverka medelvärdet negativt. Vid granskningen av data upptäcktes avvikande värden som var felinmatade från labb och rensades bort. Endast sjöar med tre prov eller fler ingick i studien eftersom medelvärden av flera värden ger stabilare resultat.

3.1.4 Indelning av kväve- och fosforbegränsade sjöar

Att dela in sjöarna i olika klasser beroende på vilken status de har är betydelsefullt i en studie av förhållandet mellan näringsämnen och växtplankton. Ett flertal klassningar genomfördes för att uppnå det tänkbart bästa resultatet.

Klassningen med DIN/Tot-P- kvoten användes för att fastställa vilka sjöar som är kvävebegränsade respektive fosforbegränsade. Kvoten har lyfts fram som den rekommenderade klassningen för näringsfattiga sjöar av Bergström, 2010. DIN räknas fram genom att summera nitrat, nitrit och ammonium ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2 + \text{NH}_4$) dvs. alla parametrar för oorganiskt kväve. Om DIN/Tot-P-kvoten $< 1,5 \mu\text{g/l}$ klassas sjön som kvävebegränsad (1) om kvoten är $> 3,4 \mu\text{g/l}$ klassas den som fosforbegränsad (3). Om kvoten hamnar där emellan kan sjön vara både fosfor och kvävebegränsad (2) (Bergström, 2010). Ett av syftena med studien är att studera skillnader mellan de kvävebegränsade och fosforbegränsade sjöarna. Det medför att endast klassning 1 och 3 behölls. Det som kan sänka kvoten och få sjön att klassas som kvävebegränsad är mängden kvävedeposition på området. Det är högre deposition i södra Sverige och lägre i det norra alpina regionerna (Bergström, 2010). När medelvärdet för provtagningsåren beräknades medförde det att vissa sjöar fick båda klassningarna. Dessa sjöar växlar mellan åren med att vara kväve- respektive fosforbegränsade i augusti. Det är rimligt eftersom tillförseln av näringsämnen varierar mellan åren.

DIN används i analysen istället för Tot-N för att växtplankton inte tar till sig organiskt kväve som ett näringsämne utan de tillgängliga kvävet tillförs växterna i form av ammonium och nitrat (Bergström, 2010). När en sjö blir klassad som oligotrof enligt klassificeringen baserat på Tot-P tas ingen hänsyn till kväve, endast Tot-P. Det kan medföra att en sjö som blir klassad som eutrof fortfarande är kvävebegränsad i klassningen med DIN/Tot-P-kvoten, dvs. sjön kan bli klassad som näringsrik trots att den är kvävebegränsad. Dessa sjöar kommer inte studeras i denna undersökning då fokus ligger på oligotrofa, näringsfattiga sjöar baserat på klassningen med Tot-P.

3.1.5 Statistisk analys

Ett medelvärde av den erhållna datan beräknas för varje sjö. För att kunna göra normalfördelade residualer och därmed avgöra om provtagningsfrekvensen är relevant togs tiologaritmen av alla medelvärden. För att studera vilka de lämpligaste antalet provtagningar var sparades residualer för varje parameter och studerades sedan mot antalet provtagningar. Antalet provtagningar var mellan tre till nio stycken.

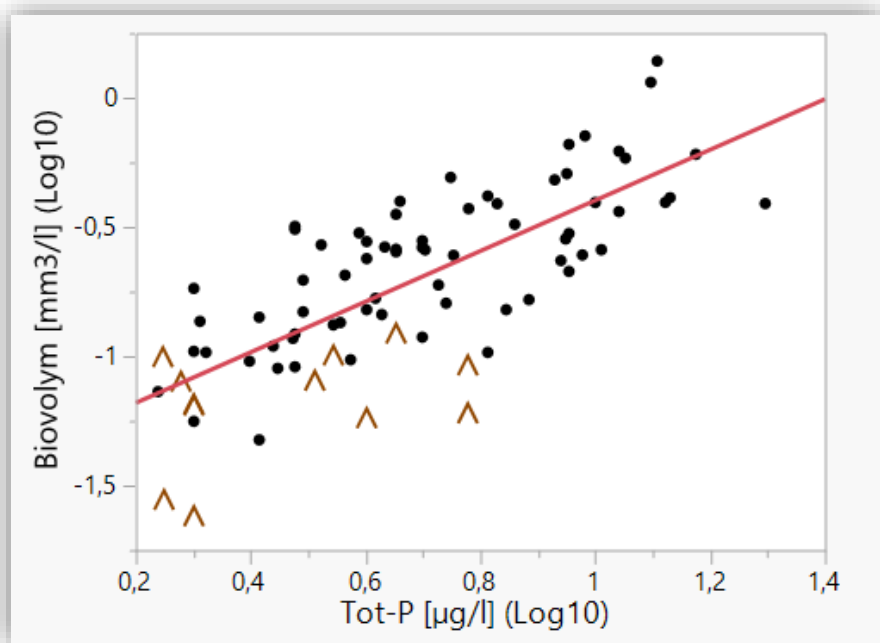
Medelvärden och de logaritmerade parametrar som studerades var; DIN, Tot-P, biovolym, procentandel cyanobakterier och TPI. Parametrarna undersöktes i multipla regressioner. En multipel regression genomförs för urskilja vilka parametrar som styr över modellen, exempelvis studera om biovolym är beroende av flera parametrar än en. Multipel regression genomförs även för att ge ett modellerat värde från flera uppmätta värden. Kortfattat kan multipel regression beskrivas som studien av om flera oberoende parametrar påverkar en beroende parameter (Grandin, 2003). Multipla regressioner med biovolym, procentandel cyanobakterier samt TPI som beroende variabel och DIN och Tot-P som oberoende variabler studeras. En oberoende parameter som är signifikant visar på att det förekommer ett samband mellan den parametern och den beroende variabeln. Dummyvariabler och korsvariabler inkluderas även i de multipla regressionerna, dummyvariabeln beskriver om det förekommer någon skillnad mellan två olika områden. Om dummyvariabeln är signifikant förekommer en skillnad mellan de två områdena med avseende på den beroende variabeln. I studien har dummyvariabler skapats för kväve- eller fosforbegränsade sjöar, där 1 = kvävebegränsade sjöar och 0 = fosforbegränsade sjöar och för norra eller södra Sverige där 1 = norra och 0 = södra Sverige. Korsvariabeln beskriver skillnaden i lutning mellan de två områdena (dummyvariabeln) med avseende på den beroende variabeln som funktion av den oberoende variabeln. Korsvariabeln ställs upp genom att multiplicera dummyvariabeln med den oberoende variabeln som vill studeras. Om både korsvariabeln och den fristående parametern är signifikant behövs olika modeller för de olika områdena. Om korsvariablerna inte är signifikanta kan en modell användas för hela landet.

