



Utveckling av **IKEU** inför 2000-talet; redovisning av ett utredningsuppdrag

av

Gunnar Persson & Anders Wilander

Institutionen för Miljöanalys,
Box 7050,
750 07 Uppsala.
E-mail: Gunnar.Persson@ma.slu.se
Anders.Wilander@ma.slu.se

Rapport 2004:25

Utveckling av IKEU inför 2000-talet; redovisning av ett utredningsuppdrag

Tryck 2004/12
Upplaga 40 ex
Inst. för Miljöanalys
ISSN 1403-977X

Innehåll

	Sid
Bakgrund	3
Kalkningsverksamheten i 2000-talet	3
Naturvårdsverkets beställning	3
Viktiga riktlinjer i kalkningshandboken	4
Underlagsmaterial	5
IKEU i kalkningsverksamheten	6
Kalkningsverksamhetens objekt och IKEU-objekt i relation till försurningstryck	6
Jämförelse mellan fysiska förhållanden i kalkningsverksamhetens sjöar och IKEU-sjöar	11
Jämförelse mellan fysiska förhållanden i kalkningsverksamhetens vattendrag och IKEU-vattendrag	12
Karaktärisering och klassificering enligt Ramdirektivet för vatten	13
pH-mål och kalkdosering	14
Överdoserings på grund av felaktigt "bakgrunds-pH"?	17
Överdoserings i rena åtgärdsobjekt?	18
Förekomst av surstötar	19
Kalkningsmotiv	19
Vad händer vid återförsurning?	20
Biologiska undersökningar	21
Surhethistoria från sedimentproppar	23
Möjlighet att studera aluminium	23
Kriterier för att avsluta kalkning	25
Önskvärda förändringar i IKEU-verksamheten	26
Kalkade objekt	26
Okalkade referensobjekt	28
Delprojekt i basprogrammet	29
Parametrar, analysmetodik och artlistor	30
Provtagning och provtagningsfrekvens	31
Datalagring	31
Rapportering	31
Övrigt	32
Regionala kalkobjekt med omfattande uppföljning	34
Slutsatser	36
Naturvårdsverkets utredningsfrågor	36
Förändringsbehov	37
Egeninitierade frågor	39
Appendix 1-5	41

Bakgrund

Kalkningsverksamheten i 2000-talet

Det har gått snart 30 år sedan försöksverksamheten med stadsbidrag till kalkning startades 1976. Den administrerades då av Fiskeristyrelsen och övertogs 1982/83 av Naturvårdsverket. Under de senaste åren har en översyn av verksamheten gjorts både regionalt och nationellt med syfte att optimera och höja kalkningens kvalitet. En nationell kalkningsplan gällande fram till 2009 publicerades 1999. En ny kalkningshandbok kom 2002. Länsvisa åtgärdsplaner byggda på kalkningshandbokens riktlinjer har levererats till Naturvårdsverket under hösten och vintern 2003/04. Efter en nationell avstämning avses de gälla de närmaste 3-5 åren? En regional uppföljning av kemiska och biologiska effekter av kalkningarna har gjorts länsvis i form av årsvisa nyckeltal som redovisats av länsstyrelserna och sammanfattats nationellt av Naturvårdsverket.

Den nationella uppföljningen av kalkningens effekter har sedan 1989 gjorts inom programmet för Integrerad KalkningsEffektUppföljning (IKEU). I 13-15 sjöar och 10-14 vattendrag har vattenkemiska och biologiska förhållanden följts på ett mer omfattande sätt än i den regionala effektuppföljningen. Specialprojekt har kompletterat programmet. Med anledning av att översynen av hela verksamheten lett till justeringar av riktlinjer och uppläggning samt att försurningstrycket förändrats har Naturvårdsverket beslutat se över verksamheten inom IKEU. Detta görs i olika steg och inleddes med två seminarier hösten 2003 och fortsattes med diskussioner på kalkhandläggartreffen i Hässelby i december 2003. Dessutom har forskargruppen kring IKEU fått ett utredningsuppdrag som ska belysa ev. behov av förändringar inom projektet.

Naturvårdsverkets beställning

Förändringar inom IKEU har aktualiserats eftersom syftet utvidgats och Handbokens betraktelsesätt behöver implementeras. Syftet är numera:

- Att beskriva långsiktiga effekter av kalkning
- Att jämföra med situationen före kalkning
- Att beskriva oönskade effekter efter kalkning
- Ge underlag till länsstyrelsernas eller vattenmyndighetens planering, genomförande, uppföljning och utvärdering av kalkning

- Ge underlag till Naturvårdsverkets långsiktiga uppföljning av kalkning och försurning

- Ge underlag till Naturvårdsverkets rådgivning till länsstyrelserna om kalkning, avslutande av kalkning, försurningsbedömning mm

De tre sist nämnda punkterna har tillkommit och skall beaktas i programmet efter 2004. Anpassningen till Handboken innebär att:

- Kalkningshandbokens begrepp och tankesätt ska användas

- Såväl målområden som åtgärdsobjekt bör ingå i programmet

- De olika typerna av pH-mål ska finnas representerade

- Möjligheter ska finnas att studera olika kalkningsmetoder samt vanligt förekommande problem som överdosering, sura episoder och aluminium.

Med anledning av detta har IKEU-projektgruppen fått i uppdrag att utreda:

1. Representativiteten hos dagens IKEU-objekt jämfört med dagens försurningssituation
2. Representativiteten hos dagens IKEU-objekt jämfört med länsstyrelsernas kalkningsverksamhet
3. Möjligheter att studera olika pH-mål
4. Möjligheter att studera biologiska mål
5. Möjligheter att studera kalkningsmetoder
6. Möjligheter att studera överdosering
7. Möjligheter att studera sura episoder
8. Möjligheter att studera aluminium
9. Möjligheter att studera kalkningens avslut
10. Behov av förändringar avseende kalkade objekt
11. Behov av förändringar avseende okalkade objekt
12. Behov av förändringar avseende delprojekt
13. Behov av förändringar avseende parametrar/art listor
14. Behov av förändringar avseende provtagning och provintensitet
15. Behov av förändringar avseende datalagring

16. Behov av förändringar avseende rapportering

Dessutom ska möjligheterna att infoga regionala program undersökas (ITM) samt behovet av specialprojekt (IMA). Här sammanfattas endast tillgången på väl undersökta kalkade objekt undersökta i länsstyrelsernas regi.

Viktiga riktlinjer i kalkningshandboken

I kalkningshandboken finns ett viktigt underlag för de länsvisa utvärderingarna liksom för de länsvisa åtgärdsplanerna. Här redovisas några hållpunkter av intresse för IKEU-utredningen.

Kalkningsverksamhetens mål finns enkelt angivet: "Det långsiktiga målet med kalkningen är att återställa och bibehålla biologisk mångfald så att den liknar de biologiska samhällen som fanns före den antropogena försurningen". Kalkning är ett av flera verktyg för att uppnå målet "god ekologisk status" enligt EU:s ramdirektiv för vatten och för att uppfylla de nationella miljömålen om "Levande sjöar och vattendrag" och "Bara naturlig försurning". I den mån en klimatförändring förändrar de biologiska förutsättningarna kan målsättningen att återfå biologiska samhällen liknande de som fanns före den antropogena försurningen behöva modifieras.

Figur 1a. Kalkningsverksamhetens terminologi. Åtgärdsområdet innefattar målområden i både sjöar och vattendrag. Kalkade sjöar, våtmarker och vattendrag utgör åtgärdsobjekt (åtgärdssjöar, åtgärdsytor och åtgärdssträckor). Vissa åtgärdssjöar och åtgärdssträckor är också målområden, i andra fall är åtgärds- och målområden fysiskt skilda. Måluppfyllelsen i målområdena kontrolleras med provtagning i målpunkter och ev justeringsbehov av kalkning bedöms med provtagning i styrpunkter.

Det är alltså den antropogena försurningens effekter som ska åtgärdas. Till denna försurning räknas främst den överskottsdeposition av starka syror som tilltagit från 1800-talets mitt, men som efter en kulmen omkring 1970 nu minskar. Handboken diskuterar också den försurningseffekt som skapas inom skogsbruket genom att baskatjoner inte återförs till marken efter virkesuttag men slår inte fast om den ska definieras som antropogen. Det gör däremot Riksdagen, som fastslår att försurning orsakad av markanvändning är antropogent betingad. Detta har dock aldrig utgjort motiv för kalkning av sjöar och vattendrag utan Riksdagen tolkar miljö kvalitetsmålet så att: "Markanvändningens bidrag till försurning av mark och vatten motverkas genom att skogsbruket anpassas till växtplatsens försurningskänslighet". Bland anpassningsåtgärder inom skogsbruket har diskuterats askåterföring eller fastmarkskalkning samt kvarlämnande av grenar, rötter och toppar. Här lämnas därför skogsbrukets "skördeuttagsförsurning" utanför kalkningsmotiven för sjöar och vattendrag.

Surhetspåverkan genom tillväxtökning (gödsling) eller markavvattning nämns i förbigående i kalkningshandboken men definieras inte heller som antropogen. Effekter av ökad humussyraförlust från mark till vatten pga en pågående klimatförändring definieras inte heller som antropogen försurning.

Handboken arbetar med försurning i en gradient från: 1) syd- och västsvenska urbergsområden där marken ofta är försurad ned till berggrunden med följd att sjöar och vattendrag är försurningspåverkade hela året s.k. "basflödesförsurning". 2) "Episodförsurning" kallas den försurning som kan uppträda vid höga flöden. Vid episoder domineras avrinningen i vattendragen av nederbördsvatten/smältvatten som tillförts efter en snabb och ytlig passage genom marken." Under mellanliggande perioder kan försurningen vara försumbar.

Vad gäller åtgärdsbedömning finns två motiv att kalka: 1) i restaurerande syfte eller 2) i förebyggande syfte, det senare dock med tillägget att "förebyggande kalkningsinsatser numera sällan är motiverade".

pH-målen differentieras i handboken till 3 nivåer (pH=5,6, pH=6,0 eller pH=6,3) som sätts efter möjligheten för olika mer eller mindre känsliga arter att leva i ett givet habitat.

