

# 2a:7

## Zooplanktons individtäthet och dess förändringar med tiden i kalkade, neutrala och sura IKEU-sjöar

### FÖRFATTARE

Gunnar Persson, IMA, Institutionen för vatten och miljö, Sveriges lantbruksuniversitet

# 2a:7

## Zooplanktons individtäthet och dess förändringar med tiden i kalkade, neutrala och sura IKEU-sjöar

### FÖRFATTARE

Gunnar Persson, IMA, Institutionen för vatten och miljö, Sveriges lantbruksuniversitet

### INNEHÅLL

**Sammanfattning** 261

**Bakgrund** 261

**Material och metoder** 262

**Resultat** 263

Val av provtagningsperiod 263

Fördelning i rummet 264

Variation inom sommarsäsongen (juni–sept) 264

Variation mellan säsonger/år 265

Referensperiodens (2001–2005) zooplankton 266

Normer för individtätheter 267

Överkalkade sjöar 2006 268

Trender 270

**Slutsatser** 273

**Referenser** 276

**Appendix 1** 277

**Appendix 2** 278

**Appendix 3** 279

## SAMMANFATTNING

Zooplanktonbestånden i kalkade sjöar och referenssjöar (sura och neutrala) har beskrivits med kvantitativa prov från 1990 till 2006. 5 sjöar har ingått 17 år, 12 sjöar 11 år och 26 i 7 år. Proven redovisas som blandprov med 5 hopslagna prov från djupnivån 0–8 m tagna i mitten av månaderna juni–sept. och filtrerade genom 40µm filter. Uppläggning av provtagningen i tid och rum diskuteras med hjälp av individtäthetsdata från prov över hela säsongen samt prov tagna på olika djup. Både djurgrupperna Cladocera och Rotatoria har 2–3 ggr högre täthet i det använda skiktet än i ett djupare skikt (10–18 m) och samma grupper hade minst dubbelt så hög täthet under juni–sept. som under månaderna maj och okt. Gruppen Copepoda lever i nästan samma individtäthet i yt- som i djupvatten och tätheten över sommarperioden är jämnare. Variationskoefficienten för sommarmedelindividtätheten ligger för de flesta arter/grupper mellan 50 och 100% men vissa arters täthet varierar mycket (max 370% SD). Variationen mellan säsonger är också relativt hög och variationskoefficienten ligger på 67, 70 och 66 % som medelvärde för gruppen av kalkade sjöar, neutrala referenssjöar och sura referenssjöar. Detta pekar på att vare sig surstötter eller sjökalkningar skapat mellansäsongsvängningar genom utslagning av populationer. Hög respektive låg variationskoefficient tycks i stället till stor del vara knutet till de enskilda arterna biologi snarare än till deras habitat. Under perioden 2001–2005 ligger individtätheten som sommarmedel (juni–sept) för alla sjögrupperna omkring 25–40 ind/l för Copepoda, ca 10 ind/l för Cladocera och 80–200 ind/l för Rotatoria. Skillnaderna mellan grupperna är små men en ej signifikant medelvärdeskillnad mellan de tre grupperna finns framför allt för Rotatoria som har högre individtäthet i sura sjöar. För att bedöma skillnader även på artnivå har normalvärden för olika arter/grupper beräknats med hjälp av de neutrala referenserna i undersökningen. Vid jämförelse med dessa visar sig 4 arter avvika i de kalkade sjöarna, och 6 arter i de sura sjöarna.

Den kompilering av data från de 8 neutrala referenssjöarna (max och medelvärden) som gör det möjligt att påvisa avvikelser i är avsedd att användas även i andra sammanhang som mått på ”referensförhållanden” i vattendirektivets mening eller vid andra bedömningar. En fortsatt utveckling av detta kvantitativa referensmaterial kommer att ske.

För år 2006 finns även data från överdoserade sjöar som jämfört med de andra grupperna samma år har högre individtätheter framför allt inom gruppen Cladocera och arterna *Ceriodaphnia* spp, *Bosmina longirostris* och *Bosmina coregoni* s.l. Även gruppen Copepoda bidrar till den högre individtätheten lik-

som i mindre mån gruppen Rotatoria. Eftersom mellanårsvariationen kan vara stor ska orsaken till den höga individtätheten i överdoserade sjöar utvärderas först när flera års data finns.

Trendgenomgången av de 5 sjöarna med 17 års tidsserie visar att alla sjöarna har signifikanta individtäthetsförändringar för någon av de tre huvuddjurgrupperna om man ser till enskilda månader men sett över hela säsongen finns signifikanta täthetsminskningar i Stora Härsjön (kalkad), Lien (kalkad) och Fräcksjön (neutral referens) för någon av de tre huvuddjurgrupperna. Alla förändringar är negativa. Om man i samma sjöar bedömer trender över 7 eller 11 år uppträder fler signifikanta förändringar, framför allt i Stora Härsjön och Fräcksjön. Trender för ytterligare 7 sjöar under 11 år finns i: Remmarsjön (neutral referens), Rotehogstjärnen (sur referens) och Stensjön (kalkad). I alla fall har individtätheten för någon av de tre huvuddjurgrupperna minskat. Trendbedömningen över 11 år visar således att förändringar (sänkningar) finns i 3 kalkade sjöar, 2 neutrala och 1 sur referens av totalt 12 sjöar med 11-årig tidsserie. En ytterligare analys av arter eller små grupper i de 5 sjöarna i den 17-åriga tidsserien visar att signifikanta minskningar av individtätheterna dominerar. Flest arter/grupper förändras i Fräcksjön och Stora Härsjön. Flest signifikanta förändringar finns för Cyclopidae och Diaptomidae som båda ingår i gruppen Copepoda. Sammantaget minskar zooplankontätheten under undersökningsperioden i hälften av sjöarna med 11-årig tidsserie. De största förändringarna finns i en neutral referenssjö (Fräcksjön) och för närvarande finns inget som pekar på att någon av populationsminskningarna skulle vara en direkt kalkningseffekt. Indirekt kan dock en sänkt fosforhalt inverka.

## BAKGRUND

Undersökningar av zooplankton inom IKEU-programmet har gjorts dels med hävningar för att inventera förekomsten av olika arter, dels med provtagningar med vattenhämtare för att bestämma i vilka mängder planktondjuren förekommer. Perioden 1990–1993 gjordes 4 hävprovtagningar varje sommar vilket upprepades 1997–1999. Kvantitativa provtagningar inleddes också 1990 men bara i tre kalkade sjöar (och 2 referenssjöar). Från 1996 provtogs med planktonhämtare ytterligare sju sjöar som hade bestånd av planktonätande fisk. Denna typ av provtagning för kvantifiering av planktondjuren expanderade från år 2000 att gälla alla intensivundersökta kalkade sjöar.

I de sjöar som används som referenser gjordes på liknande sätt först hävprovtagningar, vilka senare ersattes med hämtarprovtagningar.

År 2005 infördes motsvarande provtagningar i två "nystartade" kalkade sjöar och två referenssjöar och år 2006 utvidgades programmet med samma typ av kvantitativa provtagningar till 10 "överkalkade" sjöar. Slutligen införlivades 6 sjöar i programmet för att med samma metodik följa utvecklingen när kalkningarna upphör.

Från några av de kalkade sjöar som ingår i programmet finns dessutom uppgifter om artförekomst och i något fall kvantifieringar under perioden före kalkning då sjöarna var sura. Denna möjlighet till temporal jämförelse mellan sura sjöar före och efter kalkning finns för 9 sjöar.

I en första rapport (Persson & Ekström 2001) och i en senare publikation (Persson 2008) jämfördes artförekomst och artantal i intensivundersökta kalkade sjöar och referenssjöar där håvprovtagningar gjorts. Samma variabler undersöktes också i de 9 sjöar där uppgifter fanns om arter och artantal från den sura perioden före kalkning och perioden efter kalkning.

I korthet visade jämförelsen mellan sjögrupperna att i de kalkade sjöarna fanns någon eller några fler arter jämfört med neutrala referenssjöar. I de sura referenssjöarna fanns däremot i medeltal bara 60% av artantalet i de andra sjögrupperna. Den temporala jämförelsen visade att i allmänhet var artantalet före kalkning mindre än 50% av det som fanns efter kalkning. Artanalyserna i håvproven pekade således på en komplett eller nära komplett återhämtning efter kalkning. De stora avvikelserna för den sura gruppen var påtagliga.

De kvantitativa proven har också utvärderats (Persson 2008). Detta har gjorts på 5-årsmedelvärden (2001–2005) samt 2-årsmedelvärden (2 referenssjöar). Skillnaderna mellan en behandlad grupp (15 kalkade sjöar) och 2 referensgrupper, en sur (7 sjöar) och en neutral grupp (8 sjöar) undersöktes liksom olika underliggande förklaringar till ev skillnader. De påverkande faktorer som undersöktes var växtplanktontillgång, förekomsten av planktonätande fisk, förekomsten av djurplanktonätande mygglarver och kräftdjur, toxisk påverkan av  $H^+$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Cu^{2+}$  och  $Cd^+$

samt eventuell  $Ca^{2+}$ -brist. Genomgången visade att den totala zooplanktonvolymen inte skilde mellan grupperna. Strukturella skillnader fanns dock så att gruppen Rotatoria hade högre individtätet i den sura sjögruppen jämfört med övriga grupper. Bestånden av pelagisk zooplanktonätande fisk visade sig vara större i den neutrala gruppen jämfört med övriga sjögrupper utan att zooplanktonvolymen var sänkt och tydligt påverkad av predation. Det återstår att förklara varför samma zooplanktonvolym kan försörja större fiskpopulationer i de neutrala referenssjöarna. En enkel förklaring är att de planktonätande fiskbeståndens storlek styrs av växtnäringstillgång, växtplanktonproduktion och zooplanktonproduktion, men att fiskens konsumtion av planktondjur håller bestånden nere i de neutrala referenserna trots högre produktion.