Förklaringsgraden beskriver hur mycket av modellen som förklaras. Den justerade förklaringsgraden (r^2_{adj}) studeras eftersom den är justerad efter antalet oberoende variabler som inkluderas i modellen. VIF, *the variance inflation factor*, studeras i varje regression. VIF visar om två parametrar är korrelerade, ingen korrelation förekommer vid låga värden och ett högt värde visar på korrelation. Ett högt värde medför hög sannolikhet att variablerna är korrelerade och borde därför uteslutas från analysen (Grandin, 2003). När två variabler är korrelerade betyder det att det finns ett samband mellan dem.

I denna analys studerades korrelationen mellan parametrarna dvs. den riktning och styrka som förekommer för ett samband mellan två variabler. Det är en statistisk metod för att testa hypoteser. För att stärka att korrelationsambanden mellan parametrar beror av ett orsakssamband, kausalitetssamband, bör experiment genomföras.

4 Resultat

Det har provtagits i fler sjöar i södra Sverige jämfört med i norra Sverige (*figur 1*). Det finns fler kvävebegränsade sjöar i norra Sverige än vad det finns fosforbegränsade sjöar enligt den framtagna datan. Det förekom sju stycken sjöar med befintlig data från fjällregionen, på grund av det låga antalet har fjällsjöar aggregerats med övriga Norrland. För att studera om fjällsjöarna sticker ut i graferna färgades de bruna och fick en annan markering. Det kan tydligt urskiljas att fjällsjöarna ligger lägre i både näringshalt och bio-index jämfört med övriga regioner (*figur 2*).



Figur 2. Logaritmerade medelvärden av biovolym [mm^3/l] som funktion av logaritmerade medelvärden av Tot-P [$\mu\text{g}/\text{l}$] för sjöar i norra Sverige. Ett exempel på hur fjällsjöar urskiljs av en takformad markering i brunt.

4.1 Samband mellan växtplankton och näringsämnen.

4.1.1 Biovolym

Biovolym som funktion av DIN och Tot-P gav ett r^2_{adj} på 47 % samt samband för Tot-P men inte för DIN. Det betyder att Tot-P styrde modellen med 47 % (tabell 1). Dummyvariabeln för regionerna ger ett högre r^2_{adj} på 55 %. Förklaringsgraden ökar

med 8 %. Dummyvariabeln för de begränsade ämnena inkluderades istället och sänkte r^2_{adj} till 46 % (tabell 1). Varken DIN eller dummyvariabeln var signifikanta i det senare fallet.

Tabell 1. r^2_{adj} [%] för biovolym, procentandel cyanobakterier och TPI.

Parameter	Biovolym (r^2_{adj} [%])	Procent andel cyano- bakterier (r^2_{adj} [%])	TPI (r^2_{adj} [%])
DIN och Tot-P ($\mu\text{g/l}$)	47	2,8	27
+ Dummy (Norra;Södra)	55	3,6	29
+ Korsvariabel för Dummy (Norra;Södra)	56	3 (inte signifikant)	39
+ Dummy (Kväve;Fosfor)	46	2,8	28
+ Korsvariabel för Dummy (Kväve;Fosfor)	48	4,3	29

4.1.2 Procentandel cyanobakterier

Tot-P var signifikant (p -värdet = 0,017) men förklarade endast 2,8 % av variationen i procentandel cyanobakterier och DIN var inte signifikant (tabell 1). Dummyvariabel för regionerna inkluderas och höjde r^2_{adj} med 0,8 % till 3,6 %. Dummyvariabeln för de begränsande ämnena var inte signifikant.

4.1.3 Medelvärde av TPI

Tot-P kunde förklara 27 % av variationen i TPI men DIN var inte signifikant (tabell 1). Dummyvariabeln för regionerna var signifikant och ökade förklaringsgraden med 2 %, till 29 %. DIN och dummyvariabeln för de begränsande ämnena var inte signifikant.

4.2 Jämförelse mellan Norra och södra Sverige

Det var något högre halter av näringsämnena i södra jämfört med norra Sverige. I det här avsnittet används en dummyvariabel som representerar sjöar i norra (=1) och sjöar i södra Sverige (=0). Dummyvariabel N;S.

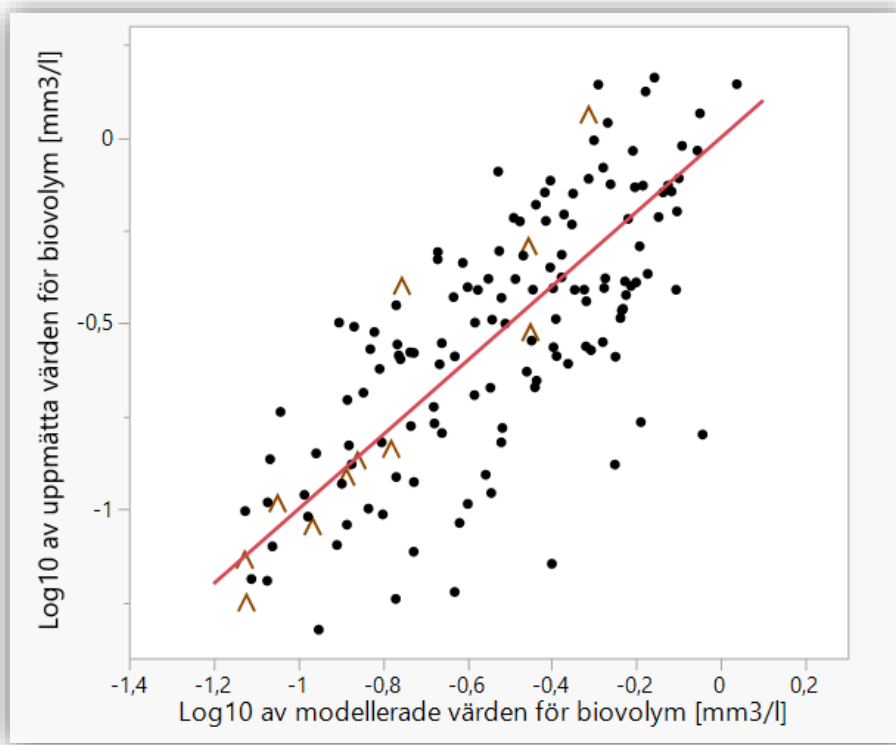
Tabell 2. *Multipel regression för biovolym, procentandel cyanobakterier och TPI med dummyvariabeln för norra och södra Sverige samt korsvariabler.*