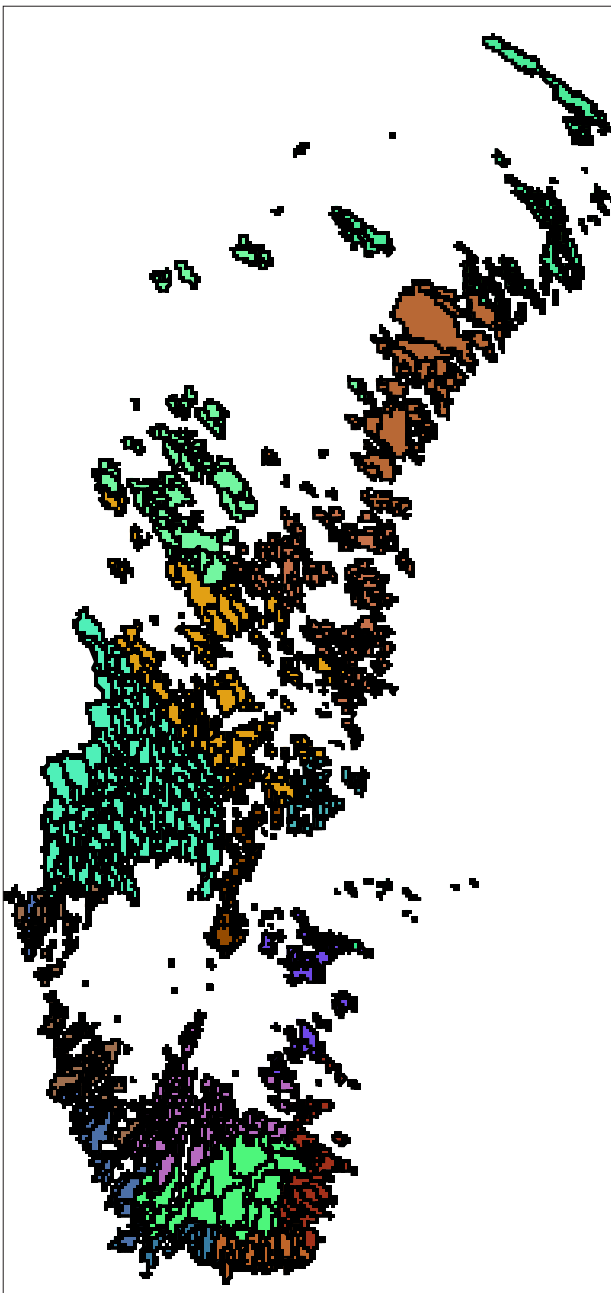
Vidare införs en avrinningsområdesvis indelning av områden som berörs av kalkning. Ett sådant angreppssätt harmonierar med EU:s "Ramdirektiv för vatten". En terminologi införs enligt figur 1. Åtgärds(avrinnings)området innefattar målområden (sjöar eller vattendragssträckor vars status beskrivs genom provtagning i målpunkter ofta belägna i sjöars utlopp eller i slutet av en målsträcka i ett vatten-

drag). Dessutom införs styrpunkter med enkel kemisk provtagning som skall indikera om kalkningen får avsedd effekt i målområdena eller om extra insatser behövs i någon typ av åtgärdsplan uppströms.

För beräkning av kalkbehov används bakgrunds-pH och mål-pH. Med "bakgrunds-pH" menas de pH-värden som uppträtt om vattnet varit okalkat, vilket i regel är liktydigt med de pH-värden som uppmättes innan kalkning".

I en tabell hämtas volymdosen av CaO som sedan omräknas till arealdos i målpunkten (kg/ha,år) med hjälp av den arealspecifika avrinningen och avrinningsområdets storlek uppströms målpunkten.

Risk för överdosering anges uppträda i åtgärds-sjöar med volymdosen $>50 \text{ g/m}^3$, vilket omräknat



Figur 1b. Åtgärdsområden inom kalkningsverksamheten enligt länsstyrelsernas åtgärdsplaner hösten 2003. Översyn och revision pågår.

till alkalinitet motsvarar $>0,5 \text{ mekv/l}$. På annan plats anges överdosering föreligga om alkaliniteten i målområdet under högflöden överstiger $0,07-0,15 \text{ mekv/l}$.

Underlagsmaterial

Fakta om IKEU-programmets objekt har i huvudsak hämtats på projektets hemsida:

<http://www.ma.slu.se/IKEU> samt i länens åtgärdsplaner (se nedan).

Effektuppföljningsdata om kalkningsobjekt i stort har hämtats i Databas Miljö och Naturvård (DMN) som innehåller konverterade data från KRUT fram till 1995/96 sedan direktinmatade data om länsstyrelsernas effektuppföljning. Uttag ur DMN görs med den relativt nya programvaran Kalk-navigatören. DMN med Kalk-navigatören har dock aldrig blivit en komplett framgång. Data saknas helt från Y-, Z- och W-län. Data från AC-län är ej komplett och under perioden 1995–2000 upphörde inmatning i ytterligare 6 län: F-, H-, K-, N-, S-, och X-län. Databasen saknar således kontinuerliga registreringar från 9 län eller hälften av de län där kalkning utförs.

De länsstyrelser som inte rapporterat till DMN har egna baser för att vid behov kunna leverera data bl a till Naturvårdsverket.

Nyckeltal har redovisats länsvis och årligen 95/96 till 2002. Data om enskilda objekt ingår inte i nyckeltalsrapporteringen till Naturvårdsverket men länsstyrelserna bör ha underlag för enskilda objekt vad gäller de uppgifter som efterfrågas. Efterfrågade uppgifter har förändrats med tiden; speciellt viktiga ändringar gjordes till 2002.

Åtgärdsplaner från varje länsstyrelse levererades till Naturvårdsverket vintern 2003. Där skulle all information om enskilda objekt beskrivas enligt given mall.

Information om målområden + åtgärdsområden + kalkning etc levererades digitalt länsvis för nationell sammanfattning. Information om doserare levererades också digitalt för nationell sammanställning. Kart-teman i Arc View-format ingick också (figur 1b), inklusive attributdata, men pga bristande standardisering är materialet svårt att utnyttja nationellt.

Kalkningsplanering (punkter, kalktyper, mängder etc) i åtgärdsplanerna redovisades pappersburet, liksom viss effektuppföljning. Effektuppföljningen (kemisk och biologisk) är bunden till lokaler, men ej möjlig att koppla till målområden etc. pga att gemensam ID saknas. Diagram med pH och Alk-mål samt mätvärden redovisas för varje målpunkt.

Trots att åtgärdsplanerna inte är nationellt standardiserade och inte komplett levererade i digital form har de visat sig vara mest användbara för denna genomgång.

IKEU i kalkningsverksamheten

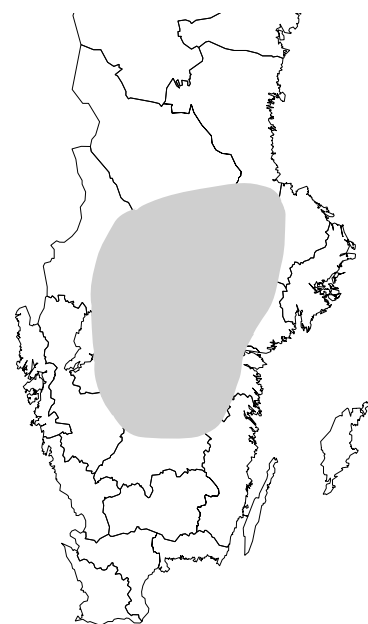
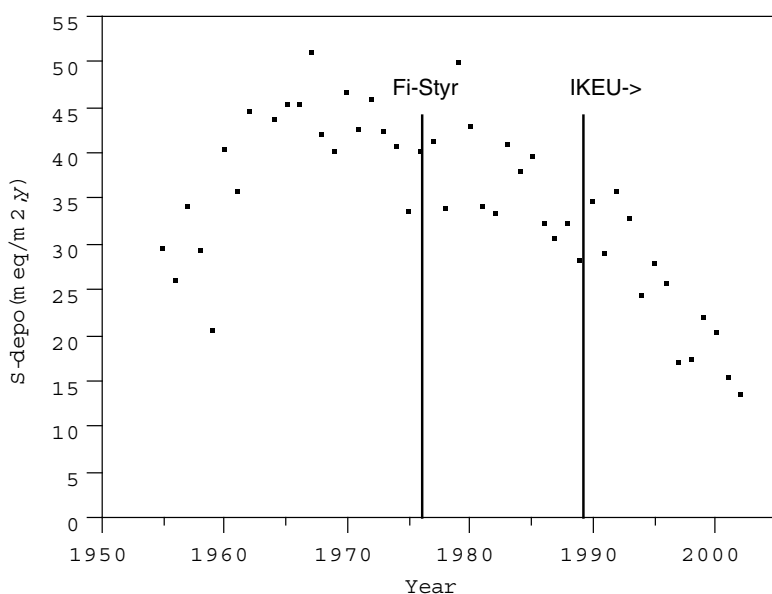
Kalkningsverksamhetens objekt och IKEU-objekt i relation till försurningstryck

Den antropogent orsakade deposition av starka syror som kalkningsverksamheten skall neutralisera utgörs av det överskott av icke neutraliserade vätejoner som deponeras kopplade till sulfat och nitrat.