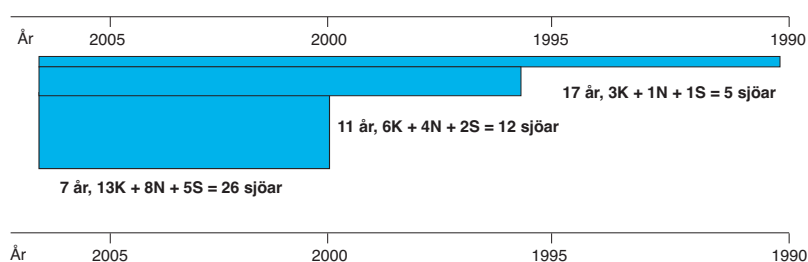
Undersökningen påvisade också en möjlig påverkan av toxiska ämnen, men bara inom gruppen av sura referenssjöar, där speciellt en sjö, Lillesjö, var svårt aluminiumpåverkad och nästan helt saknade zooplankton. I ytterligare tre sura sjöar pekade halterna av Al, Cu och Cd på en möjlig påverkan.

I denna rapport förs granskningen av materialet ett steg längre genom att de temporala förloppen i de tidsserier som skapats sedan undersökningarnas start beskrivs så långt möjligt. Utvecklingen beskrivs dels för enskilda arter och för grupper innehållande bara ett fåtal taxa, dels för de tidigare använda storgrupperna Rotatoria, Cladocera och Copepoda. Även provtagna i delprogrammet "Överkalkning" (10 sjöar med 1 års data) behandlas. Zooplanktonstatus från detta program jämförs då bara under ett år (2006) med data från samma år i de övriga programdelarna.

## MATERIAL OCH METODER

I utvärderingen ingår kvantitativa prov tagna med vattenhämtare från fyra grupper av sjöar (tabell 1, figur 1). De undersökta sjöarna indelas i 4 grupper:

**FIGUR 1.** Provtagningsperiodernas längd och antal sjöar av tre typer K = långtidskalkade sjöar, N = neutrala referenssjöar, S = Sura referenssjöar.



1. Intensivundersökta kalkade sjöar med 14 sjöar.
2. Intensivundersökta "neutrala" referenssjöar (pH 6–7) med 8 sjöar
3. Intensivundersökta "sura" referenssjöar (pH<6) med 8 sjöar
4. Intensivundersökta "överdoserade" kalkade sjöar med 10 sjöar.

Tidsseriernas längd varierar mellan 1–17 år för sjöar inom delprogrammen och endast tidsserier längre än 7 år har analyserats med avseende på trender. Kortare tidsserier används för att som medelvärden bedöma tillstånd de aktuella åren och för de "överdoserade" sjöarna redovisas bara data för år 2006 eftersom delprogrammet nyligen startats.

I de tidsserier som omfattar 17 år togs de första 6 åren prover i mitten av månaderna maj t.o.m. oktober. I senare serier (från 1996) har provtagningar gjorts 4 ggr/säsong (juni t.o.m. september). På en station i varje sjö togs vattenprov med vattenhämtare ("Limnos", 4,3 l volym) på djup med 2 m intervall från ytan till 8 m djup. Dessa prov från 0 till 8 m djup (5 prov) blandades till ett "epilimnionprov" varefter djuren avskiljades från provvattnet med en finmaskig planktonsil (0,04 mm).

Där djupet medgav togs ytterligare prov med 2 m intervall på 10,12,14 samt på 18 m djup (4 prov). Provvattnet blandades till ett "hypolimnionprov" och filtrerades. De avfiltrerade djuren konserverades med jodlösning. På laboratoriet togs ett delprov ut med "subsamlare" (Wiborg 1951) och djuren identifierades och räknades i räknekammare under omvänt mikroskop. De encelliga djuren räknades inte eftersom de till stor del passerar genom filtret. Djurens biovolym beräknades med volymskonstanter för arterna i grupperna Rotatoria och Cladocera samt med hjälp av mätningar och längd/viktrelationer för gruppen Copepoda.

För trendanalysen har "Seasonal Kendall" använts". Den avslöjar om det finns en signifikant ökning eller minskning i tidsserien. Trendanalysen är icke-parametrisk och använder data månadsvis genom hela den testade tidsserien och därefter alla månader tillsammans. Signifikansnivån  $p = 0,05$  har använts där annat ej anges.

## RESULTAT

### Val av provtagningsperiod

Zooplanktonbeståndens individtätthet brukar i idealfallet följa någon form av sinusformad kurva med minimum under vintern och maximum under juli–augusti för större djur (Cladocera och Cope-

**TABELL 1.** Antalet sjöar med olika mätperioder och mätperiodens längd i fem olika sjögrupper.

Delprogram	Mätper. (år)	Antal sjöar	Antal kalkår (min-max)
1. Långtidskalkade sjöar (inkl LångsjönT)	17	3	24-32
	11	3	23-29
	7	7	23-33
	2	2	23-26
2. Neutrala referenssjöar	17	1	-
	11	3	-
	7	4	-
3. Sura referenssjöar	17	1	-
	11	1	-
	7	3	-

**TABELL 2.** Medel- och medianvärden för 3 djurgruppers individtätthet (ind/l) perioden maj–oktober. Data från 5 sjöar under 6 år (1990–1995) för skiktet 0-8 m.

	Maj	juni	Juli	Aug	Sept	Okt
<b>Grupp, medel</b>						
Rotatoria	9,2	20,6	20	16,2	15	7,5
Cladocera	1,25	2,55	1,85	2,62	2	1,47
Copepoda	2,03	3,55	2,98	4,41	3,19	1,57
<b>Grupp, median</b>						
Rotatoria	1,86	5,58	3,72	2,33	2,1	1,82
Cladocera	0,46	1,4	0,93	1,4	0,93	0,7
Copepoda	0,91	0,93	0,93	0,93	1,39	0,46

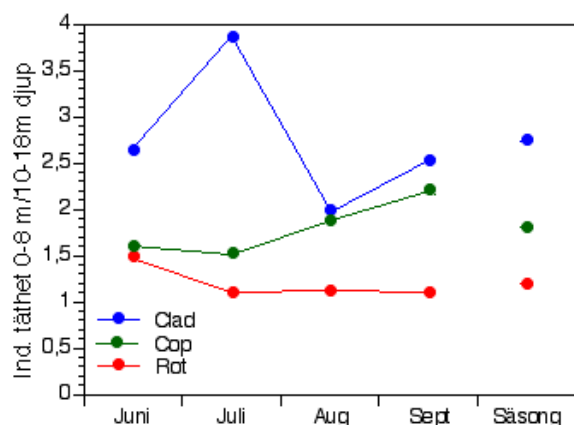
poda) och tidigare för små djur (Rotatoria). En målsättning vid provtagningarna har varit att följa populationerna under stigande fas, under maximum och när utvecklingen vänt nedåt. Provtagning ska nedprioriteras under vinterförhållanden då skillnader mellan sjöar avtar eller saknas. De provserier som under 6 inledande år togs i 5 sjöar inkluderade även månaderna maj och oktober, vilket gör det möjligt att hjälpligt beskriva hela sommarens temporala mönster. Medeltätheter i mer än 100 epilimnionprov visar att individtätheterna ungefär fördubblas mellan maj och juniprovtagningarna (tabell 2). Mellan september- och oktoberprovtagningarna sker ett avtagande som är av ungefär samma storleksordning för Rotatoria och Copepoda men inte så uttalat för gruppen Cladocera. Månaderna maj och oktober visar större inbördes likhet vad gäller individtätthet än likhet med övriga månader. Dessa månader kan därför betraktas som mindre intressanta för att karaktärisera sjötypiska förhållanden.

Under månaderna juni–september är medelvärdeskillnaderna mindre och en svag svacka i utvecklingen finns för Cladocera och Copepoda i juli. Utvecklingen under maj–september är emellertid mer dynamisk än vad medelvärdena berättar. Medelvärdena höjs kraftigt av några individuella populations-toppar som förekommer under denna period (men mer sällan under maj eller oktober). Detta framgår bl.a. av den stora skillnaden mellan medel- och mediantäthet som också redovisas (tabell 2). Den stora variationen mellan individuella mätvärden i materialet ger generellt en ”positiv svans” med ett fåtal höga värden. Med den valda undersökningsperioden juni–sept bör sjötypiska förhållanden framgå samtidigt som en viss dämpning av enstaka populationstoppar inverkan på medelvärden kan behövas.

### Fördelning i rummet

Planktondjurens rumsliga fördelning i vattenmassan är inte jämn. Man talar om horisontaell och vertikal heterogenitet. Den horisontella heterogeniteten består av förtätningar och förtunningar av individtätheten på en given djupnivå och är oftast utan lättgripbart mönster. Den behandlas inte i IKEU-programmet. Den småskaliga heterogeniteten dämpas dock i någon

**FIGUR 2.** Mediankvoter för individtätheter i skikten 0–8 m och 10–18 m djup under 4 sommarmånader samt för säsongen juni–september, se tabell 3.



mån av att vatten från 5 respektive 4 hämtare blandats till epi- respektive hypolimnionprov före analys.

Fördelningen i vertikalled är däremot både karaktäristisk och beskrivbar. Individdätheten brukar stiga från ytan ned till 2–6 m djup och sedan avta mot de större djupen. Detta varierar dock mellan olika arter samt beror av sprängskiktets läge, fiskpredation, födotillgång och vattenfärg. I den mån dessa ändras vid försurning eller kalkning kan djurens djupfördelning förändras. Kvoten mellan individtätheten för de tre stora djurgrupperna i vattenskikten 0–8 m och 10–18 m visar i hela materialet att individtätheten för Cladocera vid hälften av provtagningsstillfällena är 2,8 gånger så hög i de övre som de nedre vattenskikten (tabell 3). Rotatoria har nästan dubbelt så hög täthet i ytskiktet medan Copepoda i hälften av proven bara har obetydligt högre individtäthet i ytvattenproven (figur 2, tabell 3). Betydande skillnader i täthet finns ofta i de prov där individtätheten är högre än medianindividtätheten. I mer än 10 % av proven är individtätheten än 5–10 gånger högre i ytskiktet jämfört med tätheten på 10–18 m djup.