Parameter	Biovolym (signifikant: Ja/Nej)	Procentandel cyano- bakterier (signifikant: Ja/Nej)	TPI (signifikant: Ja/Nej)
DIN ($\mu\text{g/l}$)	Nej	Nej	Nej
Tot-P ($\mu\text{g/l}$)	Ja	Nej	Ja
Dummy (Norra; Södra)	Ja	Nej	Nej
Korsvariabel Dummy x DIN	Ja (0,048)	Nej	Nej
Korsvariabel Dummy x Tot-P	Nej	Nej	Ja
Förklaringsgrad(r^2_{adj}) [%]	56	3,6	39

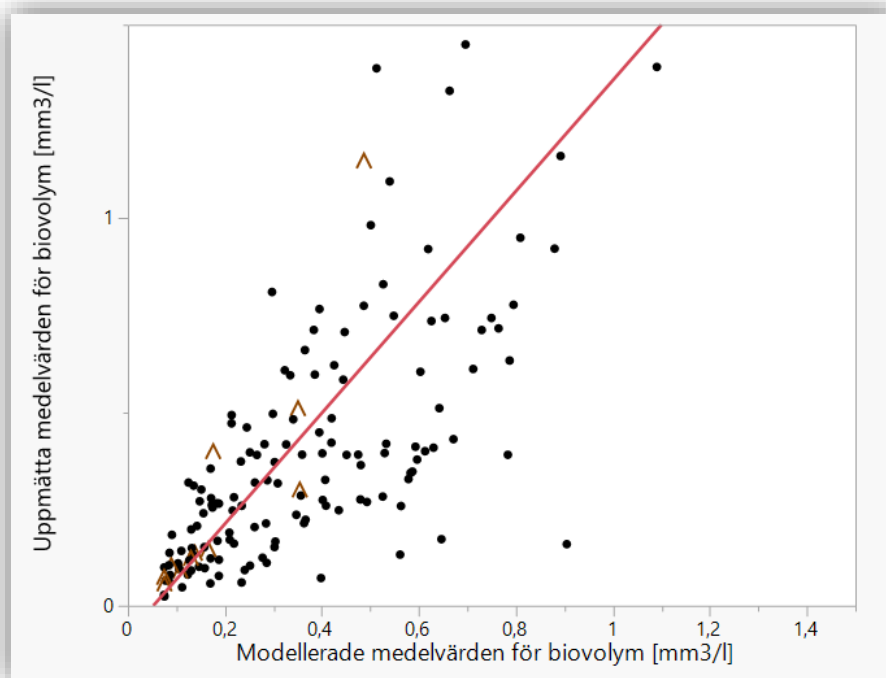
4.2.1 Biovolym

Regressionen visar att ca 56 % beskrevs av modellen och att Tot-P och dummyvariabeln för regionerna var de parametrar som styrde (tabell 2). Förklaringsgraden ökade med 1 % från de 55 % som beskrev modellen med frånvaro av korsvariabeln (tabell 1). Det förekom en skillnad i sambanden för biovolym i norra och södra Sverige. För att urskilja hur biovolym skiljde sig åt i regionerna genomfördes en enkel regression med variablerna. Analysen visade att det fanns en högre biovolym i södra Sverige jämfört med de norra delarna. Fjällsjöarna låg lägst i biovolym.

En studie av de logaritmerade uppmätta medelvärdena mot de logaritmerade modellerade medelvärdena gav en signifikant regression. Förklaringsgraden var 57 %, punkterna var inte spridda och sambandet var tydligt, det tyder på att modellen fungerar (*figur 3*). Vid studie av medelvärden som inte var logaritmerade, de ”riktiga värdena”, gav det stora fel vid jämförelse med de logaritmerade värdena, detta trots att modellen har en relativt hög förklaringsgrad, $r^2_{\text{adj}} = 37\%$ (*figur 4*).



Figur 4. De uppmätta logaritmerade medelvärdena som funktion av de logaritmerade modellerade medelvärdena för biovolym[mm³/l]. Ett exempel på när punkterna ligger nära regressionslinjen, vilket tyder på att modellen fungerar.



Figur 3. De uppmätta medelvärdena som funktion av de modellerade medelvärdena för biovolym[mm³/l]. Ett exempel på när medelvärdena inte är logaritmerade.

De signifikanta värdena användes i ytterligare en multipel regression och gav en förklaringsgrad på 56 % och alla parametrar var fortfarande signifikanta. Korsvariabeln mellan dummyvariabel N;S och DIN undersöks närmare då den var signifikant, dock med gränsvärde (0,048) (tabell 2). DIN var inte signifikant i någon utav regionerna.

4.2.2 Procentandel cyanobakterier

Ingen parameter var signifikant och r^2_{adj} var 3 %. Logaritmerade värden för både uppmätta och modellerade värden sattes upp i en enkel regression. De gav signifikant värden, $r^2_{adj} = 5,8$ % och trätformad spridning bland punkterna vilket kännetecknar en sämre modell.

Kvävefixerande cyanobakterier kan tänkas minska med ökad andel kväve i vattnet. Därför studerades kvävebegränsade sjöar i varje ekoregion. Ingen region fick signifikanta värden för negativa samband mellan procentandel cyanobakterier och DIN. Dock var fjällregionen närmast signifikansnivån med förklaringsgraden 58 %, men det förekom endast fyra sjöar med befintlig data i den regionen.