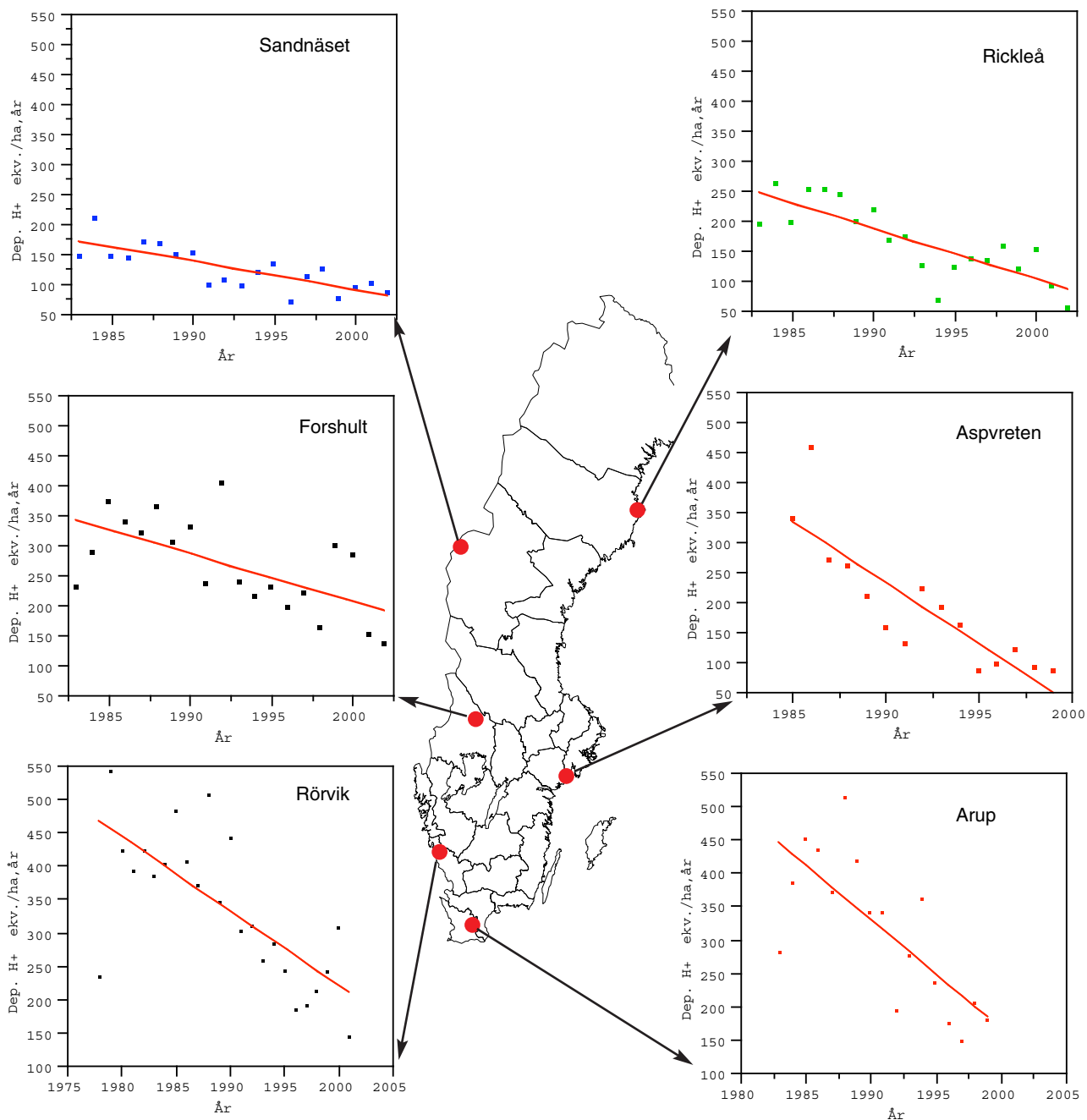
Depositionen av icke neutraliserade vätejoner har minskat mycket påtagligt under den senaste 30-årsperioden. Detta beskrivs väl av depositions­mätningar av sulfat på 5-7 stationer i Mellansverige (figur 2). Bakgrundsdepositionen av neutraliserat marint sulfat har i detta fall subtraherats. Minskningen av överskottssulfat är i denna region mer än 50% från maximum i slutet på 1960-talet. Under samma tidsperiod har depositionen av nitrat ökat fram till 1980-talet och därefter förblivit relativt konstant. Med sänkt sulfatdeposition har nitratdepositionens betydelse för vätejon­ tillförseln ökat. Den kan idag utgöra 1/3 till 1/2 av vätejon­depositionen. Eftersom nitrat är biologiskt aktivt och genomgår olika transformeringar i naturen får inte de associerade vätejonerna samma försurningseffekt som de vätejoner som är sulfatassocierade. Utan att gå närmare in på detta speglar figur 2 inte försurningseffekten helt korrekt. Den är något större än figuren visar och har ännu inte sjunkit i nivå med 1950-talet.

För att visa den samlade vätejon­depositionen kan pH-värden eller aciditetstitreringar användas i stället för att ange syrornas anjoner (figur 3). Detta ger då den maximala försurningseffekten av deponerad syra, och därmed maximalt neutraliseringsbehov om neutraliserande vittring inte finns. Figuren visar trender för syradepositionen från 1980-talet och framåt på sex platser som valts strategiskt i det svenska kalkningsområdet. Arup och Rörvik fångar upp det höga sydliga och sydvästliga depositionsstrycket. Rickleå fångar upp det östliga belastningsstrycket vid Västerbottenskusten och Sandnåset speglar depositionen i södra fjällkedjan. Forshult ligger strategiskt nära norrlandsgränsen i den nord-sydliga depositionsgradienten. I samma gradient i östra Svealand ligger Aspvreten.

På 10 år har syradepositionen sjunkit mellan 46 och 76% när den sätts i relation till medel­depositionen för varje station (Arup 52, Rörvik 34, Forshult 30, Aspvreten 76, Rickleå 50 och Sandnåset 37%). En framskrivning ytterligare 10 år skulle för några stationer kunna innebära att depositionen av excesssyra upphörde. Detta innebär att slutet på överbelastningen med syra skulle kunna ligga nära i lågbelastade områden. Den verkliga utvecklingen beror på emissionsutvecklingen.



Figur 2. Uppmätt deposition av icke marint sulfat i öppna depositionsträttar från 1956 och framåt. Mätningarna redovisas som årsmedelvärden från 5-7 stationer i Mellansverige (t.h. i figuren). Mätningar gjorda inom EACN, MISU och PMK sammanställda till 1990 av L. Granat. Senare data från PMK, EMEP och Miljöövervakningen via datavärd. Kalkningsverksamhetens- och IKEU:s start har också angivits.

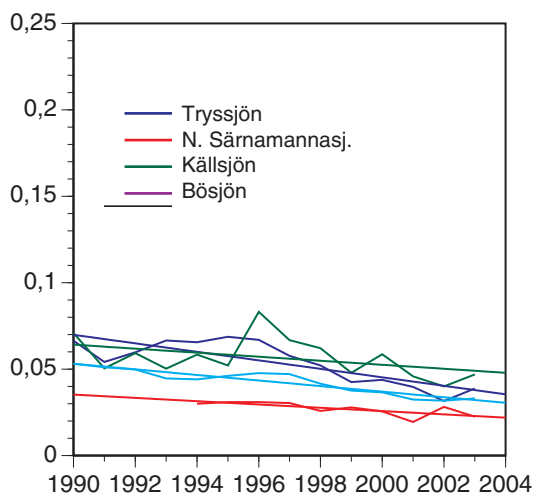
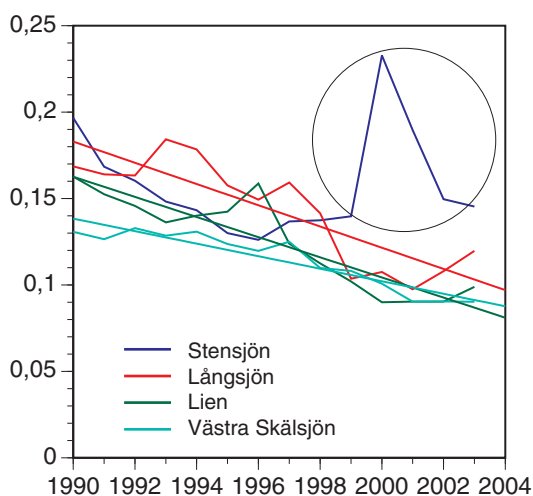
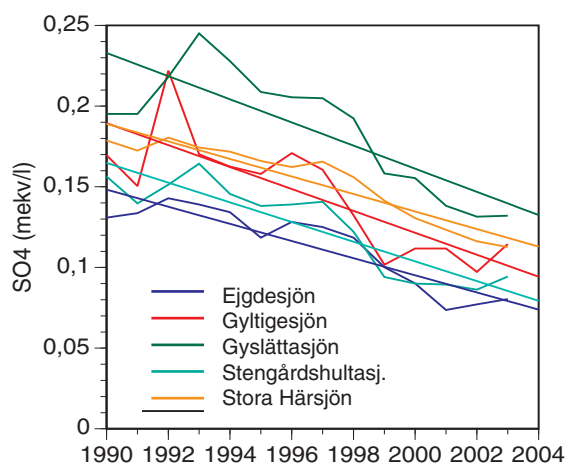


Figur 3. Deposition av vätejoner på sex stationer i Sverige. Vätejondepositionen omräknad från pH-mätningar i öppna depositionssamlare. Minskningstakt (redovisad i texten) beräknad med linjär regression.

IKEU-sjöarna har svarat på depositionsminskningen. Detta framgår av sulfathalterna i sjöarnas vatten som följts under 14 år (figur 4). Sjöarna har fördelats på tre grupper, en från syd och sydvästverige, en från mellersta Sverige t.o.m Bergslagen och en från norra Sverige. I figur 4 har också data från Stensjön medtagits trots att sulfathalten steg kraftigt efter bekämpningen av den stora skogsbranden i området som genomfördes med sulfatrikt vatten från Östersjön. Sulfathalternas avklingningstakt har beräknats med linjär regression och redovisas för en 10-årsperiod (tabell 1). Av denna framgår att minskningstakten varit 0,01-

0,07 mekv/10 år i sjöarna, (avklingning i Stensjön endast före branden.) Även om avklingningen i Norrland går långsammare än i syd så är den bara något mindre uttryckt i relativa tal. Sulfatminskningen i gruppen som helhet ligger i intervallet 20-49%. I Norrland finns fler sjöar där minskningen ligger under 40% och den minsta förändringen finns i Källsjön (20%).

Sulfatminskningen kan också jämföras med depositionsminskningen av vätejoner på de sex tidigare nämnda depositionsstationerna (46-76%). Den långsammare förändringen i sjöarna kan ses som en nettoeffekt av depositionsförändringen där lag-



Figur 4. Sulfathalter (mekv/l) som årsmedelvärden i IKEU-sjöarna samt linjer anpassade med linjär regression. Sjöar i syd och sydvästsverige redovisas sammanhållet liksom sjöar i Mellersta Sverige och sådana norr om Bergslagen. Observera avvikelserna i Stensjön p.g.a. skogsbrandbekämpning med bräckt vatten från Östersjön.

ring i mark och fördröjd utlakning också ingår.

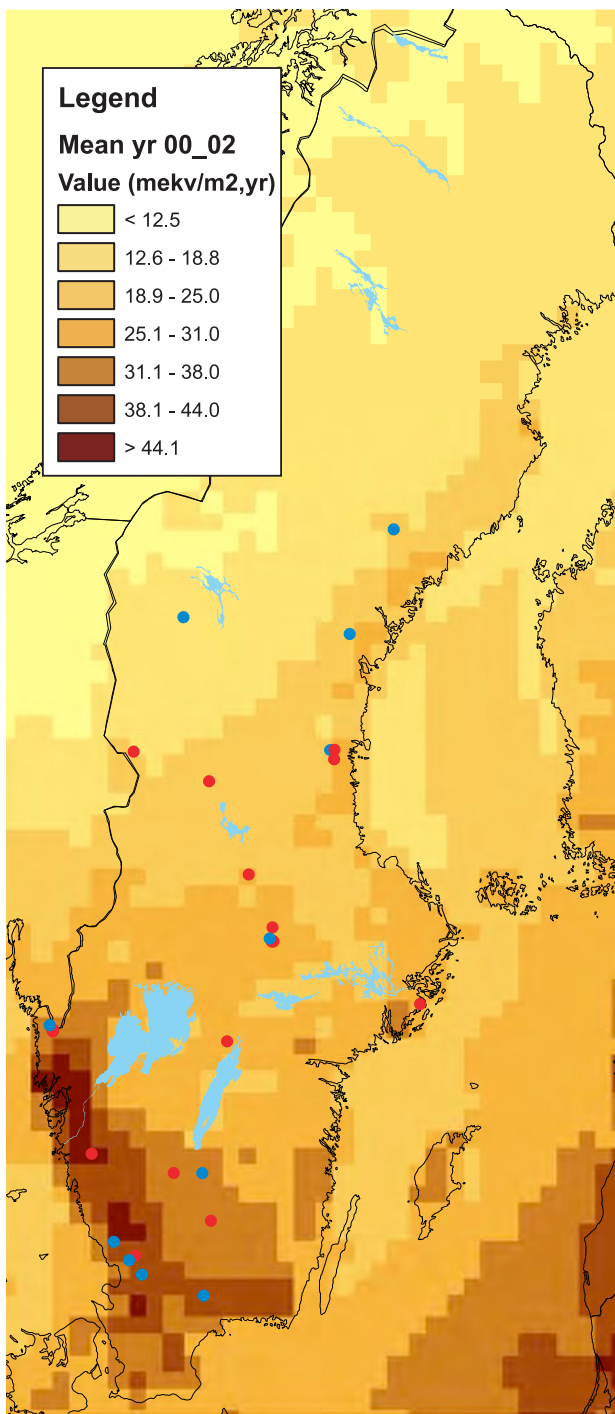
Det aktuella regionala depositions-mönstret har beskrivits med SMHI:s Match-modell och avser våt+torrdepositionen av svavel korrigerat för

Tabell 1. Sulfathaltsminskning i IKEU-sjöar under 14 år. Minskningen beräknad med linjär regression och angiven för en 10-årsperiod som mekv/l och % av medelhalten.