Fördelningen i vertikalled förändras också under sommaren, framför allt för gruppen Cladocera (tabell 3, figur 2). Gruppen har framför allt vid juniprovtagningen en högre individtäthet i ytskiktet jämfört med i djupskiktet.

Såväl val av provtagningsintervall som val av provtagningsdjup kräver kompromisser. Med målsättning att provta och analysera en planktonrik och karaktäristisk zon har blandprov för skiktet 0–8 m valts. Att provta djupare skikt ger fattigare och mindre differentierade prov men kan ge information om djurens vertikal fördelning ändras vid kalkning på grund av att de tidigare nämnda styrfaktorerna ändras.

### Variation inom sommarsäsongen (juni–sept)

Som nämnts kan olika djur ha stora skillnader i individtäthet under provtagningsäsongen. Detta har belysts genom att beräkna medelvärde och spridning för fyra prov inom varje säsong för 34 arter/grupper i de sjöar som följts i 7 år. I de fall arterna/grupperna inte finns i proven från alla 7 åren underskrids

**TABELL 3.** Kvoter mellan individtätheter i skikten 0–8 m och 10–18 m djup under 4 sommarmånader i 400 matchandeproven.

	Rotatoria			Cladocera			Copepoda		
	Medel	Std. err.	Median	Medel	Std. err.	Median	Medel	Std. err.	Median
Juni	3,2	0,55	1,6	4,84	0,69	2,64	2,36	0,24	1,48
Juli	3,3	0,54	1,52	3,16	0,38	3,86	1,76	0,18	1,1
Aug	3,1	0,42	1,88	2,94	0,32	1,98	2,14	0,28	1,12
Sept	3,2	0,31	2,2	4,57	0,65	2,53	1,66	0,16	1,1
Medel	3,2	0,46	1,8	3,88	0,51	2,75	1,98	0,21	1,2

detektionsgränsen och mellanårsvariationen kan inte beskrivas numeriskt på samma sätt eftersom det är okänt hur mycket detektionsgränsen underskrids.

När arterna/grupperna finns med under fyra årliga provtagningar under 7 år har variationskoefficienten inom säsongerna för det totala individtäthetsmaterialet beräknats. Den ligger för de flesta grupper ligger mellan 50 och 100% av säsongmedelvärdet. Vissa arter/grupper har dock snabbare och kraftigare populationsutvecklingar. Främst gäller detta *Asplanchna priodonta* (CV = 370%), *Kellicottia bostoniensis* (240%), *Gastropus stylifer* (130%) och *Polyarthra remata* (130%). Man kunde vänta sig att de hopslagna grupperna skulle visa lägre variation än de rena arterna men så var oftast inte fallet. Endast 3 arter/grupper hade lägre variationskoefficient än 50% och *Bosmina longirostris* hade minst variation (20%). Eftersom inomsäsongsvariationen möjligen påverkas av såväl kalkning som surt vatten har variationen i de tre behandlingsgrupperna jämförts. Jämförelsen kan inte bli komplett eftersom vissa arter/grupper inte finns i alla behandlingsgrupperna, men en bedömning pekar på att de arter som ovan utpekats ha ovanligt hög variation inom säsongerna är speciellt variabla i de neutrala referenssjöarna. *Gastropus* spp och gruppen *Cyclopidae* kan ha lägre variation i kalkade resp. sura sjöar.

Det måste betonas att dessa bedömningar inte omfattar de arter/grupper som saknas någon gång under provtagningssäsongen och som kan ha stor verklig variation utan att den kan bedömas. Sannolikt påverkar trender under den använda 7-årsperioden bara obetydligt inomsäsongsvariationen (se 198).

### Variation mellan säsonger/år

I beskrivningen av populationerna ingår även variationen mellan olika säsonger. Den kan i detta fall tänkas påverkas av kraftiga kalkningar direkt i de flesta sjöarna med några års mellanrum. I de sura sjöarna kan störningar skapas av sura episoder eller surhetsvariation på längre sikt. Mellanårsvariationen har här bedömts för de 25 sjöar som har 7 års mätdata dels för att de flesta sjöar med fleråriga data då ingår (figur 1) dels för att perioden är så kort att långsiktiga variationer (trender) kan antas inverka bara i liten utsträckning. Först bildades årliga säsongmedelvärden för 4 månaders mätningar för var och en av de 34 arterna/grupperna som analyserats (Appendix 2). För många av grupperna saknas dock mätvärden för alla 7 åren (jfr ovan). För ca 5–10 arter/grupper per sjö finns dock data från alla åren. För dessa kompletta serier har sjuårsmedelvärden och variationskoefficient beräknats. Sedan har medelvariationskoefficienten för varje sjö beräknats (tabell 4) samt medelvaria-

**TABELL 4.** Medelvariationskoefficient för individtätheter mellan år (2000–2006) i olika sjöar för de arter/grupper som har 7 års mätserier i varje sjö. Antalet mätserier anges också liksom medelvärden för de olika behandlingsgrupperna.

	Antal grupper med data 7säs	Medel %SD
<b>Kalkade sjöar</b>		
Bösjön	7	56
Ejgdesjön	7	78
Gyltigesjön	11	53
Gyslättsjön	11	69
Källsjön	9	55
Lien	9	7
Långsjön	11	60
N.Särnamannasjön	4	107
Stengårdshultasjön	9	69
Stensjön	11	64
Stora Härnsjön	12	58
Tryssjön	7	60
V. Skålsjön	7	58
<b>Gruppmedel</b>	<b>8,8</b>	<b>67</b>
<b>Neutral referens</b>		
Allgjuttern	5	76
Fiolen	8	61
Fräcksjön	11	64
Remmarsjön	9	78
Stensjön	7	48
Stora Envättern	7	52
Älgsjön	14	111
<b>Gruppmedel</b>	<b>8,6</b>	<b>70</b>
<b>Sur referens</b>		
Brunnsjön	8	60
Härsvatten	7	67
Rotehogstjärnen	8	64
Övre Skärsjön	12	71
<b>Gruppmedel</b>	<b>8,8</b>	<b>66</b>

tionskoefficienten för de neutrala, sura och kalkade sjögrupperna.

Variationskoefficienterna blev 70, 66 och 67% för respektive neutrala, sura och kalkade sjögrupperna. Skillnaderna är små och inte signifikant skilda. Det finns därför ingen anledning att anta att de kalkade eller sura sjöarna påverkats så att mellanårsvariationen ökat. Man kan dock inte utesluta möjligheten att de mätserier som inte är kompletta har blivit så på grund av störningar vid kalkningar eller surstötar. Likaså kan någon enstaka händelse döljas i de

medelvärden som använts vid denna bedömning, t.ex. i Älgsjön (CV=111%). Om variationen mellan säsonger inte tycks styras av djurens habitat kan en mer eller mindre stor mellansäsongsvariation ingå i djurens biologi. För att undersöka denna möjlighet bildades medelvariationskoefficienten för varje art i de sjöar som hade kompletta observationer på arten under 7 år. Grupperna/arternas mellanårsvariation gav variationskoefficienter på 44–109%, dvs varierade relativt kraftigt mellan arterna (tabell 5). De arter som visat sig ha relativt stor inomårsvariation tycks i några fall även ha stor mellanårsvariation: (*Asplanchna*, *Kellicottia bostoniensis*, *Gastropus stylifer* och *Polyarthra remata*), men den tycks vara mindre än inomårsvariationen. Dessa data tyder på att mellanårsvariationen är mera knuten till enskilda arters biologi än till störningar i deras habitat.

### Referensperiodens (2001–2005) zooplankton

Eftersom mellanårsvariationen kan vara betydande för många arter i zooplanktonsamhällena (tabell 5) har medelvärden för 5-årsperioden 2001–2005 använts för att karaktärisera sjöarnas zooplankton. Individtätheten ligger som sommarmedel (juni–sept) för alla sjögrupperna omkring 25–40 ind/l för Copepoda, ca 10 ind/l för Cladocera och 80–200 ind/l för Rotatoria. Dessa individtätheter ligger i nivå med vad som kan förväntas i svenska skogssjöar (sid. 195 Ser man till individtäthet i de tre behandlingsgrupperna (tabell 6) är den störst för gruppen Rotatoria i sura sjöar där medeltätheten är närmare 200 ind/l vilket är ca. dubbelt så högt i de kalkade sjöarna och i de neutrala referenssjöarna. På grund av den stora variationen är tätheten av rotatorier i sura sjöar inte signifikant skild från de övriga grupperna. Gruppen Cladocera har samma medeltäthet i alla behandlingsgrupper och saknar signifikanta skillnader. Gruppen Copepoda har dubbelt så hög medeltäthet i neutrala som i övriga grupper. Den är dock ej signifikant högre. Den höga tätheten av Rotatoria i den sura sjögruppen märks också i de kvoter som bildats mellan de olika djurgruppernas individtätheter. Trots att kvoterna Rotatoria/Copepoda och Rotatoria/ Cladocera i den sura sjögruppen är mer än dubbelt så höga som för övriga grupperns kvoter är skillnaden inte signifikant (tabell 6). Det framgår också av tabell 6 att grupperna av neutrala referenser och kalkade sjöar har måttlig inbördes skillnad vad gäller individtäthet och täthetskvoter medan de sura sjöarna sticker ut.