En undersökning om procentandelen cyanobakterier varierar i norra och södra Sverige genomfördes. Det visade att det fanns en spridning av andelen cyanobakterier. Det förekom större populationer i de södra delarna av landet. Variationen var liten och förklaringsgraden låg, eventuellt på grund av att dummyvariabeln N;S inte uttrycks som signifikant i tidigare regression (tabell 2).

4.2.3 TPI

Tot-P och korsvariabeln mellan fosfor och dummyvariabeln styrde modellen och förklaringsgraden var 39 % (tabell 2). Modellen var sämre när de logaritmerade uppmätta värdena jämförs med de logaritmerade modellerade värdena. Det var signifikant med $r^2_{adj} = 42$ % men det förekom trätformad spridning mellan punkterna.

För att undersöka de signifikanta värdena för TPI genomfördes en multipel regression med endast dessa. Alla parametrar blev signifikanta och förklaringsgraden var 39 % dvs. som ovanstående. Enkla regressioner genomfördes för TPI mot Tot-P för sjöar i norra (ekoregion 1-3) respektive sjöarna i södra Sverige (ekoregion 4-7) var för sig. Förklaringsgraden var 7 % i norra respektive 38 % i södra Sverige. Tot-P var signifikant i alla regioner men sambanden var starkare i de södra delarna av landet.

4.3 Jämförelse mellan kväve och fosforbegränsade sjöar

Skillnaden som förekom för DIN i kväve- respektive fosforbegränsade sjöar granskades och det urskildes att sjöar med störst mängd DIN var fosforbegränsade sjöar medan Tot-P hade en jämn fördelning i både kväve och fosforbegränsade sjöar.

I det här avsnittet används en dummyvariabel som representerar kvävebegränsade sjöar (= 1) och fosforbegränsade sjöar (= 0). Dummyvariabel benämns N;P.

Tabell 3. *Multipl regression för biovolym, procentandel cyanobakterier och TPI med dummyvariabel för kväve- och fosforbegränsade sjöar samt korsvariabler.*

Parameter	Biovolym (signifikant Ja/Nej)	Procentandel cyanobakterier (signifikant Ja/Nej)	TPI (signifikant Ja/Nej)
DIN ($\mu\text{g/l}$)	Nej	Nej	Ja (0,049)
Tot-P ($\mu\text{g/l}$)	Ja	Ja	Ja
Dummy (Kväve; Fosfor)	Nej	Nej	Ja (0,03)
Korsvariabel Dummy x DIN	Nej	Nej	Ja (0,04)
Korsvariabel Dummy x Tot-P	Ja (0,03)	Nej	Nej
Förklaringsgrad(r^2 adj) [%]	48	4,3	29

4.3.1 Biovolym

Två värden var signifikanta och styrde över modellen med 48 %, det var Tot-P samt korsvariabeln mellan Tot-P och dummyvariabeln. Korsvariabeln mellan dummyvariabeln och DIN var inte signifikant inte heller dem som ensamma parametrar (tabell 3). VIF var hög för parametrarna DIN (VIF = 11) och dummyvariabeln (VIF = 8) och det finns en risk att de var korrelerade. En studie av de logaritmerade uppmätta värdena mot de logaritmerade modellerade värdena gav en signifikant regression. Förklaringsgraden var 49 %, punkterna var inte spridda och sambandet var skarpt vilket kan tyda på att modellen fungerar.

Signifikanta värden för biovolym (tabell 3) studerades enskilt i en ytterligare multipl regression. Förklaringsgraden var 48 % och av de signifikanta parametrarna var det Tot-P som styrde, de andra parametrarna var inte signifikanta.

Eftersom korsvariabeln var signifikant undersöks det hur Tot-P skiljer sig åt i de olika näringsbegränsade sjöarna. Sambanden var starkare i de kvävebegränsade sjöarna och förklaringsgraden var högre där (tabell 4).

Tabell 4. Enkla regressioner för biovolym och Tot-P i kväve- respektive fosforbegränsade sjöar.

	Fosforbegränsade sjöar	Kvävebegränsade sjöar
Tot-P ($\mu\text{g/l}$)	Signifikant	Signifikant
r^2_{adj}	41 %	48 %
Uppskattad lutning	0,84	1,2

4.3.2 Procentandel cyanobakterier

Det förekom samband mellan procentandelen cyanobakterier och mängden Tot-P (tabell 3). Om det var en kvävebegränsad sjö eller inte spelade ingen roll och förklaringsgraden var 4,3 %. Logaritmerade värden för de uppmätta och de modellerade värdena sattes upp i en enkel regression. Modellen var signifikant men med en låg förklaringsgrad på 7 % och det förekom trättformad spridning mellan punkterna.

En enkel regression mellan procentandel cyanobakterier mot Tot-P genomfördes. Tot-P var signifikant (0,0157) och förklaringsgraden av modellen var 3,4 %.

4.3.3 TPI

Tot-P styrde modellen och förklaringsgraden var 29 %. Parametrarna DIN, dummyvariabeln samt korsvariabeln mellan dem var alla signifikanta men signifikansnivån var på gränsen till att inte vara signifikant (tabell 3). VIF var högt för DIN (= 11) och dummyvariabeln N;P (= 8). När de logaritmerade värdena för de uppmätta mot de modellerade värdena studerades förekom det signifikans och r^2_{adj} var 31 %. Men modellen var bristfällig då det förekom en trättformad spridning mellan punkterna.

Det var många parametrar som var signifikanta med gränsfall (tabell 3) och alla dessa saknar signifikans i en senare regression med endast signifikanta värden. Förklaringsgraden var 28 % dvs. 1 % lägre. Den signifikanta parametern Tot-P styrde modellen med 28 % medan de övriga parametrarna styrde modellen med endast 1 %. För att studera sambanden mellan TPI och DIN genomfördes en enkel regression som visade att det var signifikant i södra men inte i norra Sverige. Det förekom ingen skillnad mellan kväve- och fosforbegränsade sjöar.