	(mekv SO ₄ /l,10år)	%,10 år
Bösjön	0,0161	38
Ejgdesjön	0,0531	47
Gyltigesjön	0,0679	47
Gyslättsjön	0,0717	38
Källsjön	0,0116	20
Lien	0,0582	47
Långsjön	0,0614	43
N. Särnamannasjön	0,0095	35
Stengårdshultasjön	0,061	49
Stensjön	0,0698	44
Stora Härsjön	0,0544	36
Tryssjön	0,0245	45
V. Skälsjön	0,0362	31

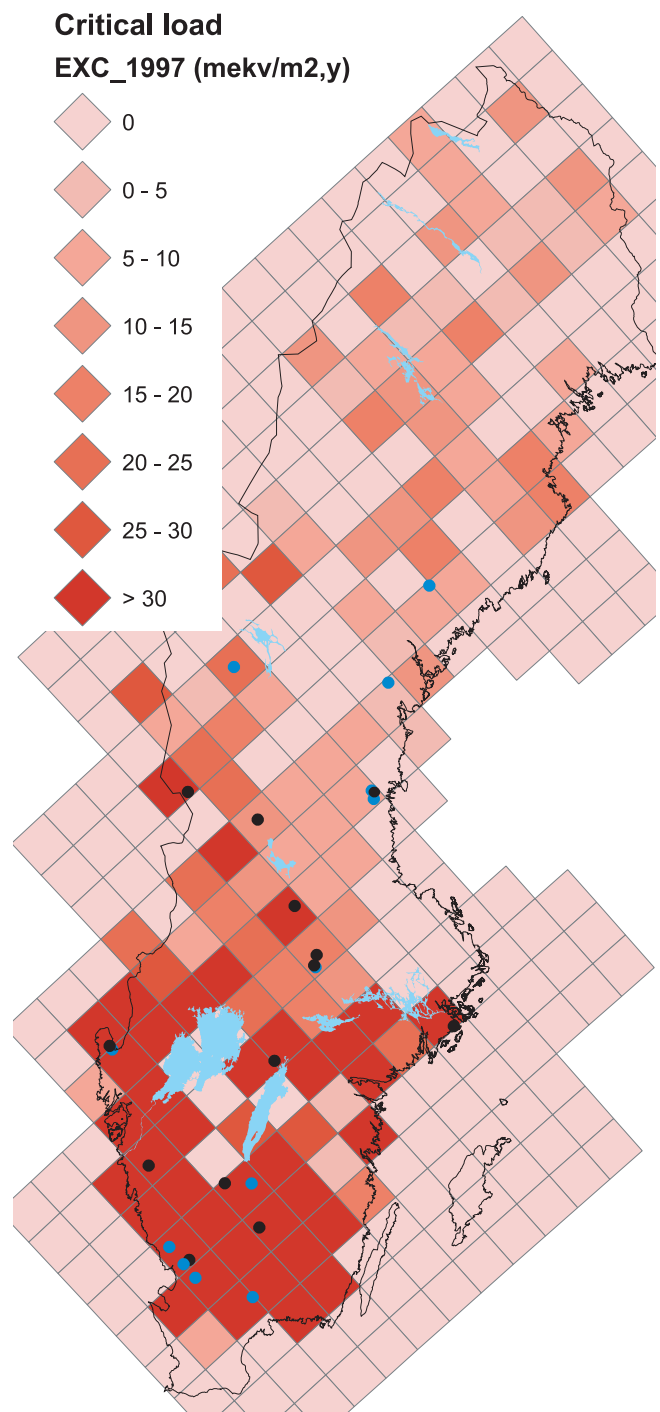
marint sulfat som medelvärde för treårsperioden 2000-2002. Högflödes och högdepositionsåret 2000 ingår således tillsammans med två lågflödesår (figur 5). Kvävedeposition ingår inte. Både IKEU-sjöar och vattendrag har markerats i figuren som därigenom också visar deras lägen i försurningsgradienten.. Denna deposition utgör tillsammans med vätejoner associerade till nitrat den maximala syramängd som ska neutraliseras om neutralisering genom vittring saknas. I sydvästra Sverige där ett sulfatöverskott finns i marken i relation till nuvarande deposition pågår ett läckage av överskottsyra, vilket kan något öka neutraliseringsbehovet.

För att även kunna ta hänsyn till vittring vid bedömning av kalkningsbehov har vi använt uppgifter om kritisk belastning för 50x50 km rutor (data L. Rapp). Den ger ett samlat mått på markens neutraliseringsförmåga. Ett ev. överskridande av syradeposition över neutraliseringsförmåga har beräknats för år 1997 (figur 6). Syradepositionens överskridande av den kritiska belastningen för ett godtyckligt objekt inom en ruta brukar anges med en viss sannolikhet. Oftast anser man att ett överskridande för 5% eller färre av sjöarna inom en ruta leder till att den klassas därefter. På detta sätt kan man få fram ett neutraliseringsbehov som återstår när neutraliseringsförmågan hos mark och vatten utnyttjats. Det kan sägas indikera det maximala kalkningsbehovet, eftersom 95% av sjöarna i en ruta har ett mindre kalkningsbehov. På kartan över kritisk belastning har även IKEU-objekten markerats. De olika objekternas syradeposition och överskridande av kritisk belastning anges också i tabell 1. Kraftig försurning (90-132 mekv/m²,år kalknings-



Figur 5. Deposition av icke marint svavel i vått och torrt nedfall (mekv S/m²,år). Modellberäkning av SMHI för 20x20 km rutor. Medelvärden för treårsperioden 2000–2003. Röda punkter: IKEU-sjöar. Blå punkter: IKEU-vattendrag

behov) indikeras för 5 objekt längs västkusten och dessa överensstämmer med de objekt som har den högsta svaveldepositionen. Lägsta kalkningsbehov (0-20 mekv/m²,år) indikeras för objekt i Bergslagen och Norrland vilket både beror på en större neutraliseringsförmåga hos marken och på en lägre syradeposition



Figur 6. Överskridande av kritisk belastning beräknat för 1997 i 50x50 km rutor (mekv/m²,år). Svarta punkter: IKEU-sjöar. Blå punkter: IKEU-vattendrag. Data från L.Rapp

För att tydliggöra hur åtgärdsområden inom kalkningsverksamheten ligger i depositions- och överskridande-gradienterna jämfört med IKEU-objekten har överskridandeberäkningar gjorts för alla åtgärdsområden som rapporterats i åtgärdsplanerna. Dessa redovisas i form av en frekvensfördel-

Tabell 1. Deposition av vätejoner över IKEU-sjöarna och IKEU-vattendragen beräknat för nedanstående koordinater och depositions-karta enligt figur 5. Överskridande av kritisk belastning beräknat på samma sätt från underlagsdata för figur 6 (L. Rapp). Överskridandet avser år 1997. "Naturlig" alkalinitet/aciditet beräknad för IKEU-sjöarna med uppmätt magnesiumhalt och kalciumhalt uppskattad från Ca/Mg-kvoter i okalkade näraliggande referensobjekt (se text).

NAMN	X-KOORD	Y-KOORD	Depo SO ₄ (mekv/m ² ,år)	Överskridande (mekv/m ² ,år)	Naturlig alk. (mekv/l)
Stensjön	656419	164404	30	31	0,011
Stengårdshultasjön	638317	138010	36	48	0,091
Gyslättsjön	633209	141991	34	65	-0,091
Gyltigesjön	629489	133906	43	91	0,010
Ejgdesjön	653737	125017	31	45	-0,065
Stora Härsjön	640364	129240	44	132	-0,098
Långsjön	652412	143738	27	63	0,034
Västra Skälsjön	664620	148590	29	17	0,003
Lien	663216	148449	27	17	0,073
Bösjön	680235	141799	22	11	-0,004
Tryssjön	670275	146052	25	40	-0,009
Nedre Särnamannasjön	683421	133742	19	30	-0,005
Källsjön	683582	154935	28	5	0,034 ¹⁾
Hästgångsån	638300	141085	34	48	
Strönhultsån	625195	141220	40	95	
Blankan	627432	134607	42	59	
Hovgårdsån	630960	131620	43	91	
Lillån	628975	133250	43	91	
Skuggälven	654141	124734	31	44	
Haraldsjöån	663415	148295	29	17	
Enångersån	682605	155185	25	5	
Källsjöån	683563	155010	28	5	
Storselsån	707195	161570	19	9	
Ådalsån	696000	156850	24	1	
Arån	697805	139065	15	20	

1) kalkning med dolomit, ger viss överskattning

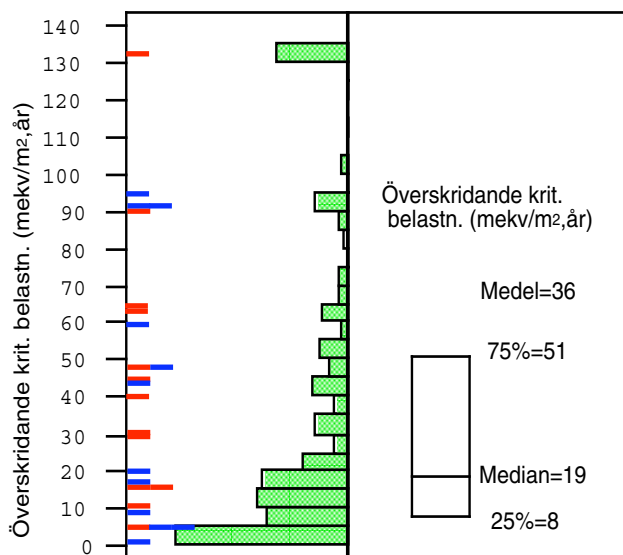
ning. IKEU-objektens läge i relation till denna fördelning har markerats med rött och blått (figur 7).