Vad gäller biovolymen i de tre sjögrupperna visar sig en medelvärdesskillnad så att biovolymen är något större i de neutrala referenssjöarna än i de två andra grupperna (tabell 6) både för, Cladocera och

**TABELL 5.** Antal sjöar där mellanårsvariation under 7 år för grupper/arter kunnat beräknas samt medelindividtäthet och medelvariationskoefficient för grupperna/arterna. Tabellen sorterad efter stigande variationskoefficient.

Nytt Gruppnamn	Antal sjöar med 7 års	Medelindivid-täthet (ind/l)	%SD
Diaptomidae	14	17	40
Cyclopidae	16	85	46
Kell longispina	16	63	51
Daphnia cristata	10	9	59
Övr Daphnia	15	10	61
Övr Polyarthra	16	105	70
Övr Keratella	16	151	77
Holopedium	4	4	79
Collotheca	9	5	79
Ceriodaphnia	4	20	80
Keratella quadrata	2	2	80
Trichocercida	5	16	84
Conochilidae	14	50	85
Bosmina cor s.l.	16	15	87
Asplanchna	9	34	96
Gastropus	8	22	98
Polyarthra remata	10	16	106
Diaphanosoma	2	6	112
Synchaeta	5	13	134
Kell bostoniensis	1	1520	186

**TABELL 6.** Periodmedelvärden 2001–2005 för individtäthet (ind/l) för grupperna Rotatoria, Cladocera, och Copepoda. Kvoter mellan gruppernas individtäthet, gruppernas biovolym samt den totala biovolymen.

	Kalkade	Neutrala	Sura
<b>Antal sjöar</b>	14*	8	7
<b>Täthet (ind/l)</b>			
Rotatoria	95	117	194
Cladocera	9	9	9
Copepoda	21	36	18
Summa	125	162	221
<b>Kvoter</b>			
Rot/Cop	4,5	3,3	10,8
Rot/Clad	10,0	13,0	21,5
Cop/Clad	2,3	4,0	2,0
<b>Biovolym (mm<sup>3</sup>/l)</b>			
Rotatoria	0,523	0,460	0,388
Cladocera	0,473	0,681	0,513
Copepoda	0,315	0,473	0,304
Summa	1,311	1,614	1,205

\* Nässjön har uteslutits p.g.a. kort mätperiod med onormalt hög biomassa.



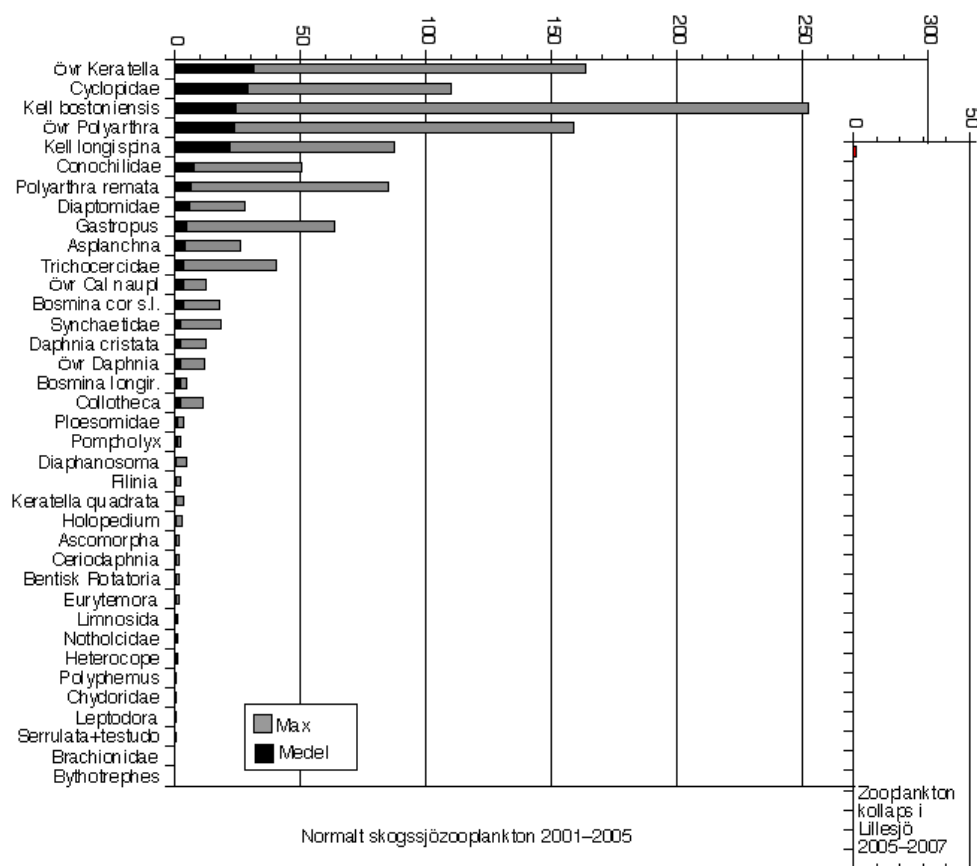
Copepoda och för hela biovolymen. Skillnaderna är dock små och ej signifikanta. De kalkade sjöarnas zooplanktonpopulationer har således vad gäller dessa mängdförhållanden en stor likhet med de neutrala referenssjöarna vilket ligger i linje med kalkningens målsättning. Om man ser till enskilda sjöar finns en sur referenssjö (Lillesjö) med ett helt avvikande fattigt zooplankton (< 2,1 ind/l, figur 3), sannolikt på grund av aluminiumförgiftning, och i Örvattnet, en annan sur referenssjö, saknas Cladocera nästan helt < 0,1 ind/l). I tre andra sjöar finns halter av koppar eller kadmium som är förhöjda och kan påverka zooplankton (Persson 2008). Även en sjö med extremt rikligt zooplankton har noterats (Nässjön). Eftersom äldre data visar mer normala värden har Nässjön 2005 ej ingått i medelvärdesberäkningarna för kalkade sjöar (tabell 6).

Även när det gäller enskilda arter/grupper finns överlag små skillnader mellan grupperna (tabell 7).

## Normer för individtätheter

I Sverige har hittills saknats en bra kvantitativ norm för vilka arter som kan förväntas – och i hur stora mängder – i vanliga skogssjöar under ”referensförhållanden”. Som ett första steg i utvecklandet av en sådan norm används nu data från 8 ”neutrala” referenssjöar (pH 6,0–7,0) inom IKEU och miljöövervakningen som provisoriska normalvärden för medel- och max-individtätheter av enskilda arter/grupper. Sammanslagningen av arter eller tillväxtstadiet till grupper har gjorts för att komprimera den information som samlas in vid mikroskopieringen. Svårigheter vid artidentifiering har också lett till sammanslagning till grupper. Arter som indikerar specifika miljöförhållanden har också sammanförts till grupper (Appendix 1). Detta utvecklingsarbete för att få fram kvantitativa normalförekomster beskrivs i Appendix 2 och förväntade individtätheter i neutrala skogssjöar framgår av figur 3. Som ett exempel på stor avvikelse har zooplanktonförekomsten i den

**FIGUR 3.** Referensdata för zooplankton i neutrala svenska skogssjöar. Individtätheter enligt fem säsongers provtagningari mitten juni, juli, augusti och september i skiktet 0–8 m (4–5 hopslagna prov) och 40 µm filtrering samt mikroskopräkning med taxonomisk upplösning enligt figur eller bättre. Medel och max-värden för perioden bedöms. Täthetsklasser enligt Appendix 2 kan också användas.



totalt aluminiumförgiftade Lillesjö lagts in. Där finns bara en art med täthet av 0,1 ind/l.

En bedömning har här gjorts vilka djurarter /grupper i de kalkade och sura behandlingsgrupperna som avviker från normalförekomsterna (fetstil i tabell 7). Bedömt på detta sätt tycks bentiska Rotatoria (*Anuraeopsis fissa*, *Euchlanis dilatata*, sp. *Tricotria* sp.) ha större täthet i kalkade sjöar. *Ceriodaphnia* har högre täthet både i kalkade och sura sjöar, *Gastropus* har lägre täthet i sura sjöar. *Kellicottia bostoniensis* har markerats som avvikande i alla sjögrupper beroende på att det är en invasiv art som ursprungligen inte funnits i svenska skogssjöar men som nu koloniserar snabbt och med höga populationstätheter, högst i sura sjöar. *K. bostoniensis* tycks således inte vara missgynnad i någon sjögrupp men har mer optimala förhållanden i sura sjöar än i de övriga. Vidare har frånvaron av *Limnospida* i sura sjöar noterats som en avvikelse liksom den låga individtätheten av *Pompholyx* i kalkade sjöar. En eventuellt sänkt individtäthet i sura sjöar för grupperna ”summa *Daphnia*” (= alla *Daphnia* utom *D. cristata*) och *Trichocercidae* kan utläsas, främst vad gäller de maximala tätheterna under säsongerna.