4.4 Fördjupning av biovolymens förhållande till DIN

Samband saknas mellan biovolym och DIN i alla ovan beskrivna regressioner, därför genomfördes en fördjupning för biovolym och näringsämnet. Studie av multipla regressioner för kväve- och fosforbegränsade sjöar tillsammans (1) och förhållandet mellan DIN och biovolym visar på att det inte förekom något signifikant samband. Det förekom dock samband mellan biovolym och DIN vid studie av kväve- och fosforbegränsade sjöar separat i enkla regressioner (tabell 5). I en studie av multipel regression med DIN och Tot-P för kvävebegränsade sjöar (2) var DIN inte signifikant trots att det förekom signifikans vid enkel regression då Tot-P inte medverkar. Samma regressioner genomfördes för fosforbegränsade sjöar och gav liknande resultat. Kvävebegränsade sjöar i Norrbotten (3) visar ett tydligt samband i den enkla regressionen, hög förklaringsgrad på 66 %. Ingen av parametrarna var signifikanta i den multipla regressionen.

Tabell 5. Fördjupning. Regressioner mellan biovolym och DIN samt Tot-P i (1) kväve- och fosforbegränsade sjöar tillsammans, (2) kvävebegränsade sjöar i hela Sverige och (3) Kvävebegränsade sjöar i Norrbotten.

	Tot-P (signifikant Ja/Nej)	DIN (signifikant Ja/Nej)	Förklaringsgrad [%]
<hr/>			
(1) Kväve- och fosforbegränsade sjöar tillsammans			
Multipel regression(Tot-P och DIN)	Ja	Nej	47
Enkel regression(DIN)	-	Nej	1,6
<hr/>			
(2) Kvävebegränsade sjöar i hela Sverige			
Multipel regression(Tot-P och DIN)	Ja	Nej	48
Enkel regression(DIN)	-	Ja	30
<hr/>			
(3) Kvävebegränsade sjöar i Norrbotten			
Multipel regressions(Tot-P och DIN)	Nej	Nej	56
Enkel regression(DIN)	-	Ja	66
<hr/>			

4.4.1 Kvävebegränsade sjöar, en jämförelse mellan norra och södra Sverige

Genom en enkel regression mellan de kvävebegränsade sjöarna i norra och i södra Sverige studerades biovolymen som en funktion av DIN. Det visade att sambanden var sämre i södra Sverige. Modellen beskrevs med endast 1,4 % i södra Sverige

medan den beskrevs med 41 % i norra Sverige. Regression för de fosforbegränsade sjöarna gav liknande resultat. Densamma gäller för biovolym som en funktion av Tot-P.

Resultaten i den multipla regressionen för norra och södra Sverige visade att korsvariabeln mellan dummyvariabeln och DIN var signifikant (tabell 2). Det utvecklades därför med en enkel regression för biovolym som funktion av DIN i norra respektive södra Sverige. Observera att nu var kväve- och fosforbegränsade sjöar separerade. Starka samband förekom i norra och inga samband södra Sverige.

4.5 Interaktion mellan DIN och Tot-P

En multipel regression med korsvariabeln mellan Tot-P och DIN genomfördes för varje bio-index för att se om det förekom något samspel mellan Tot-P och DIN (tabell 6).

Tabell 6. *Multipel regression för biovolym, procentandel cyanobakterier och TPI. Studier av eventuella interaktioner mellan DIN och Tot-P.*

Parameter	Biovolym (signifikant Ja/Nej)	procentandel cyanobakterier (signifikant Ja/Nej)	TPI (signifikant Ja/Nej)
DIN ($\mu\text{g/l}$)	Nej	Nej	Nej
Tot-P ($\mu\text{g/l}$)	Ja	Ja (0,03)	Ja
Korsvariabel DIN x Tot-P	Ja (0,027)	Nej	Ja (0,009)
Förklaringsgrad(r^2_{adj}) [%]	48	2,3	30

4.5.1 Biovolym

Korsvariabeln var signifikant med gränsfall medan Tot-P var tydligt signifikant. Förklaringsgraden var 48 % (tabell 6). För att jämföra hur sambanden skiljde sig åt i norra respektive södra Sverige genomfördes en multipel regression för vardera ekoregion. Utfallet gav ett signifikant värde på DIN för alla sjöar i södra Sverige. Dock var Tot-P mer signifikant dvs. Tot-P styrde modellen. Förklaringsgraden var 26 %. För sjöar i norra Sverige var förklaringsgraden betydligt högre, $r^2_{\text{adj}} = 58$ % och DIN var inte signifikant. De parametrar som styrde modellen var Tot-P i första hand och även korsvariabeln till viss del.

4.5.2 Procentandel cyanobakterier

Tot-P styrde modellen och det var gränsfall till att parametern inte var signifikant. Förklaringsgraden var låg, $r^2_{adj} = 2,3 \%$ (tabell 6).

4.5.3 TPI

Korsvariabeln mellan DIN och Tot-P visar på att det förekom en interaktion mellan halten Tot-P och halten DIN men signifikansnivån var inte lika starkt beskriven som för Tot-P ensam, $r^2_{adj} = 30 \%$ (tabell 6).

5 Diskussion och slutsats

Vissa sjöar varierar mellan att vara kväve- och fosforbegränsade. Sjön kan vara fosforbegränsad på våren och bli kvävebegränsad på sommaren. Det kan förändras över tiden vilket kan bli problematiskt i en studie som denna då resultaten är baserade på medelvärden från augusti. Sjöar kan ha klassats som både kväve – och fosforbegränsade. Eftersom den statistiska korrelationen kan förändras om vi tillför kväve eller fosfor kan vi inte säkert veta om de sjöar som byter begränsning över tid alltid har de samband som är framtagna i den här studien. Att dela upp sjöar mellan de som alltid är kvävebegränsade eller alltid fosforbegränsade kan eventuellt ge andra resultat men det har inte genomförts i denna studie.

5.1 Jämförelse mellan Norra och södra Sverige

Att det var aningen högre halter i södra Sverige vid studie av medelvärdena för Tot-P och DIN beror troligtvis på den generellt högre näringshalt som påträffas i södra delarna av landet som beror på mänsklig påverkan som kvävedeposition och fosforläckage.