Av fördelningarna framgår att flera överskridanden fortfarande (1997) ligger över 135 mekv/m² år (samlat i en stapel i figuren), Det finns också en förväntan att majoriteten av alla åtgärdsområden ska ha stora överskridanden (=prioriterade områden där försurningen är allvarlig) och en mindre del ska ha små överskridanden samt att inga områden ska ha mindre deposition än den kritiska belastningen d.v.s. sakna överskridande. Jämfört med denna förväntan finns både åtgärdsområden utan överskridande samt ett stort antal områden med låga överskridanden. I klassen <5 mekv/m², år finns 556 av 2680 åtgärdsområden d.v.s. 20% av

alla åtgärdsområden. Dessa områden ligger huvudsakligen norr om Dalälven vilket också kan utläsas ur figur 6.

Man får dock vara försiktig vid tolkningen av dessa data och komma ihåg att överskridandeberäkningen rör 5% av de känsligaste sjöarna samt att stora åtgärdsområden inom sig kan dölja mindre områden med avvikande större överskridanden. Förekomsten av många områden utan överskridande eller med mycket låga överskridanden är ändå en signal att se över kalkningsbehoven i dessa områden.

Motsvarande överskridanden av kritisk belastning för IKEU-objekt (tabell 1) visar på ett mindre antal objekt med låga överskridanden. För de



Figur 7. Överskridande av kritisk belastning i 2680 åtgärdsområden i Sverige (gröna staplar). Åtgärdsområdenas lägen framgår av figur 1b. Fördelningen beskrivs med medelvärde, mediansamt percentiler (t.h.). Överskridande för IKEU-sjöar är angivna med röda streck till vänster. Överskridande för IKEU-vattendrag angivna med blå streck.

IKEU-objekt som har mycket låg belastning och överskridande diskuteras vad en reducerad eller avslutad kalkning skulle få för effekter (sidan 18).

Det finns också anledning att försöka beräkna vilken buffertkapacitet och vilket pH de kalkade objekten skulle ha om den antropogena syratillförseln var försumbar. Man försöker då finna ett förhållande mellan magnesium och kalciumjoner som är typiskt för icke kalkade vatten i en region och som kan antas spegla vittringen. I detta fall har för varje IKEU-sjö Ca/Mg-kvoten beräknats som medelvärde för 7 näraliggande icke kalkade referenssjöar som ingår i det svenska nätet av referenssjöar och vattendrag. Med kännedom om magnesiumhalten i kalkat vatten kan man sedan beräkna den "naturliga" kalciumhalten. Magnesium antas i dessa fall inte tillföras vid kalkning och neutraliseringsförmågan (alkaliniteten) och pH kan uppskattas. Detta har gjorts för IKEU-sjöarna där data funnits lätt tillgängliga och redovisas för perioden 1999-2001 i sista kolumnen i tabell 1. Av 13 sjöar skulle 12 stycken få alkalinitet under det nuvarande lägsta målet (0,07 mekv/l) varav 7 skulle få negativ eller mycket nära negativ alkalinitet.

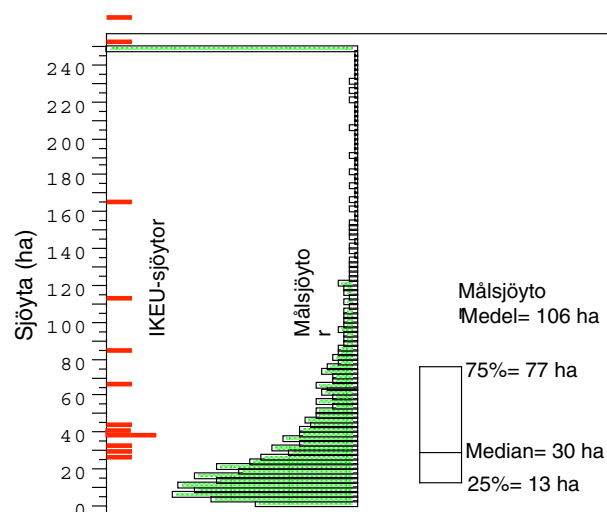
Relativt hög alkalinitet (0,09 mekv/l) har överraskande indikerats från Stengårdshultasjön. Därefter följer Lien, (0,07 mekv/l), Långsjön och Källsjön (0,03 mekv/l)

Jämförelse mellan fysiska förhållanden i kalkningsverksamhetens sjöar och IKEU-sjöar

Enligt den färskta redovisningen av länens målsjöar och målvattendragssträckor finns 3567 målsjöar och 1797 målsträckor. Sjöarnas arealer har en stor spännvidd (figur 8) med en medianstorlek på 30 ha och 75% percentil 77 ha. Eftersom felaktiga uppgifter från något län tycks finnas i materialet bör medelvärdet användas försiktigt. Uppgifter om de 10 största sjöarna har brutits ut och anges i tabell 3.

De åtta minsta målsjöarna har arealer under 1 ha och dessutom finns sex sjöar utan uppgift om yta. Skillnaden i målsjöarnas ytor är således mycket stor. I relation till extremerna ligger IKEU-sjöarnas ytor i ett mindre intervall mellan 27 och 498 ha med fördelning enligt figur 8. Stengårdshultasjön ligger med en yta på 498 ha utanför skalan. Generellt ligger IKEU-sjöarnas ytor högre än målsjöarnas medianstorlek. Fem sjöar ligger dessutom över 75% percentilen men ingen IKEU-sjö finns bland de riktigt stora sjöarna (tabell 3).

En viktig orsak till IKEU-sjöarnas mer begränsade storleksintervall är att ett årligt nätprovfiske måste kunna genomföras utan att påverka fiskbestånden samtidigt som nätprovfiske är orealistiskt i alltför stora sjöar. Med de givna förutsättningarna fördelar sig IKEU-sjöarnas ytor rimligt i relation till populationen av målsjöar.



Figur 8. Fördelning av målsjöarnas ytor (gröna staplar) samt percentiler och medelyta (t.h.). IKEU-sjöarnas ytor angivna till vänster. En IKEU-sjö har ca 500 ha yta. Många målsjöar är större (tabell 2).

Tabell 3 De tio största målsjöarna i Sverige: areal, skyddsstatus och pH-mål. Skyddsstatus se faktaruta

Län	Sjö	Area(ha)	Skyddsstatus	pH- mål
F	Bolmen	18300	RIN, RIBM	6,3
G	Åsnen	14572	NR N2.	6
T	Uden	9540	RIBM	6
O	Sora Le	8676		6
G	Helgasjön	5023		6
G	Möckeln	4662	NR N2.	6
Z	Rogen	3548	N2, NR,FV	6,3
(hela sjön)				
F	Rusken	3463	N2, NR	6
G	Rottnen	3232		6
O	Lygnern	3219	RIN, RIBM	6

Skyddsstatuskoder för målobjekt

NP = Nationalparker

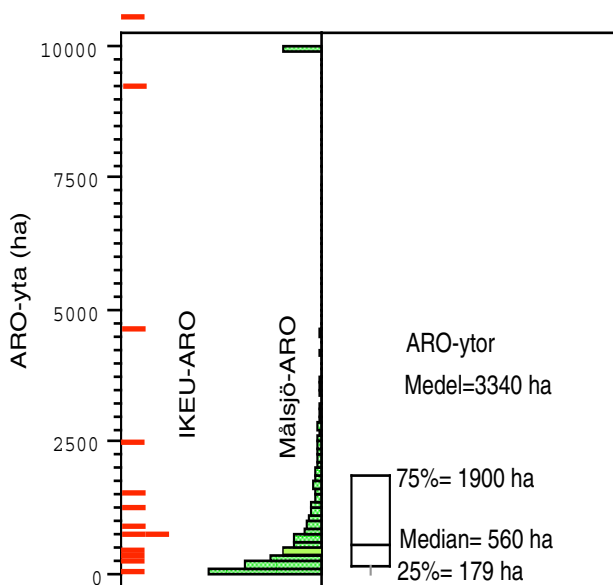
NR = naturreservat

N2 = natura 2000 m.a.p. biologisk mångfald och nyttjande i sjöar och vattendrag

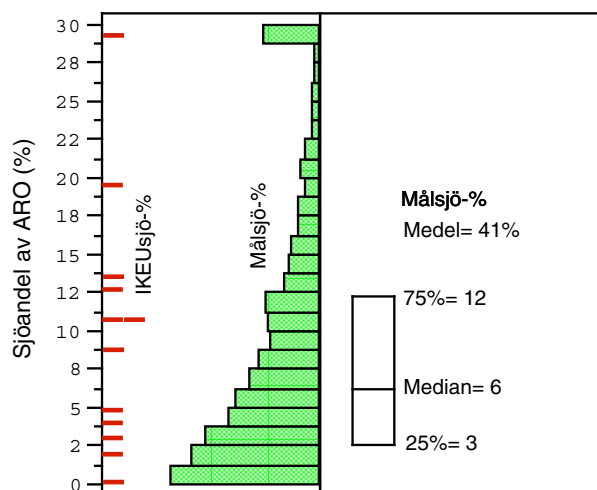
RIBM = Riksintresse map biologisk mångfald

RIN = nyttjande i sjöar och vattendrag.

FV = Fiskvatten (NFS 2002:6)



Figur 9. Fördelning av målsjöarnas avrinningsområdesytor (ARO) (gröna staplar) samt percentiler och medelyta (t.h.). IKEU-sjöarnas ARO-ytor angivna till vänster. En IKEU-sjö har ca 18000 ha ARO-yta.



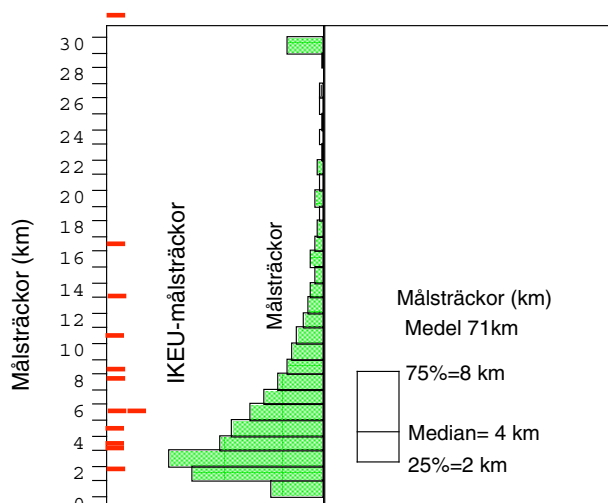
Figur 10. Fördelning av målsjöarnas syttandel av avrinningsområdena (%) (gröna staplar) samt percentiler och medelyta (t.h.). IKEU-sjöarnas andel av avrinningsområdena angivna till vänster.