Denna bedömning skiljer sig från tidigare bedömningar som baserats på förekomst eller icke förekomst i håvprov. Enligt Ekströms (Hörnström & Ekström 1983, Persson & Ekström 2006) bedömningar baserat på håvprov anses följande arter vara surhets känsliga:

*Gastropus stylifer*\*,

*Ploeosoma truncatum*,

*P. hudsoni*,

*Trichocerca rousseleti*\*

*T. cylindrica*\*,

*Daphnia longispina longispina*,

*D. cristata cristata*,

*D. cristata longiremis*,

*D. cristata cederströmi*,

*Ceriodaphnia quadrangula*\*,

*Heterocope appendiculata*

De som sammanfaller med den kvantitativa bedömningen har utmärkts med asterisk och är 4 st. Bland de som sammanfaller kan det varaså att *Ceriodaphnia* snabbt koloniserar tomma nischer i störda system. För *Ploeosoma* finns i denna undersökning inga tecken på skillnader mellan sjögrupper. *Daphnia cristata* tycks enligt denna utvärdering inte vara surhets känslig i motsats till Ekströms utredning. ”Övriga *Daphnia*” i detta material tycks inte vara syrakänsliga. Sannolikt är syrakänsligheten olika inom

släktet *Daphnia* (Alstad 2002, Hessen m.fl. 1995) vilket inte framgår på grund av den sammanslagning som gjorts här. Bl.a. anger Morling & Pejler (1988) *D. longispina*, och *D. cucullata* som syrakänsliga. Vidare finns i denna undersökning inget som tyder på att släktet *Ploeosoma* skulle vara syrakänsligt. *Limnospida* förekommer här i låg numerär i neutrala och kalkade men inte i sura sjöar. Hos Ekström beskrivs arten som typisk för oligotrofa sjöar och mindre vanlig i Norrland. Denna bedömning stämmer inte fullt ut med de data som redovisas här. Det samma gäller *Heterocope* som av Ekström bedöms både vara surhets känslig och oligotrofiindikerande. Ekströms resultat gäller dock arten *appendiculata* vilken här inte urskiljts. Bland arter som kan gynnas i en sur miljö finns *Keratella serrulata* och *K. testudo* (Berzins, kompendium). I detta material har dessa arter redovisats sammanslagna. Individtätheterna är visserligen låga men tätheten är >4 ggr högre i sura jämfört med i övriga grupper vilket pekar på att de är vanligare i sura sjöar.

## Överkalkade sjöar 2006

Prov från de tio nya sjöarna i programmet med överdosering av kalk har ännu bara analyserats för år 2006. Dessa ettårsdata kan dels bedömas i relation till normperiodens plankton (2001–2005), dels bedömas i relation till övriga zooplanktondata insamlade det aktuella året (2006). Jämförelsen har avgränsats till år 2006 för alla behandlingsgrupper med tanke på mellanårsvariationen (figur 4). Man eliminerar då i stor utsträckning mellanårsskillnader som beror av meteorologiska faktorer.

Vid en preliminär jämförelse mellan 5-årsmedelvärden för somrarna 2001–5 och somarmedelvärden 2006 framgår att år 2006 var ett gynnsamt zooplanktonår, framför allt genom att gruppen Copepoda hade högre individtäthet i de flesta sjöar. Det visade sig också att individtätheterna var extremt förhöjda i Älgsjön 2006 jämfört med referensperioden och Älgsjön har därför uteslutits från vidare bearbetning. Man kan också notera att referensperiodens höga individtätheter av Rotatoria i den sura sjögruppen inte är så påtaglig sommaren 2006.

När individtätheterna för grupperna sammanfattas till medelvärden (tabell 8) framgår också att den överdoserade sjögruppen har ett rikare plankton än de övriga sjögrupperna. Gruppen Cladocera är signifikant individrikare än övriga sjögrupper. Övriga individtäthetsskillnader mellan grupperna är ej signifikanta.

Signifikanta skillnader saknas också för kvoter mellan de olika djurgrupperna och total biovolym liksom gruppernas biovolym. De arter/ grupper som har

**TABELL 7.** Förekomst av arter/grupper i tre grupper av sjöar perioden 2001–2005. Medel- och maxvärden (ind/l) anges för 0–8 m djup perioden juni–sept i 8 kalkade IKEU-sjöar, och 5 sura sjöar. Data från neutrala sjöar diskuteras som norm i appendix 1. Markeringar i fetstil avser troliga avvikelser från individtätet i neutrala sjöar.

	Kalksjöar		Neutr sjöar		Sura sjöar	
	Medel (ind/l)	Max (ind/l)	Medel (ind/l)	Max (ind/l)	Medel (ind/l)	Max (ind/l)
Övr Keratella	25,2	144	31,6	132	76,8	375,1
Cyclopidae	16	48,5	29,2	80,5	12,8	55,3
Kell bostoniensis	<b>11,8</b>	<b>194</b>	<b>24,4</b>	<b>228</b>	<b>85,7</b>	<b>718</b>
Övr Polyarthra	23,6	79,9	23,8	135	29,3	284,9
Kell longispina	13,7	84,5	21,9	65,4	15,5	74,1
Conochilidae	14,8	148	7,5	43	8,6	48,4
Polyarthra remata	2,4	15,2	6,3	78,3	10,6	57,5
Diaptomidae	4,1	54,9	5,8	22,2	5,9	16,6
Gastropus	3,2	27,2	4,3	59,2	<b>1,2</b>	<b>2,9</b>
Asplanchna	1,9	13,7	3,8	21,9	3	14,4
Trichocercidae	1,1	9,6	3,5	36,9	7,5	34,1
Övr Cal naupl	0,8	2,3	3,5	9	2,1	5,4
Bosmina cor s.l.	3,1	18,3	3,2	14,2	4	19,2
Synchaetidae	2,5	21	2,4	15,7	1,4	6,7
Daphnia cristata	1,4	6,1	2,3	9,7	1,3	3,9
Övr Daphnia	1,9	7,1	2,3	9,4	<b>1,1</b>	<b>4,5</b>
Bosmina longir.	0,7	1,6	2	2,5	0,1	0,1
Collotheca	1,2	7	2	9	3,1	16,6
Ploesomidae	0,5	2,1	0,8	2,5	1,1	5
Pompholyx	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	0,7	1,6	0,4	0,8
Diaphanosoma	1,2	6,3	0,6	3,9	1,5	5,8
Filinia	0,4	2,5	0,6	1,6	0,2	0,4
Keratella quadrata	0,7	5,1	0,6	2,5	0,7	1,7
Holopedium	0,5	3,9	0,5	2,2	0,5	1,2
Ascomorpha	1,2	10,1	0,4	1,1	0,5	1
Ceriodaphnia	<b>3</b>	<b>24,4</b>	0,4	0,9	<b>4,4</b>	<b>18,5</b>
Bentisk Rotatoria	<b>3,3</b>	<b>44,1</b>	0,3	1,1	0,3	1,7
Eurytemora	1,6	6,2	0,3	1,1	0,3	1,6
Limnosida	0,3	0,7	0,3	0,9	<b>0</b>	<b>0</b>
Notholcidae	0,7	2,4	0,3	0,6	0,6	1,9
Heterocope	0,14	0,7	0,2	0,6	0,1	0,2
Polyphemus	0,1	0,1	0,2	0,2	0	0
Chydoridae	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
Leptodora	0,1	0,1	0,1	0,3	0,2	0,4
K.serrulata+testudo	0,1	0,1	0,1	0,1	<b>0,4</b>	<b>0,6</b>
Brachionidae	0,2	0,4	0	0	0,1	0,1
Bythotrephes	0	0,1	0	0	0	0

**TABELL 8.** Sommarmedelvärde 2006 (juni–sept.) för individtätthet (ind/l) för grupperna Rotatoria, Cladocera, och Copepoda, kvoter mellan gruppernas individtätthet, gruppernas biovolym samt den totala biovolymen.

År 2006	Kalkade	Neutrala*	Sura	Överkalkade
<b>Antal Täthet (ind/l)</b>	15	7	7	10
Rotatoria	172	109	165	242
Cladocera	12	11	11	34**
Copepoda	31	36	25	45
Summa	215	145	201	321
<b>Kvoter</b>				
Rot/Cop	5,7	3,0	6,6	5,4
Rot/Clad	14,3	9,9	15,0	7,1
Cop/Clad	2,6	3,3	2,3	1,3
<b>Biovolym (mm<sup>3</sup>/l)</b>				
Rotatoria	0,66	0,084	0,359	0,54
Cladocera	0,49	0,707	0,312	1,03
Copepoda	0,17	0,263	0,272	0,29
Summa	1,32	1,117	0,943	1,860

\* Älgsjön har uteslutits p.g.a. onormalt hög biomassa 2006.

\*\* Avviker signifikant från övriga grupper

förhöjda biovolymen i sjögruppen med överdosering av kalk är *Ceriodaphnia* spp, *Bosmina longirostris* och *Bosmina coregoni* s.l. Ingen av de båda Daphnia-grupperna visar någon förhöjning, ej heller *Diaphanosoma* eller *Holopedium*.

Vad gäller totala biovolymen finns en medelvärdeskillnad så att sjögrupperna rangordnas med stigande säsongbiovolym: sura<neutrala<kalkade<överkalkade (tabell 8). För gruppen Cladocera är rangordningen: sura<kalkade<neutrala<överkalkade. Ingen grupp avviker signifikant från någon annan.

De signifikant större cladocerpopulationerna i de överkalkade sjöarna kan också vara en tillfällighet för år 2006 med tanke på de relativt stora mellanårsvariationer som påvisats i materialet (sid 193). År skillnaden bestående är den svårförklarlig speciellt om den orsakas av *Ceriodaphnia* spp, *Bosmina longirostris*

**TABELL 9.** Antal signifikanta individtäthetsförändringar inom olika sjögrupper baserat på tidsserier över 7 år (svart) och 11 år (rött). Bedömningarna är gjorda på säsongvärdet juni–sept och tecken anger förändringens riktning.

	Rotatoria		Cladocera		Copepoda	
	+	-	+	-	+	-
Kalkade	2	1	1	1	1	4
Neutrala		1	3		1	1
Sura					1	1

och *Bosmina coregoni* s.l. Ingen av dessa är kända för att ha speciellt stort kalciumbehov (Waervågen m.fl 2002). *Ceriodaphnia quadrangula* kan möjligen betecknas som en snabb kolonisator vid olika störningar och kan sedan försvinna (Stenson & Svensson 1994). *Bosmina longirostris* anges ibland som typisk för mindre vatten och littoralzonen samt eutrofiindikerande. Vad gäller *Bosmina coregoni* s.l. finns många underarter och former där somliga indikerar eutrofi medan andra är indifferent. För denna art kan mycket höga individtätheter också uppnås genom svämbildning.