5.1.1 Biovolym

Biovolymen var i genomsnitt högre i södra Sverige jämfört med norra Sverige. Det kan ha att göra med att det är generellt mer näringsrikt i södra Sverige.

Tot-P var den styrande variabeln och det var 56 % av variationen som förklaras av modellen. Att procenthalten var hög tolkas som att fosfor är en av huvudparametrarna som styr tillväxten. Medan de övriga parametrarna har en låg gemensam förklaringsgrad ($r^2_{adj} = 9\%$). Det förklarar att skillnaderna i norra och södra Sverige inte har någon större betydelse när det gäller tillväxten av växtplankton. Detta kan bero på att fosfor är det begränsade näringsämnet och därför bidrar mer till tillväxten än kväve.

Det skiljer sig ändå i förhållandet mellan DIN och biovolym beroende på om man studerar sjöar i södra eller norra Sverige. Att sambanden var sämre för biovolym och DIN i södra Sverige kan bero på, som tidigare nämnt, att kvävedepositionen är högre där. För att utveckla det med data i den här studien studerades medelvärden av DIN mot om sjöarna är lokaliserade i norra eller södra Sverige. Det visade att medelvärdet för DIN var lägre i sjöar i norra Sverige. Det kan även urskiljas att alla

fjällsjöarna har ett lågt medelvärde för DIN. Vilket antagligen beror på den låga depositionen av kväve och andra utsläpp i fjällregionerna.

5.1.2 Procentandel cyanobakterier

Det finns inget tydligt samband på att en ökning av procentandelen cyanobakterier hör ihop med ökade fosfor- eller kvävehalter, inte heller om sjön är lokaliserad i norra eller södra Sverige. Det kan antas finnas andra parametrar som påverkar procentandelen cyanobakterier. Eventuellt kan cyanobakterier inte tillväxa i näringsfattiga sjöar. En hypotes kan vara att cyanobakterierna lever bättre i eutrofa sjöar med mycket fosfor och kväve (Manson, 1996) och förekommer därför i mindre utsträckning i oligotrofa sjöar. Detta skulle kunna förklara varför procentandelen cyanobakterier var högre i södra Sverige. I fjällsjöarna förekom lägst procentandel cyanobakterier och där är även kvävedepositionen låg.

5.1.3 TPI

Det förekom en skillnad mellan norra och södra Sverige när det gäller ökande av TPI med ökad mängd fosfor. Det var även tydligt att det förekom en skillnad mellan norra och södra Sverige i mängd TPI. I södra Sverige har Tot-P en större roll och styr mer över TPI än i norra Sverige. Att sambanden var starkare i södra Sverige kan bero på att TPI kan ha räknats fram enligt bedömningsgrunderna som är baserade på eutrofa sjöar i södra Sverige där det kan förekomma indikatorarter som inte återfinns i oligotrofa sjöar i norra Sverige (Svensson & Lundberg, 2013).

5.2 Jämförelse mellan kväve och fosforbegränsade sjöar

DIN förekom i störst mängd i fosforbegränsade sjöar. Medan Tot-P har en jämn fördelning i både kväve- och fosforbegränsade sjöar.

5.2.1 Biovolym

Sambanden skiljde sig åt mellan totala mängden fosfor och tillväxten av växtplankton i kväve- respektive fosforbegränsade sjöar. Sambanden och förklaringsgraden var starkare i de kvävebegränsade sjöarna dvs. tillförseln av fosfor ger större effekt i kvävebegränsade sjöar än i fosforbegränsade. De kvävebegränsade sjöarna är därför känsligare mot tillförseln av fosfor. Det kan leda till eutrofiering i de sjöarna trots att de är kvävebegränsade. Vilket i sin tur kan leda till att giftiga cyanobakterier tillväxer där, det lyfts fram av bland annat Fölster & Djodjic, 2015. Förhållandet

mellan DIN och biovolym var konstant i alla kväve- och fosforbegränsade sjöar dvs. att det var liknande samband oberoende på om det var en kväve- eller fosforbegränsad sjö. Dummyvariabeln för de begränsade sjöarna hade en lägre förklaringsgrad än för DIN och Tot-P enskilt (tabell 1). Vilket kan tyda på att kvoten mellan DIN/Tot-P kan ha en mindre inverkan på vad som styr tillväxten i det här fallet.

Samband mellan biovolym och DIN finns inte som vi ser i resultatet från den multipla regressionen. Det kan bero på att växterna inte tar till sig kväve som näringsämne på samma sätt som de tar till sig fosfor, eftersom det är det begränsade näringsämnet. DIN har ingen större påverkan på tillväxten i kvävebegränsade sjöar än vad den har i fosforbegränsade, det är ett överraskande resultat och stämmer inte överens med tidigare forskning. Där tillsats av kväve i kvävebegränsade sjöar gav tillväxt medan tillsats av kväve i fosforbegränsade sjöar inte gav någon tillväxt (Bergström, 2010). I den här studien var det Tot-P som hade olika samband för kväve respektive fosforbegränsade sjöar, det var starkare samband i kvävebegränsade sjöar.

5.2.2 Procentandel cyanobakterier

Den styrande parametern Tot-P skiljer sig inte åt beroende på om det är kväve- eller fosforbegränsade sjöar. På grund av det behövs inte separata modeller för de olika näringsbegränsade sjöarna utan det kan studeras i en generell modell. Som tidigare nämnts har inte lokaliseringen för sjön någon betydelse och förklaringsgraden var låg för båda regressionerna. Det visar på att det är fler parametrar än fosfor som styr tillväxten av cyanobakterier i kväve- och fosforbegränsade sjöar. Även tidigare forskning visar på att det är andra parametrar som styr över kvävefixerande cyanobakteriers tillväxt (Moisander et al., 2003). Tillväxten kan bero av parametrar som temperatur eller ljus. Det är framtaget att cyanobakterier kan öka i tillväxt med ökad temperatur (Elliott, 2012).