Uppgifter om avrinningsområdenas ytor finns för 3295 målsjöar (92%). Medianstorleken ligger på 560 ha och 25 resp. 75%-percentilerna på 180 resp. 1900 ha (figur 9). Vad gäller avrinningsområdenas ytor är IKEU-sjöarnas intervall 130-18000 ha och de följer målsjöarnas fördelning på ett rimligt sätt.

Målsjöarnas ytor i relation till avrinningsområdenas ytor (sjöprocenten) ger en viss uppfattning om sjöarnas vattenomsättning och ofta om deras vattenfärg (figur 10). I detta fall täcker IKEU-sjöarna hela det aktuella intervallet (0,2-29,5%) och har en tämligen jämn fördelning. Uppenbarligen finns felaktiga data i materialet som ger sjöprocenter över 100 vilket drar upp medelvärdet för målsjöarna. Percentilvärdena torde bara påverkas obetydligt av detta.

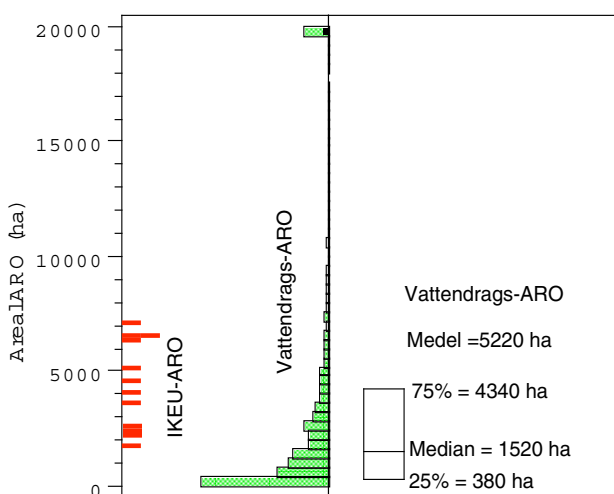
Jämförelse mellan fysiska förhållanden i kalkningsverksamhetens vattendrag och IKEU-vattendrag

Bland de 1797 målsträckor och avrinningsområden som redovisas i åtgärdsplanerna finns en stor spännvidd (figur 11 och 12). Målsträckornas medianlängd är 4 km med 25 resp. 75%-percentil på 2-8 km. Inom detta intervall ligger också mer än hälften av IKEU-vattendragen och resten ligger högre än 75%-percentilen. Bland de allra kortaste målsträckorna (<2 km) finns ett IKEU-vattendrag (Strönhultsån) som inte klassificerats separat i åtgärdsplanen och därför saknar specifika data. Avrinningsområdena uppströms målsträckornas nedersta målpunkt redovisas för de flesta vattendrag (88%) och visar återigen på en vid fördelning



Figur 11. Fördelning av målsträckornas längd i vattendrag (gröna staplar) samt percentiler och medellängd (t.h.). IKEU-målsträckornas längder angivna till vänster. En IKEU-sträcka har ca # km längd.

med relativt stora åar i toppen och mycket små bäckar med risk för uttorkning/bottenfrysning i den andra extremen (figur 12). De tio vattendragpunkter som har de största avrinningsområdena har förtecknats i tabell 4. Som framgår av tabellen ingår inga vattendrag från Sydvästsverige vilket pekar på problem med denna typ av statistikföring. De områden som redovisas kan utgöras av många små enheter eller ett fåtal stora beroende på vad enskilda län finner mest praktiskt. Materialet är likafullt av intresse för jämförelse med IKEU-vattendragen. Alla IKEU-vattendragen har större avrinningsområden än medianstorleken för kalkade



Figur 12. Fördelning av avrinningsområdesstorlek uppströms målpunkter i vattendrag (gröna staplar) samt percentiler och medelyta (t.h.). IKEU-vattendragen visas till vänster.

Tabell 4. De tio största vattendragskalkningarna i Sverige baserat på avrinningsområdenas ytor (ARO). Målsträckornas längd, skyddsstatus och pH-mål anges.

Län	Vattendrag	ARO (km ²)	Målstr (km)	Skyddsstatus	Mål-pH
K	Mörrumsån	3390	44,3	N2, RIBM, NR	6,3
Y	Moälven	2176	25,6	N2, RIBM	6,3
H	Alsterån nedre	1494	19,4	N2, RIBM	6,3
AC	Åbyälv	1344	16,2	RIBM, N2	6,3
H	Alsterån	1328	28,3	NR, N2, RIN6	
AC	Sävarån nedre	1161	77,1	RIBM, N2	6,3
K	Ronnebyån	1112	25,1	(RIBM)	6
Y	Ljustorpsån	922	14	RIBM	6,3
W	Rotnen	889	43,4	NR, RI	6
Y	N.Anundsjöån	830	17,6	N2, RIBM	6,3

vattendrag (1520 ha). Av dessa ligger sex IKEU-vattendrag mellan 75-90%-percentilerna för avrinningsområdenas arealer. De är alltså relativt stora. Spännvidden för vattendragens arealer är c:a 5000 ha.

Dessa förhållanden är en effekt av målsättningen med vattendragsprogrammet som bl. a. avser att belysa den biologiska och kemiska utvecklingen i relativt likvärdiga habitat som kalkas med tre olika metoder (se hemsida). Habitatet valdes tillräckligt stora för att öring skulle kunna bilda fiskbara bestånd men inte så stora att uppföljningsmöjligheterna skulle äventyras.

Karaktärisering och klassificering enligt Ramdirektivet för vatten

För att bedöma sjöars och vattendrags ekologiska status skall deras tillstånd enligt ramdirektivet relateras till "reference conditions". Detta skall göras så att sjöarna och vattendragen klassificeras och referenstillståndet för varje klass definieras. Endast små avvikelser från referenstillståndet tolereras om det bedömda objektet ska ha "god ekologisk status" vilket är målet med olika åtgärder, bl.a. kalkning. För en sådan bedömning behövs således klassificering av kalkade sjöar och vattendrag samt identifiering av "reference conditions" för varje klass. I Sverige är ännu inga klassificeringssystem officiellt fastställda. Det är dock klart att klassificeringen kommer att göras enligt EU:s "system B". Som ger möjligheter att skapa nationella system som dock måste innehålla vissa givna komponenter. Bl.a. måste objektens läge i olika geografiska regioner beaktas, liksom olika höjdlägen, och läget på olika geologiskt underlag (calcareous, siliceous, organic).

För sjöar skall dessutom djupet och sjöytans storlek beaktas. Vi har här använt ett förslag till klassificeringssystem enligt Fölster et al (2003) och Willén & Larsson (2004) för att placera IKEU-sjöar och vattendrag i olika klasser. Resultaten ges i Appendix 1. Man kan generellt se det som en fördel att IKEU-objekt finns representerade i klasser där många av kalkningens målobjekt kommer att hamna. En klassificering och bedömning av övriga kalkade sjöar och vattendrag är dock för närvarande inte möjlig eftersom underlagsdata av rätt typ saknas.

Fölster et al påpekar själva att vissa av de 47 typer som använts vid klassificeringen inte tycks vara biologiskt relevanta. För svagt buffrade skogs-sjöar skapar också den mycket grova indelningen i två klasser vardera för kalkrikedom och humushalt problem.

Sjöarnas och vattendragens avvikelser från "reference conditions" kan dock med större exakthet bedömas enligt de reviderade Bedömningsgrunder för sjöar och vattendrag som är under utarbetande. Där kommer alkalinitetens avvikelse i relation till ett referenstillstånd att kunna beräknas och bedömas, sannolikt på ett exaktare sätt än med Ramdirektivets referensvärden för olika typer. En sådan bedömning bör göras för alla IKEU-objekt så snart de reviderade bedömningsgrunderna blir tillgängliga. Man bör då bedöma objekten ur alla olika aspekter som skall beaktas vid bedömning av "ekologisk status" enligt Ramdirektivet. Dessa bedömningar bör ge en god fingervisning om vilket resultat bedömningar av hela populationen av målobjekt kan väntas ge. Här måste samtidigt påpekas att även åtgärdsobjekt måste bedömas (se nedan).

Tabell 5. Differentiering av pH-mål enligt de möjligheter som ges i Kalkningshandboken. Under rubriken "Annat" har avvikande pH-mål angivits.

pH-mål	Sjöar	Vattendrag	IKEU-sjöar	IKEU-vatdr.
5,6	281	194		1
6	3235	1408	13	9
6,3	45	117		1
Annat	2	76		1
Inget	4	2		0
Summa	3567	1797	13	12

pH-mål och kalkdosering

I kalkningshandboken ges möjlighet till differentierade pH-mål: pH 5,6, pH 6,0 eller pH6,3. I åtgärdsplanerna framgår att denna möjlighet utnyttjats i stor omfattning (tabell 5). Vad gäller sjöar anges dock pH=6 som mål i 91% av fallen medan differentieringen varit mer påtaglig bland vattendragen (78% pH=6). Som framgår av tabellen har även 76 målpunkter i vattendrag fått andra pH-mål, oftast i intervallet 6,0-6,3. pH 6,2 har bl.a. satts som mål för att säkra flodpärlmusslans reproduktion i Västernorrland. Detta är 0,3 pH-enheter högre än vad som krävs enligt Kalkningshandboken och baseras på länsstyrelsens erfarenheter.

Bland IKEU-objekten har alla sjöar mål-pH=6,0 medan 75% av vattendragssträckorna har detta mål (tabell 5, Appendix 2).

Flodpärlmussla är målorganism i Enångersån och Storselsån. Om man accepterar att den motive-

Tabell 6. Sammanställning av kalkningsmetoder som enligt kalkningsplaneringen används ensamma eller i kombination. För varje metod anges andelen målobjekt där den används (%).

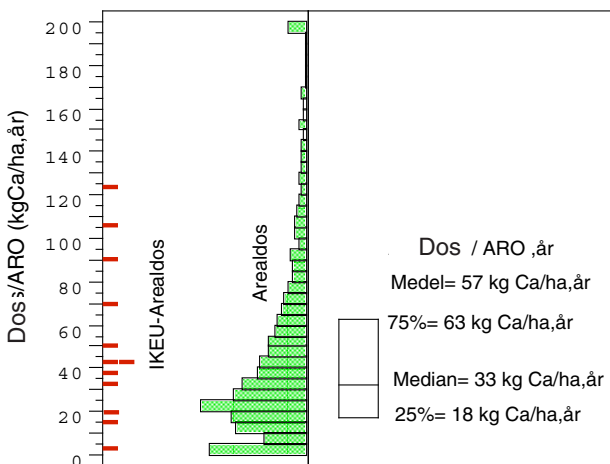
Metod	Kalkade sjöar	Kalk-vattendrag	IKEU-sjöar	IKEU-vattendr.
Sjökalkning	82	62	67	34
Våtmarkskalkning	14	28	22	31
Doserarkalkning	5	10	11	23

Tabell 7 Användning av olika kalksorter i kalkningsverksamheten (ton/år). Data från nyckeltalsredovisning 2002.