## Trender

I fem sjöar har den kvantitativa zooplanktonutvecklingen kunnat följas under 16–17 år dvs från programmets start 1990 till 2006 (tabell 10): Stora Härsjön, kalkad 1977– Västra Skälsjön, kalkad 1977– Lien, kalkad 1983– Fräcksjön, neutral referens Övre Skärsjön, sur referens För att bäst ta fasta på långsiktiga förändringar redovisas här både trender för perioden 1990–2006 och perioden 1996–2006. Den kortaste perioden 2000–2006 har trendberäknats men redovisas bara som ett visst stöd till de längre tidsserierna eftersom allför mycket av variationen ansetts vara kortsiktig och kan påverkas av ”mellanårsvariation.

En första blick på de sammanfattande resultaten från långtidsserierna (tabell 10) visar att förändrade zooplanktonbestånd finns för alla grupperna. Av 14 indikationer på förändringar under 17-årsperioden

**TABELL 10.** Sannolikhet (p) för negativ eller positiv förändring av individtäthet för tre zooplanktongrupper under perioden 1990–2006 (17 år, svarta p-värden) enligt test utfört månadsvis och för hela sommaren i 5 sjöar med de längsta tidsserierna. Sannolikhet för förändringar beräknad för samma sjöar anges också för perioden 1996–2006 (11 år röda siffror) och perioden 2000–2006 (7år, blå siffror). Ranktest enligt "Seasonal Kendall". P-värden < 0,10 anges. Sjögrupp: (N)=neutral. (S)=sur, (K)= kalkad

Sjö	Tax. grupp	Mån 6	Mån 7	Mån 8	Mån 9	Säs
Stora Härsjön (K)	Rotatoria			- 0,02		
	Cladocera			- 0,05	0,03, - 0,02	- 0,05, -0,006
	Copepoda	+ 0,07			+ 0,02	+ 0,05
Lien (K)	Rotatoria			- 0,06		- 0,05
	Cladocera	- 0,07 - 0,002		+ 0,05		+ 0,02
	Copepoda				- 0,06	
Övre Skärsjön (S)	Rotatoria					
	Cladocera		+ 0,04			
	Copepoda	- 0,07			+ 0,05	
Fräcksjön (N)	Rotatoria		- 0,007, -0,05	- 0,03, -0,05		- 0,005, -0,07
	Cladocera	+ 0,03		- 0,003	- 0,07	
	Copepoda			- 0,05	- 0,008, - 0,01	- 0,03, -0,01
Västra Skälsjön (K)	Rotatoria		+ 0,02		+ 0,06	- 0,02
	Cladocera		+ 0,05			

(svarta p-värden) är alla negativa, d.v.s. populationerna minskar. Populationsminskningarna förekommer under flest månader i Stora Härsjön, Lien och Fräcksjön. För dessa påverkas även medeltätheterna under hela säsongerna. Västra Skälsjön och Övre Skärsjön har bara förändringar under en sommar-månad för en grupp och ingen förändring av sommarindividtätheten. Av tabell 9 framgår också att de kalkade sjöarna knappast utmärker sig genom att ha större populationsförändringar än övriga. Om Fräcksjön inte funnits med skulle dock slutsatserna ha kunnat bli annorlunda utan förändringar i de neutrala referenssjöarna. De månader då förändringar indikeras är framför allt augusti och september. Den djurgrupp som framför allt minskar är Rotatoria följt av Copepoda medan Cladocera minskade bara i augusti i Stora Härsjön.

När trendberäkning för dessa sjöar görs med de två andra tidsperioderna som grund kompliceras bilden (tabell 10). Elvaårstrenden (rött i tab.) ger 10 indikationer på förändring varav 5 negativa och 5 positiva. Fräcksjön har 4 indikationer, övriga 1–2. Indikationer på förändring finns framför allt i september men även i juni och juli. Bara i 4 fall sammanfaller indikerade förändringar mellan 17-årsperioden och 11-årsperioden. Djurgruppen Rotatoria har bara en signifikant förändring under 11-årsperioden medan, Copepoda minskar i 3 sjöar under augusti och Cladocerpopsulationerna förändras under 4 (!) olika månader i 4 sjöar.

Resultatet av trendberäkningarna med olika perioder således avvikande resultat. Beräkningar med 7-årsperioden har också gjorts med dessa sjöar men de förändringar som indikeras sammanfaller bara i 2 fall (Fräcksjön) med 17-årsperioden trots att 7-årsperioden indikerade relativt många förändringar (12 st jämfört med 15). Skillnaden mellan indikationerna vid 11 och 7 års period är också mycket stor (tabell 9). När trendindikationer för 11-årsperioden samlas i en tabell (tabell 11) framgår att 18 indikationer är negativa, och 9 positiva. Den entydigt negativa utvecklingen under 17-årsperioden återfinns således inte under 11-årsperioden även om utvecklingen till största delen tycks vara negativ eller inte signifikant i någon riktning. Indikationerna på förändring finns både i kalkade sjöar och referenser och någon skillnad mellan grupperna kan inte urskiljas. Om man enbart tar fasta på förändringar hela sommarsäsongen finns sådana i 6 fall för 11-årsperioden (tabell 11) och 5 av dessa är negativa. Förändringarna rör Rotatoria i 2 fall, Cladocera i 2 fall och Copepoda i 2 fall (tabell 11).

De grupper som är mest föränderliga har också bedömts baserat på totalt 25 sjöar med data från 7 år. Där visar sig gruppen Copepoda ha flest signifikanta förändringar (huvudsakligen negativa) följt av Rotatoria och Cladocera. Antalet signifikanta förändringar är högre i kalkade sjöar jämfört med i de andra sjögrupperna och antalet signifikanta förändringar är mycket litet i de sura sjöarna.

**TABELL 11** .Sannolikhet (p) för negativ eller positiv förändring av individtätet för tre zooplankton-grupper under perioden 1996–2006 (11 år) enligt test utfört månadsvis och för hela sommaren i 12 sjöar varav 5 st även redovisats i tabell 10. Ranktest enligt "Seasonal Kendall".

Sjö	Tax.grupp	Mån 6	Mån 7	Mån 8	Mån 9	Säs
Stora Härsjön (S)	Rotatoria					
	Cladocera				- 0,02	- 0,006
	Copepoda					
Lien (S)	Rotatoria					
	Cladocera	+ 0,002				+ 0,02
	Copepoda					
Övre Skärsjön (S)	Rotatoria					
	Cladocera		+ 0,04			
	Copepoda				+ 0,05	
Fräcksjön (N)	Rotatoria					
	Cladocera	+ 0,03			- 0,07	
	Copepoda				- 0,01	- 0,01
Västra Skälsjön (K)	Rotatoria				+ 0,06	
	Cladocera					
	Copepoda			- 0,05		
Allgjuttern (N)	Rotatoria					
	Cladocera					
	Copepoda					
Gyltigesjön (K)	Rotatoria	- 0,06				
	Cladocera				+ 0,04	
	Copepoda					
Källsjön (K)	Rotatoria					
	Cladocera			- 0,02		
	Copepoda					
Remmarsjön (N)	Rotatoria	- 0,01		- 0,007		- 0,01
	Cladocera					
	Copepoda					
Rotehogstjärnen (S)	Rotatoria					
	Cladocera					
	Copepoda	- 0,06				- 0,05
St Skärsjön (N)	Rotatoria	- 0,05			- 0,07	
	Cladocera		+ 0,02			
	Copepoda		+ 0,07			
StensjönAB (K)	Rotatoria		- 0,007			- 0,02
	Cladocera		- 0,01			
	Copepoda					

**TABELL 12** .Signifikanta förändringar av individtätthet över 17 år som sommarvärden juni–sept. för enskilda arter eller grupper. Tecken anger förändringens riktning.

	Västra Skälsjön	Lien	Fräcksjön	Stora Härsjön	Övre Skärsjön
<b>Copepoda</b>					
Cyclopide	+		–		–
Diaptomidae			–	(-)	–
<b>Cladocera</b>					
Bosmina coregoni s.l.			–		
D. cristata	–				
Holopedium			–		
Övr. Daphnia				–	
<b>Rotatoria</b>					
Gastropus				–	
Kellicottia longispina	+		–	+	
Keratella quadrata					+
Ploeosoma				–	
Polyarthra remata				–	
Synchaeta				–	
Övr. Keratella	+				
Övr. Polyarthra		–			

I tidsserierna från 17 år har analysen utsträckt till enskilda arter eller små grupper. Det visar sig då att de negativa populationsförändringarna dominerar. (tabell 12). Flest arter/grupper förändras i Fräcksjön och Stora Härsjön över sommaren och de två Copepoda-grupperna Cyclopidae och Diaptomidae förändras i flest sjöar. Exempel på de förändringar som faller ut som signifikanta visas i Appendix 3.

## SLUTSATSER

I en tidigare rapport (Persson 2008) behandlades zooplankton i IKEU-programmet med delvis andra frågeställningar. Ett material med artförekomst direkt före och efter kalkning visade att artantalet i 6 av 8 sjöar, ingående i IKEU, mer än fördubblades efter kalkning jämfört med före. Detta kan ses som en korttidseffekt av kalkningen och är som sådan mycket positiv.

I denna rapport följs zooplanktonutvecklingen med trendanalys i 5 sjöar under max 17 år, samt i 12 sjöar under 11 år. De flesta sjöar hade då redan varit kalkade minst 6 år och de nutida trenderna baserade på kvantitativa prov ger därför en bild av långtidsutvecklingen.