Det kan förväntas finnas negativa samband mellan cyanobakterier och kväve, att cyanobakteriernas tillväxt hämmas av ökad mängd kväve (Moisander et al., 2003). Det kan antas bero på att cyanobakterierna är kvävefixerare som kan fixera organiskt kväve. Vid en ökad mängd oorganiskt kväve gynnas istället växtplankton som inte har denna förmåga att fixera. I den här studien blev ingen av sjöarna i de sju sjölimniska regionerna i Sverige signifikanta. Trots det finns en benägenhet till att uppnå signifikans i kvävebegränsade sjöar i fjällen, dock var det inte signifikant. Vilket kan förklaras av att det endast förekom data på fyra stycken sjöar i det området, då tre (av sju) stycken saknade mätvärden för procentandelen cyanobakterier. Det hade varit intressant att studera alla fjällsjöar och se om det ger ett tydligt samband mellan

procentandel cyanobakterier och DIN. En analys på fyra sjöar kan inte bedömas eftersom det är alldeles för stora osäkerheter med för få provtagningar.

5.2.3 TPI

Det förekom en skillnad i mängd TPI beroende på om sjön är kväve- eller fosforbegränsad. Förklaringsgraden för den multipla regressionen var 29 % dvs. att det kan finnas fler faktorer än nämnda parametrar som spelar in ökandet av TPI (tabell 3). r^2_{adj} var 1 % högre än när endast Tot-P medverkade vilket förklarar att de tre signifikanta parametrar ”delar” på 1 % förklaringsgrad, de styr modellen med 1 % i förhållande till Tot-P som styr med 28 %. Kvoten DIN/Tot-P har därför ingen större inverkan på ökandet av TPI, det spelar ingen roll om sjön är kväve- eller fosforbegränsad.

5.3 Fördjupning av biovolymens förhållande till DIN

Metoden att studera kväve- och fosforbegränsade sjöar tillsammans har använts i de multipla regressionerna och kan därför ha erhållit ofullständiga resultat. För kvävebegränsade sjöar i hela Sverige har den enkla regressionen lägre förklaringsgrad än den multipla regressionen, det kan bero på att DIN inte är det ända näringsämne som styr över tillväxten i kvävebegränsade sjöar i hela Sverige. Det är andra parametrar som spelar in i tillväxten, bland annat Tot-P. Kvävebegränsade sjöar i Norrbottens län har en starkare förklaringsgrad för den enkla regressionen. Den multipla regressionen visar att det inte var någonting som var signifikant. Trots att förklaringsgraden var högre för den multipla än den enkla regressionen (tabell 5). Det kan bero på att det endast förekom tio sjöar med befintlig data för området.

Multipla regressionen med DIN och Tot-P visar att Tot-P var signifikant men inte DIN, det kan tyda på att DIN och Tot-P är korrelerade på något sätt. Det betyder att det finns ett samband mellan näringsämnena. Eftersom fosfor är det näringsämnet som styr över biovolymen borde det medföra att även DIN är korrelerad med biovolymen. Det förstärks av att regressionerna med kväve- och fosforbegränsade sjöar separat visar på samband mellan biovolymen och DIN.

Den här fördjupningen medför att diskussion om vidare metoden med multipel regression är lämplig eller inte för den här studien. Det finns fler möjligheter att utveckla och fördjupa sig inom området om hur bio- index förhåller sig till näringsämnena kväve och fosfor.

5.3.1 Kvävebegränsade sjöar, en jämförelse mellan norra och södra Sverige

Resultaten från regressionen med biovolym som funktion av DIN visar på att sambanden var starkare i norra Sverige och det antas framförallt bero på att kvävedepositionen är lägre i norra Sverige (Andersson *et al.*, 2011) och därför påverkas sjöarna lättare av tillförsel av kväve där. Det är även här fler parametrar (ex. väder och temperatur m.m.) som bidrar till tillväxten av växtplankton i de södra delarna av landet. En regression för fosforbegränsade sjöar med Tot-P som oberoende variabel visade på samma mönster. Fosfor kan lätt binda in till sedimenten, både till organiskt och oorganiskt material. Det medför att näringsämnet blir svårtillgängligt för växterna vilket kan minska tillväxten (Holmberg, 2011; Jan *et al.*, 2011), dvs. svag tillväxt med ökad mängd fosfor. Det skulle då förklara de sämre samband som förekom i södra Sverige. Speciellt kan tillväxten minska i sjöar där fosfor är det mer begränsade näringsämnet, eftersom det då krävs mer fosfor för växtplanktonen att tillväxa.

5.4 Interaktion mellan DIN och Tot-P

Det förekom en interaktion mellan DIN och Tot-P i förhållande till biovolymen dvs. sambandet mellan DIN och biovolym bli starkare ju högre halt Tot-P och vice versa. Förklaringsgraden beskrivs som hög och har starkt styrande parametrar. En jämförelse mellan norra och södra Sverige gav resultatet att det förekom ett samspel mellan DIN och Tot-P i de nordliga sjöarna. Vilket betyder att förhållandet ett näringsämne har till bio-indexet har förändras med avseende på det andra näringsämnets halter. Den styrande variabeln Tot-P och variabeln DIN har ett samspel mellan varandra när det gäller TPI.

6 Slutsatser

- Överlag bättre samband i norra Sverige än i södra när det gäller biovolymen. Troligtvis på grund av högre kvävedeposition och läckage av fosfor till sjöarna i södra Sverige. Vilket även medför att mängden biovolymen skiljer sig åt i landet.
- Separata bedömningsgrunder bör tas fram för:
 - Biovolym i förhållande till Tot-P för kväve- och fosforbegränsade sjöar. Där det var starkare samband mellan Tot-P och biovolym i kvävebegränsade sjöar.
 - Biovolym i förhållande till DIN för norra och södra Sverige. Där det förekom starka samband i norra och inga samband i södra Sverige.
- Det förekom för få provtagningar i norra Sverige och i fjällregionerna, viktigt att provtagning ökar i fjällregionerna för att kunna hitta samband och för att kunna ge sjöarna i fjällen en rättvis statusklassning.
- Bedömningsgrunderna fungerar för biovolym som bio-index men inte för TPI och procentandel cyanobakterier därför kan nuvarande bedömningsgrunder användas för biovolym i kväve- och fosforbegränsade sjöar. Det framgår tydligt vid studie av det logaritmerade uppmätta värdena i förhållande till de logaritmerade modellerade värdena.
- Tot-P styrde modellerna för alla bio-index. Tot-P styrde oberoende av vilken begränsning sjön hade eller var den var lokaliserad, DIN styrde ingen modell när Tot-P var inkluderad. Följaktligen har DIN ingen större betydelse för någon utav bio-indexen.
- Vid vidare studie inom området bör kväve- och fosforbegränsade sjöar studeras separat för att finna samband mellan biovolym och DIN.
- Metoden ger inte fullständiga svar när man studera dessa samband. Man kan fördjupa sig mer i studien och komma fram till att DIN kan spela roll i vissa begränsade sjöar. En möjlig metod är att genomföra praktiska experiment och jämföra om olika tillsatser av näringsämnen påverkar växtplanktonen på olika sätt. Experimenten kan genomföras under kontrollerade förhållanden på labb eller studeras i fält.