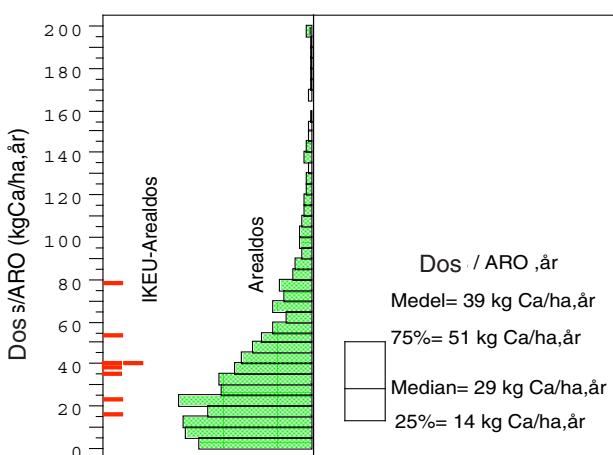
KALKSORT	Kalkmjöl	Granulat	Grovkalk	Övrigt	Totalt
båt+fordon	61174	0	39	0	61213
Hkp-sjö	34299	252	1733	137	36421
Hkp-våtmark	6908	12923	44887	3445	68163
Doserare	33071	0	0	300	33371
Totalt	135452	13175	46659	3882	199168

rar ett mål-pH på minst 6,2 bör pH-målet för Enångersån höjas från 6,0 till 6,2. Då får IKEU-vattendragen 3 st mål-pH=6,2-6,3, (8 st mål-pH=6,0 och 1 st mål-pH 5,6. (jfr tabell 5 och Appendix 2). Det kan också vara av intresse att notera att bland de tidigare IKEU-vattendrag som lämnades vid programrevideringen 1993 fanns två stycken (Hög-vadsån och Gagnån) som bör ha pH-målet 6,3 eftersom lax och *Gammarus* tillhör den ursprungliga faunan.

I åtgärdsplanerna redovisas planerad kalkdosering för de närmaste åren. Den redovisas fördelad på sjökalkning, våtmarkskalkning och doserarkalk-



Figur 13. Fördelning av totala arealdoser av kalkmedel i målsjöars avrinningsområden (gröna staplar) samt percentiler och medeldos (t.h.). IKEU-sjöarnas arealspecifika doser av kalkmedel anges till vänster.



Figur 14. Fördelning av totala arealspecifika doser av kalkmedel uppströms målpunkter i vattendrag (gröna staplar) samt percentiler och medeldos (t.h.). IKEU-vattendragens arealspecifika doser av kalkmedel anges till vänster

ning. Ofta används två metoder i kombination, mer sällan tre metoder. Här visas antalet fall där de tre metoderna används utan hänsyn till de olika kombinationerna (tabell 6). Syftet är att visa på skillnader i metodval för sjöar och vattendrag samt gentemot IKEU-objekten.

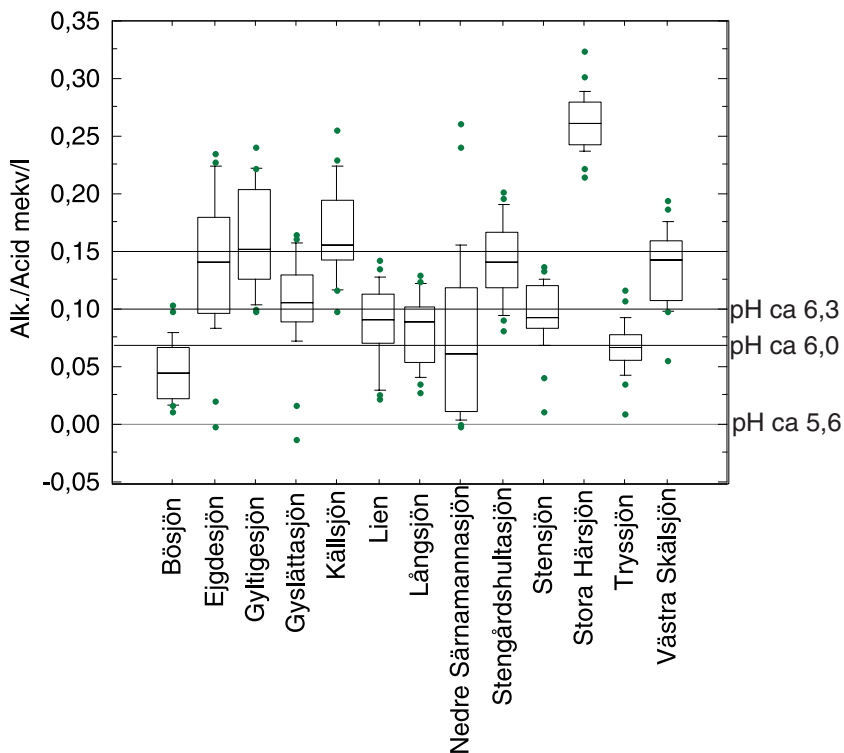
Bland de kalkade sjöarna dominerar sjökalkning, medan våtmarkskalkning och doserare kommer till användning i ca. 20% av fallen. I de kalkade vattendragen används såväl våtmarkskalkning som doserarkalkning i en större andel av fallen på bekostnad av sjökalkningen. De metoder som används i IKEU-sjöarna fördelar sig närmast som i de kalkade vattendragen och har således en mindre andel sjökalkning än i kalkningsverksamheten. IKEU-vattendragen har en tämligen jämn fördelning på de tre kalkningsmetoderna vilket stämmer väl med målsättningen att jämföra metoderna, vilket lett till att varje metod ingår till ca en tredjedel.

I nyckeltalsredovisningen ingår även användningen av olika kalkprodukter (tabell 7). Av tabellen framgår bl.a. ca 10% av helikopterspridd kalk på våtmark är kalkmjöl och att 94% av helikopterspridd kalk på sjö är kalkmjöl.

Kombinationer av metoder och doseringar med enskilda metoder kan redovisas mer i detalj och även geografiskt (ex. länsvis). Kalkdoseringen för såväl kalkningsverksamheten som IKEU-programmet redovisas enbart sammanslagen för att ge arealdoser för målpunkter i sjöar och vattendrag.

Mediandoseringen i kalkade sjöar och i kalkade vattendrag skiljer ca 10%, 33 kg kalk/ha,år för sjöar och 29 kg kalk/ha,år för vattendrag (figur 13 & 14). En närmare granskning visar också att både 25% och 75% percentil ligger tydligt högre för sjöar, än för vattendrag. Båda typerna av målpunkter har en betydande "svans" av höga (>100 kg/ha,år) till mycket höga doseringar, vilket särskilt gäller de fall då sjöarna är målobjekt. Om sjöarna är renodlade målobjekt borde mycket höga doser inte finnas. Sådana kan dock förekomma om sjöarna kalkas med mycket långa intervall eller om sjöarna samtidigt fungerar som åtgärdsobjekt för nedströms liggande målobjekt. Alternativt används felaktig dosering.

En jämförelse mellan prognostiserat kalkningsbehov och kalkningen i IKEU-objekten kan fås genom att jämföra överskridande av kritisk belastning (tabell 1) med dosering för varje objekt (tabell 8). Det finns en del förbehåll omkring en sådan jämförelse. Framför allt är överskridandet beräknat för de 5% av sjöarna i en 50x50 km ruta som är känsligast, dessutom avser beräkningen år 1997 då syrabelastningen var högre än nu. Trots detta är jämförelsen berättigad och man kan konstatera att



Figur 15. Uppmätt alkalinitet i ytvatten IKEU-sjöar 1999-2000. Total variationsbredd anges liksom 10, 20, 25-, 50-, och 75, 80, 90% percentiler. Inlagda linjer visar gränser för olika kalkningsmål enligt Kalkhandboken. Motsvarande ungefärliga pH har lagts in vid varje linje. Alkalinitetsvärdet 0,15 mekv/l är riktvärde för maximal alkalinitet vid högflöde.

Tabell 8. Syradepositionens verskridande av kritisk belastning 1997 (från tabell 1) för IKEU-sjöar och vattendrag samt kalkdoser enligt åtgärdsplaner.

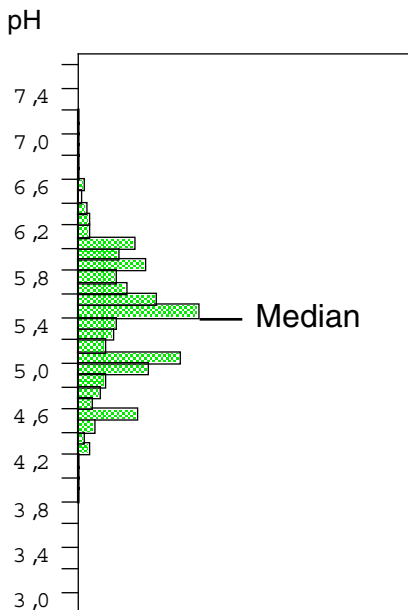
NAMN	Overskridande (mekv/m ² ,år)	Kalkdos (mekv/m ² ,år)	Diff
Stensjön	31	38	7
Stengårdshultasjön	48	140	92
Gyslättsjön	65	6,5	-59
Gyltigesjön	91	179	88
Ejgdesjön	45	213	168
Stora Härsjön	132	246	114
Långsjön	63	30	-33
Västra Skälsjön	17	84	67
Lien	17	64	47
Bösjön	11	100	89
Tryssjön	40	84	44
N. Särnamannasjön	30	74	44
Källsjön	5	42	37
Hästgångsån	48		
Strönhultsån	95		
Blankan	59	156	97
Hovgårdsån	91	109	18
Lillån	91		
Skuggälven	44	70	26
Haraldsjöån	17	46	29
Enångersån	5	32	27
Källsjöån	5	80	75
Storselsån	9	76	65
Ådalsån	1	78	77
Arån	20	22	2

Stora Härsjön och Ejgdesjön har mycket höga doser. Gyslättsjön har antingen drabbats av underdosering eller räknefel. Även övriga objekt har påtagligt höga doser även om kalkutnyttjandet skulle vara ovanligt lågt (under 70%).

Detta leder till frågan om IKEU-objekten överkalkas, vilket kan belysas både med pH och alkalinitetsmätningar. Alla data från IKEU-sjöarnas ytskikt under perioden 2000-2003 (figur 15) visar att alkaliniteten ligger under 0,25 mekv/l för alla sjöar utom för Stora Härsjön som har alkalinitet mellan 0,25 och 0,30 mekv/l. Därefter följer en stor grupp sjöar med medianalkalinitet 0,07-0,20 mekv/l vilka om några extremvärden undantas klarar det mål-pH på 6,0 som satts som gräns för alla IKEU-sjöar. Några av sjöarna torde också ha högre pH än de någonsin haft under de senaste 500 åren. Detta gäller sannolikt Stora Härsjön där pH-mätningar dessutom finns från tiden före försurningsepoken. Detta pH-värde, 6,7 år 1935, kan jämföras med nutida pH 7,2 för den senaste 3-årsperioden. En viss osäkerhet skapas dock av de uppskattningar av pH i äldre tid som gjorts med hjälp av kiselalgskal i sedimentproppar. De pekar på att sjön kan ha haft pH > 7,0.