I de 5 sjöar som provtagits 17 år har 3 av sjöarna (Stora Härsjön, *kalkad*, Lien, *kalkad* och Fräcksjön, *neutral referens*), signifikanta minskningar för någon

av de 3 huvuddjurgrupperna och bland undergrupperna minskar oftast Cyclopidae och Diaptomidae inom Copepoda. Trender för totalt 12 sjöar (inkl. ovanstående 5 sjöar) under 11 år finns i:

Stora Härsjön, (*kalkad*),

Lien (*kalkad*),

Stensjön (*kalkad*),

Fräcksjön (*neutral referens*),

Remmarsjön (*neutral referens*),

Rotehogstjärnen (*sur referens*)

I alla dessa sjöar har individtäteten för någon av de tre huvudgrupperna minskat. Trendbedömningen över 11 år visar således att sänkta individtätheter finns i 3 kalkade sjöar, 2 neutrala och 1 sur referens av totalt 12 sjöar.

Trots att olika metoder använts nu och vid artförekomstanalysen åren omkring den första kalkningen kan man anta att långtidsutvecklingen varit negativ eller neutral till skillnad mot den positiva korttidsutvecklingen. Den negativa utvecklingen finns emellertid inte enbart i långtidskalkade sjöar vilket gör det önskvärt att söka orsaker utöver enbart kalkning. I Persson 2008 konstaterades ett signifikant samband mellan total zooplanktonbiomassa och växtplanktonbiomassa eller klorofyll samt mellan totalfosfor och växtplanktonbiomassa eller klorofyll. Det är känt att

totalfosfor också minskat i ett stort antal sjöar de sista 17 åren (Persson 2009) och det återstår att jämföra zooplanktonutvecklingen och totalfosforutvecklingen. Om en sådan koppling finns är zooplankton reglerat av näringstillgången ; ”bottom up” och inte ”top down”. Denna slutsats har också dragits av Persson (2008). Han har även jämfört zooplanktonförekomsten med förekomsten av planktonätande fisk men inte funnit några tecken på ”top down”-reglering av zooplanktonbestånden.

Enligt Persson (2008) torde bestånden också regleras av olika toxiska metaller, med all säkerhet aluminium i Lillesjö och möjligen av koppar och kadmium i Övre Skärsjön och Västra Skälsjön.

I samband med utredningen av effekter av olika metaller diskuterades om låg kalkhalt kunde påverka bestånden i några av de sura referenssjöarna men inga slutsatser kunde dras. I denna rapport redovisas en jämförelse av individtäthet 2006 mellan sura, neutrala, kalkade och överdoseringskalkade sjöar (figur 4). Tätheterna var högst för alla de tre större djurgrupperna i de överdoserade sjöarna. Bland Cladocera fanns förhöjda tätheter av *Ceriodaphnia* spp, *Bosmina longirostris* och *Bosmina coregoni* s.l. För att bedöma om detta är en effekt av hög kalkhalt krävs mer data (som är under inhämtning) samt jämförelse med andra referensmaterial och litteratur eftersom en sådan kemisk reglering av dessa arters bestånd tidigare inte rapporterats.

Tillfälliga störningar i zooplanktonpopulationerna kan också uppstå vid kalkningar direkt i sjön eller om en sjö drabbas av tillfälliga ”surstötter”. Detta bör kunna ge dels höjd inomsäsongsvariation dels höjd mellansäsongsvariation. I detta material är inomsäsongsvariationen i form av variationskoefficient juni–sept. (4 prov) mellan 50–100% för 34 arter eller mindre grupper. För ett mindre antal arter är variationskoefficienten över 100% men variationen är högst i neutrala referenssjöar. Variationen påverkas troligen inte av kalkningar eller surstötter.

Variationen mellan säsonger är relativt hög beräknad på 7 års säsongsmedelvärden (26 sjöar). För många arter finns inte säsongsmedelvärden för 7 år men för övriga ligger variationskoefficienten på 70, 66 och 67% för respektive neutrala, sura och kalkade sjöar. Inget tyder på att den är förhöjd i kalkade eller sura sjöar men arter kan också påverkas så att de saknas under något/några av de 7 åren. Det finns också tydliga skillnader mellan olika arters mellanårsvariation vilken kan ingå i djurens biologi.

Frågan om reglering av zooplanktonbestånd och arters eller grupperns miljöpreferenser behandlas i denna rapport också genom att upprätta en lista med förväntade individtätheter för arter eller små grupper

i neutrala skogssjöar. Listan upptar individtätheter för 37 arter eller mindre grupper.

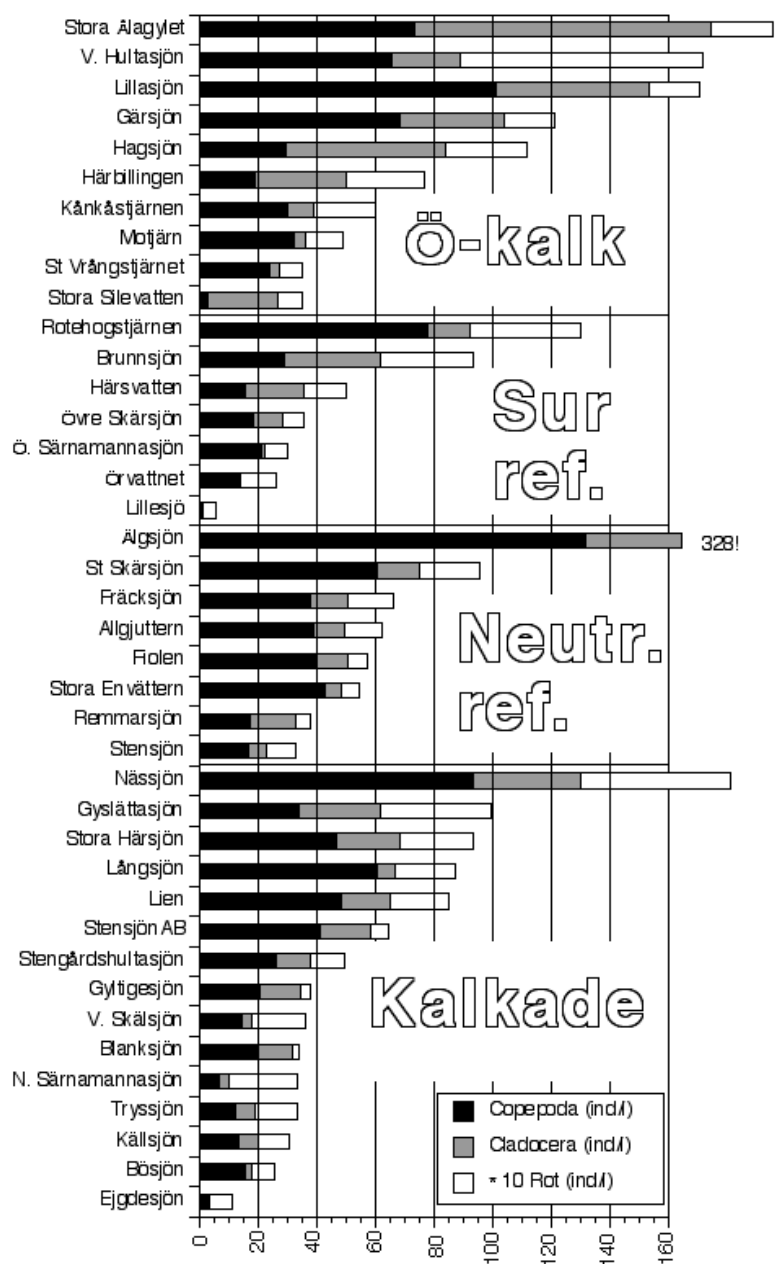
Av en jämförelse 2001–2005 mellan referensbestånden med å ena sidan, och med grupperna av kalkade och sura sjöar å den andra, framgår att på artnivå finns avvikelser från referensmaterialet så att en grupp med 4 bentiska Rotatoria är vanligare i kalkade sjöar. *Ceriodaphnia* har högre täthet både i kalkade och sura sjöar, *Kellicottia bostoniensis* har bedömts som avvikande i alla sjögrupper beroende på att det är en invasiv art som ursprungligen inte funnits i svenska skogssjöar. I sura sjöar är tätheterna av *Limnospiza*, *Daphnia* och *Trichocercidae* samt *Gastropus* sänkta men förhöjda av *Keratella serrulata* + *Keratella testudo*. I jämförelse med den lista på surhets känsliga arter som tagits fram baserat på närvaro eller frånvaro i håvprov (Hörnström & Ekström 1983, Persson & Ekström 2001) finns överensstämmelse för 4 arter medan ytterligare minst 4 surhets känsliga arter anges av Ekström.

Användningen av kvantitativa förekomstdata i skogssjöar som ”referensförhållanden” kommer att vidareutvecklas. Bland annat ska zooplanktonförekomst i olika störda sjöar jämföras med den norm som skapas av skogssjöarnas plankton. Som exempel visas hur zooplankton i Lillesjö totalt avviker från normen (sannolikt på grund av aluminiumförgiftning, figur 3).

Användningen av referensvärden bygger också på en normerad provtagning. Provtagna i juni till september (månadsmitt) rekommenderas eftersom prov från månaderna maj eller oktober ger hälften så hög individtäthet. Vidare jämförs individtätheter i ytvattnet (0–8 m djup, 5 delprov) med tätheten i skiktet 8–18 m. Djupintervallet 0–8 m ger minst tre gånger så hög individtäthet som intervallet 8–18 m för grupperna Rotatoria och Cladocera och dubbelt så hög täthet för Copepoda (medianvärden). Intervallet 0–8 m och 10–18 m är en kompromiss för att dels beskriva det rikare ytvattenplanktonet dels beskriva det fattigare djupvattnets plankton. Fler vertikalfiler för att bredda underlaget för val av ett standardiserat provtagningsdjup är önskvärt.



**FIGUR 4.** Medelindividtäthet sommaren 2006 (ind/l) för grupperna Rotatoria, Cladocera, och Copepoda i de undersökta sjöarna. Sjöarna ordnade efter fallande individtäthet inom de olika behandlingsgrupperna. OBS skalan för Rotatoria. Gruppdata summeras i tabell 8.