6.1 Fortsatt arbete

Det finns plats för fördjupning och utveckling av studien för att komma fram till fler slutsatser beträffande förhållandet mellan vattenkemi och växtplankton. Klassningen som gjorts för kväve- och fosforbegränsade sjöar visar och bekräftar att vissa

sjöar varierar mellan begränsningarna över tiden. Klassningen genomfördes i den här studien innan medelvärdet för provtagningsåren räknats fram. Om istället medelvärdesberäkningar genomförs innan klassning kan sjöarna klassas på dess medelvärde och erhålla endast en klassning. Den tidigare metoden, som användes i studien, kan påverka resultaten negativt, men inte nödvändigtvis. Det är därför något som kan inkluderas i ett fortsatt arbete inom området.

Den aggregering som har används för kväve- och fosforbegränsade sjöar i de multipla regressionerna kan ha medfört ofullständiga resultat. Därför skulle experimentella resultat vara intressant att studera.

Referenslista

- Andersson, C., Andersson, S., Langer, J. & Segersson, D. (2011). *Halter och deposition av luftföroreningar.pdf*. (METEOROLOGI Nr 147).
- Bergström, A.-K. (2010). The use of TN:TP and DIN:TP ratios as indicators for phytoplankton nutrient limitation in oligotrophic lakes affected by N deposition. *Aquatic Sciences*, 72(3), pp 277–281.
- David W., S. (1974). Eutrophication and Recovery in Experimental Lakes: Implications for Lake Management. *American Association for the Advancement of Science*, Vol. 184, pp 897–899.
- Elliott, J. A. (2012). Is the future blue-green? A review of the current model predictions of how climate change could affect pelagic freshwater cyanobacteria. *Water Research*, 46(5), pp 1364–1371.
- Fölster, J. (2014). *Bedömningsgrunder för näringsämnen i sjöar och vattendrag. En sammanfattning av kunskapsläget med rekommendationer för statusklassningar*. Uppsala: SLU, Institutionen för vatten och miljö (2014:9).
- Fölster, J. & Djodjic, F. (2015). *Underlag till bedömningsgrunder för kväve i sjöar och vattendrag*. Uppsala: Institutionen för vatten och miljö. (2015:12).
- Grandin, U. (2003). *Dataanalys och hypotesprövning för statistikanvändare*. Naturvårdsverket.
- Holmberg, S. (2011). Större mängder fosfor vid Alsta sjös utlopp än vid dess inlopp – finns svaret i sjöns botten sediment? Tillgänglig: https://beta.uu.se/digitalAssets/209/209283_3holmberg-stefan-arbete.pdf. [2016-06-06].
- Institutionen för Vatten och Miljö, SLU (2006). *Provtagningsanvisningar i sjöar och vattendrag*. Uppsala.
- Jan, E., Sigrun, D., Ingvar, N. & Magnus, S. (2011). *Marklära*. 1. ed. ISBN 978-91-44-06920-3.
- Länsstyrelsen i Västernorrland (2010). *Förvaltningsplan Bottenhavets vattendistrikt 2009-2015*. Vattenmyndigheten i Bottenhavets vattendistrikt vid länsstyrelsen i Västernorrlands län. (2010:1).
- Manson, C. (1996). *Biology of Freshwater Pollution*. 4 th. UK: Essex. ISBN 0-13-090639-5.
- Miljödata MVM - Search*. [online]. Tillgänglig: <http://miljodata.slu.se/mvm/>. [2016-05-14].
- Moisander, P. H., Steppe, T. F., Hall, N. S., Kuparinen, J. & Paerl, H. W. (2003). Variability in nitrogen and phosphorus limitation for Baltic Sea phytoplankton during nitrogen-fixing cyanobacterial blooms. *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 262, pp 81–95.
- Naturvårdsverket (2007). *Bedömningsgrunder för sjöar och vattendrag*. ISBN 978-91-620-0148-3. (2007:4)
- Naturvårdsverket (2010). *Växtplankton i sjöar*. (Version 1:3).
- Paerl, H. W., Fulton, R. S., Moisander, P. H. & Dyble, J. (2001). Harmful Freshwater Algal Blooms, With an Emphasis on Cyanobacteria. *The Scientific World Journal*, Vol. 1, pp 76–113.
- Persson, G. *Eutrofieringsbegreppet*. [online] (1998-06-10) (Institutionen för miljöanalys, Sjöeutrofiering). Tillgänglig: <http://info1.ma.slu.se/miljotillst/eutrofiering/Begrepp.ssi>. [2016-04-18].
- SLU:s miljöanalys - SLU - Sveriges lantbruksuniversitet*. [online]. Tillgänglig: <http://www.slu.se/sv/miljoanalys/>. [2016-05-09].
- Svensson, J.-E., Hårding, I. & Medin, M. (2011). Växtplankton i 12 sjöar i Västmanlands län 2011: Klassificering av ekologisk status. [online]. Tillgänglig: <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:762526>. [2016-05-26].
- Svensson, J.-E. & Lundberg, S. (2013). Plankton i Tyresö-Flaten och Albysjön. [online], Tillgänglig: <http://www.naturhistoriska-riksmuseet.se/download/18.5b069535146472c22823c0/1451381960607/Djurplankton++Tyres%C3%B6-Flaten-Albysj%C3%B6n+2014.pdf>. [2016-06-09].
- Willén, E. (2005). *Växtplankton i sjöar*. Uppsala: Institutionen för miljöanalys (2005:1).