## REFERENSER

- Alstad Rukke, N. 2002. Tolerance to low ambient calcium shows inter-population differences in *Daphnia galeata*. *J. plankt. res.* 24: 527–531.
- Berzins, B. Zooplanktonkompendium för undervisningen i limnologi. Limnologiska avd. Lunds univ.
- Hessen, D. O., Faafeng, B. A. & Andersen, B. A. 1995. Competition or niche segregation between *Holopedium* and *Daphnia*; empirical light on abiotic key parameters. *Hydrobiologia* 307: 253–261.
- Hörnström, E. & Ekström, C. 1983. pH och närings-effekter på plankton i västkustsjöar. SNV PM 1704.
- Pejler, B. & Morling, G. 1990. Acidification and zooplankton development in some west-swedish lakes 1966–1983. *Limnologica (Berlin)* 20: 307–318.
- Persson, G. 2009. Kväve och fosfor under 17 år i IKEU-programmets sjöar. Manus
- Persson, G. 2008. Zooplankton response to long term liming: comparison of 15 limed and 15 reference lakes in Sweden. *Limnologica* 38: 1-13.
- Persson, G. & Ekström, C. 2006. Djurplankton före och efter kalkning i sjöar inom integrerad kalknings-effektuppföljning. Inst. för Miljöanalys, Uppsala, rap. 2001:6.
- Persson, G. & Svensson, G. 2004. Kvantitativa djurplanktonundersökningar i Sverige. När, var, hur och varför. Inst. för Miljöanalys, Uppsala, rap. 2004: 21.
- Stenson, J.A.E. & Svensson 1994. Manipulations of planktivore fauna and development of crustacean zooplankton after restoration of the acidified Lake Gårdsjön. *Arch. Hydrobiol.* 131:1–23.
- Stenson, J.A.E. & Svensson & Cronberg G. 1993. Changes and interactions in the pelagic community in acidified lakes in Sweden. *Ambio* 22: 277–282.
- Waervågen, S.B., Rukke, N., & Hessen, D. 2002. Calcium content of crustacean zooplankton and its potential role in species distribution. *Freshw. Biol.* 47: 1966-1878.
- Wiborg, K.F. 1951. The whirling wessel. *Rep. Norw. Fish and Marine Invest.* 9:1-16.

## APPENDIX 1

Sammanslagning av olika taxa och tillväxtstadier till större grupper. Grupperna används vid analys av zooplanktonutvecklingen.

Ny gruppbeteckning	Antal sammanslagna	Ingående taxa
Ascomorpha	3	A. ecaudis, A. ovalis, A. spp.
Asplanchna	2	A. priodonta
Bentisk Rotatoria	6	Anuraeopsis fissa, Euchlanis dilatata sp. Tricotria sp.
Bosmina coregoni s.l.	5	Bosmina longispina, Eubosmina coregoni, sp.
Bosmina longirostris	2	Bosmina longirostris
Brachionidae	3	B. angularis, B. urceolaris, sp.
Bythotrephes	4	B. longimanus, B. cederströmi
Ceriodaphnia	4	Ceriodaphnia quadrangula, sp.
Chydoridae	2	Chydorus sphaericus
Collotheca	2	Collotheca libera, sp.
Conochilidae	4	Conochilus unicornis, C. hippocrepis, sp. Conochiloides sp.
Cyclopidae	9	Cyclopoida nauplier, copepoditer, adulter
Daphnia cristata	2	Daphnia cristata
Diaphanosoma	2	Diaphanosoma brachyurum
Diaptomidae	18	E. gracilis, E. graciloides, M. laciniatus alla stadier
Eurytemora	8	Eurytemora, alla stadier
Filinia	3	F. terminalis, F longisetia, sp.
Gastropus	2	G. styliifer, sp.
Heterocope	12	H.appendiculata, H.saliens, H.borealis, sp. ej naupl.
Holopedium	2	Holopedium gibberum
Kellicottia bostoniensis	1	Kellicottia bostoniensis
Kellicottia longispina	1	Kellicottia longispina
Keratella quadrata	1	Keratella quadrata
Limnocalanus	4	Limnocalanus macrurus, alla stadier
Leptodora	2	Leptodora kindti
Limnosida	2	Limnosida crystallina
Notholca	4	N. acuminata, N. caudata, N. squamula, sp.
Ploesoma	3	P. hudsoni, P. triachanthum, P. truncatum, sp.
Polyarthra remata	1	Polyarthra remata
Polyphemus	2	Polyphemus pediculus
Pompholyx	2	P. sulcata, sp.
K. serrulata+testudo	2	Keratella serrulata, K. testudo
Övriga Daphnia hyalina, sp.	8	D.cucullata, D. galeata, D. longispina, D.
Synchaeta	2	Synchaeta, spp
Trichoceridae	8	T. birostris, capucina, cylindrica, porcellus, pusilla, rousseleti, similis, sp
Övr Temoridae naupl.	1	Temoridae naupl, ej Diaptomidae el Limnocalanus
Övr Keratella	5	Keratella cochlearis, K. hiemalis, sp.
Övr Polyarthra	4	Polyarthra vulgaris, major, euryptera, dolichoptera, sp.

## APPENDIX 2

### Zooplankton i referenssjöar som möjlig beskrivning av "referensförhållanden" i svenska skogssjöar.

I de beskrivningar som gjorts av zooplanktonförekomst i svenska sjöar har ide allra flesta fall förekomsten av olika arter använts (Hörnström och Ekström 1983, Pejler och Morling 1990, Persson och Ekström 2006). Underlaget utgörs av håvprovtagningar vilket ofta gör mängdangivelser svåra. Själva mängderna eller tätheterna är emellertid en informationsbärare i sig och det är därför som provtagning med möjlighet till kvantifiering använts i IKEU-programmet och den nationella miljöövervakningen. Artförekomst och individtäthet används nu vid jämförelse mellan kallade, sura och neutrala sjöar där de senaste används som opåverkad referens.

En utvidgad användning av kvantitativa förekomstdata från de 8 sjöar som nu används inom IKEU bör testas som beskrivning av "referensförhållanden" i det nya vattendirektivets mening (zooplank-

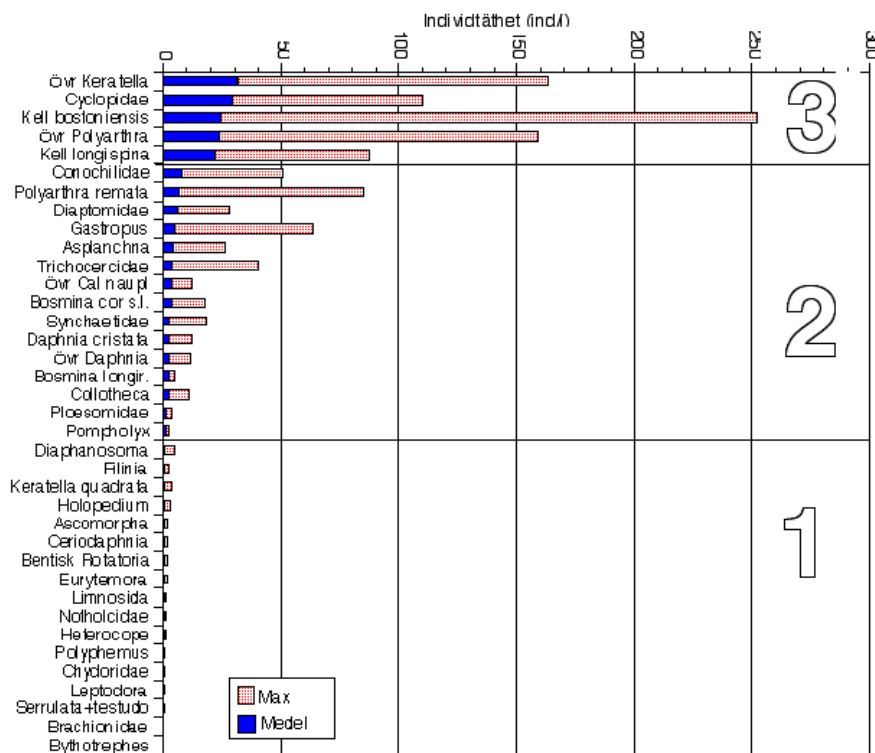
ton saknas i vattendirektivet). Man kan då t. ex. jämföra individtätheten av olika grupper eller arter på den lokal som ska bedömas med normalförekomst beskriven i tabellform (tabell 7) eller som figur 4 nedan. Sannolikt bör hopslagningen till grupper reviveras, men provantal, djup, maskvidd etc. bör ligga fast. Man kan också förenkla bedömningen genom att ange t.ex. tre individtäthetsgrupper:

- Grupp 1 < 1 ind/l
- Grupp 2 1–20 ind/l
- Grupp 3 20 < 50 ind/l

Dessa intervall har lagts in i tabellen och tycks stämma tämligen väl med bedömningar gjorda i håvprov även om en sådan jämförelse haltar. De villkor som gäller för jämförelse med dessa referensprov är:

- Provtagning mitten juni, juli, augusti och september
- Prov (helst 5) jämt fördelade på 0–8 m djup, hopslagna
- Filtrering 40 µm,

**FIGUR 5.** Individtätheter för olika arter och grupper enligt data från 8 neutrala opåverkade skogssjöar som kan bli typer för "reference conditions" för svenska skogssjöar. Förväntad individtäthet har också klassindelats 1–3.



### APPENDIX 3

Signifikanta förändringar i individtätet ( $p < 0,05$ ) i 5 sjöar som undersökts i 17 år 1990–2006. Test "Seasonal Kendall" på 4 prov tagna juni–sept. P-värden för varje månad ges i tabell 11. POS = positiv trend, NEG = negativ.