Enligt kalkhandboken finns ett riktvärde för överkalkning som anger maximal alkalinitet vid högflöde motsvarande 0,15 mekv/l. Om man gör antagandet att alla lägstahalter för varje sjö har uppmätts under högflöde är det bara Stora Härsjön som har lägstavärden som klart överskrider 0,15 mekv/l (figur 15).

Det är oklart om riktvärdet får överskridas under övriga perioder av året. Om det inte får överskridas



Figur 16. Fördelning av "bakgrunds-pH" för kalkade sjöar och vattendrag enligt uppskattningar gjorda för 80% av alla målobjekt i åtgärdsplanerna.

ligger ca hälften av alla observationer för högt perioden 1998-2003. Detta är en hög siffra.

För åtgärdsjöar ger Kalkningshandboken en annan gräns på 0,50 mekv/l alkalinitet som inte skall överskridas. En given fråga i sammanhanget blir då om man ska ha differentierade gränser för mål- och åtgärdsjöar och i så fall varför.

För att testa ett rent pH-kriterium för överkalkning har pH>7,5 valts. Det visar sig då att pH i Stora Härsjön överskrider detta värde vid 9,3% av

alla mättillfällen. I Ejdgesjön överskrider värdet vid 4,2% av alla tillfällen och i Bösjön 0,8% (tabell 9).

I vattendragen överskrider pH 7,5 i Blankan vid ett fåtal tillfällen (tabell 11) och i Hästgångsån Hästgången perioden 1998-2003.

Överdoserering på grund av felaktigt "bakgrunds-pH"?

Vid planering av kalkdosering används s.k. "bakgrunds-värden" för pH som enligt Handboken avser "de pH-värden som uppträtt om vattnet varit okalkat, vilket i regel är liktydigt med de pH-värden som uppmättes innan kalkning". Som framgått (figur 3) har syradepositionen minskat kraftigt sedan den period då de flesta kalkningar startade. Av detta följer att fel lätt kan begås vid bedömning av "bakgrunds-pH" på så sätt att ett antagande om lågt bakgrunds-pH kan leda till överkalkning. Enligt åtgärdsplanerna har antaganden om bakgrunds-pH gjorts för 80% av alla målobjekt (sjöar+vattendrag). De visar en fördelning från 4,2 till 7,2 (figur 16). För IKEU-objekten har motsvarande antaganden gjorts (Appendix 2). När de jämförs med de lägsta-värden före kalkning som sammanställts från alla äldre mätningar för IKEU-objekten framgår att i V. Skälsjön, Källsjön, Stensjön, Enångersån och Lillån avviker uppgifterna med minst 0,5 enheter.

Det finns andra möjligheter att uppskatta pH i olika målobjekt om kalkning inte förekom. Ett sätt baseras på att beräkna ursprunglig alkalinitet med hjälp av Ca/Mg-kvoten i okalkade referensobjekt. (tabell 2).

Tabell 9. Uppmätta pH-värden i IKEU-sjöar perioden 1998-2003 beskrivna som frekvens (%) i 5 klasser. Den första kolumnen omfattar surstötar om medianvärdet för pH överstiger 6,0. Den sista klassen har bedömts omfatta överkalkning (jfr figur 15)

Sjö / pH-intervall	4,6-5,6	5,6-6	6,0-6,3	>6,3	varav >7,5
Bösjön	0,0	7,6	26,0	66,4	0,8
Ejdgesjön	0,9	0,9	4,2	93,2	4,2
Gyltigesjön	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0
Gyslättsjön	1,7	3,3	29,2	65,8	0,0
Källsjön	0,0	0,0	23,3	76,7	0,0
Lien	0,0	8,5	28,8	62,7	0,0
LångsjönT	0,0	15,7	24,4	60,0	0,0
N. Särnamannasjön	5,1	7,7	15,4	71,8	0,0
Stengårdshultasjön	0,0	0,0	3,4	96,6	0,0
Stensjön	0,9	9,6	28,7	60,9	0,0
Stora Härsjön	0,0	0,9	0,0	99,1	9,3
Tryssjön	0,0	26,7	43,3	30,0	0,0
V. Skälsjön	0,0	0,0	12,1	87,9	0,0
Total	0,7	6,2	18,4	74,7	1,1

Tabell 10. Jämförelse mellan mål- och åtgärdsobjekt vad gäller ytor, antal och sträcklängder. Kolumnen totalt anger programmets omfattning inklusive de objekt som inte kalkats under 2002. Inom parentes anges andelen rena åtgärdsobjekt av totalt. Från nyckeltalssammanställning för 2002.

	Kalkade åtg-objekt	Kalkade målobjekt	Ej kalkade målobjekt	Totalt
Kalkade sjöar, sjöyta (km ²)	571 (15%)	2550	776	3898
Kalkade sjöar, sjöantal (st)	3865 (51%)	3312	363	7540
Kalkade vattendrag, längd (km)	1289 (9%)	8304	5365	14958

Overdosering i rena åtgärdsobjekt?

Uppföljningen av tillståndet i målobjekt görs enligt fasta rutiner, vilket bl.a. krävs som underlag till de årliga nyckeltalsredovisningar som länsstyrelserna gör och som sammanställs av Naturvårdsverket. Detta har inneburit att mätdata på framför allt pH och alkalinitet redovisats för *rena målobjekt* (utan kalkning) och *målobjekt med kalkning*. Däremot har data från *rena åtgärdsobjekt* inte redovisats.

Med en nyinsatt fråga för nyckeltalsredovisningen 2002 ville Naturvårdsverket ta reda på omfattningen av rena åtgärdsobjekt inom kalkningsverksamheten. Av svaren kan utläsas att 15% av den totala kalkade sjöarealen användes enbart som åtgärdsområde (tabell 10). Eftersom åtgärdssjöarna var små var hela 51% av alla kalkningsverksamhetens sjöar rena åtgärdsobjekt. För vattendrag finns uppgifter om att 15% av den totalt kalkade vattendragssträckan utgörs av rena åtgärdssträckor. Vattendragen avviker från sjöarna på så sätt att en betydligt större andel av målområdena saknar direkt kalkning jämfört med sjöarna.

Man kan på goda grunder anta att åtgärdsområdena ligger uppströms i relation till målområdena och att de kalkas upp mer än målområdena. Det har antytts att åtgärdsområdena därigenom kan komma att överkalkas. På detta tyder också den högt satta överkalkningsgränsen för åtgärdssjöar (0,5 mekv/l). Historiskt gjordes många pH- och alkalinitetsmätningar för att kontrollera hur kalkningen "tog" i de sjöar och vattendrag som kalkades. Den uppföljningsmöjlighet som idag finns för rena åtgärdsobjekt är data från styrpunkter i åtgärdsområden där pH och alkalinitet mäts för att vid behov kunna korrigera kalkdoser eller modifiera teknik. Dessa mätningar följer inget regelverk vad gäller omfattning och frekvens och torde snarast gälla situationer med "lägstavärden" då ett ev. behov av kalkning undersöks. Underlaget för en bedömning av ev. överkalkningar har därigenom vare sig önskad omfattning eller kvalitet. Data av denna typ finns hos enskilda länsstyrelser.

Tabell 11. Uppmätta pH-värden i IKEU-vattendrag perioden 1998-2003 beskrivna som frekvens (%) i 4 klasser (jfr. tabell 9). den första kolumnen omfattar surstötar om medianvärdet för pH överstiger 6,0 (vilket det gör för alla vattendrag). Extra högflödesprovtagningar (7-9 st/år) ingår för tre vattendrag, kursiverade i tabellen.

Sjö / pH-intervall	<5,6	5,6-6,0	6,0-6,3	>6,3
Arån Arälund	0,0	0,0	3,9	96,2
Blankan Ryerna	1,2	4,9	11,0	82,9
Enångersån V. Lövås	0,0	0,0	5,6	94,4
<i>Haraldssjöån Sandån Övre</i>	3,0	19,2	19,2	58,6
Hovgårdsån Munkhättan	0,0	1,4	5,6	93,1
Hästgångsån Hästgången	0,0	0,0	0,0	100,0
<i>Källsjöån Källsjöklack</i>	0,0	0,0	1,0	99,0
Lillån G:a Järnvägsbron	0,0	1,2	11,0	87,8
<i>Skuggälven Ängarna</i>	6,6	9,4	17,0	67,0
Storselsån Storsele	0,0	0,0	1,4	98,6
Strönhultsån G. Kvarnen	0,0	0,0	1,4	98,6
Ådalsån Lyckemyran (D)	0,0	0,0	1,4	98,6

Tabell 12. Antal målobjekt med biologiska mål nämnda i Kalkningshandboken.

	pH-mål ⁽¹⁾	Riktvärde alkalinitet mekv/l ⁽²⁾	Sjö	Vattendrag
Uppgifter totalt			3174	646
Lax	6,3	0,15	1	40
Amphipoda	"	"	45	1
Mört	6,0	0,10	1583	63
Elritsa	"	"	57	23
Öring	"	"	175	258
Flodkräfta	"	"		
Flodpärlmussla	"	"	12	96
Ephemerae	"	"	2	1
"Mål saknas"	5,6	0,07	135	67

⁽¹⁾ Får ej underskridas

⁽²⁾ Bör ej överskridas vid höglöde

Förekomst av surstötter

Surstötter, episodförsurning eller sura episoder kan uppträda i både i naturligt sura och försurade vatten. Definitionen är emellertid svår. Ofta menar man en snabb och kortvarig sänkning av pH från någon form av stabilare nivå. Sänkningen skall också vara kopplad till en snabb ökning av vattenflödet och orsaka biologiska skador. Numeriska gränser för dessa förhållanden finns inte idag och vi har här arbetat med förenklade kriterier. Vi har använt en pH-gräns på 5,6 och därunder där allvarliga surhetsskador börjar uppträda och pH dessutom börjar uppträda mer labilt. Dessutom har vi krävt att årsmedianvärdet för pH ska ligga över 6,0 för att det ska finnas en "stabil" nivå till vilken en sänkning kan relateras. Vattenflöden och surstöters tidsutsträckning ingår inte i bedömningen, inte heller aluminiumhalter.

Surstötter i IKEU-sjöarna berör med denna definition framför allt Nedre Särnamansjön där 5,6% av mätningarna gett lägre pH än 5,6 (tabell 9). I Gyslättsjön har 1,7% av mätningarna indikerat surstötter medan Stensjön och Ejgdesjön vid något enstaka tillfälle haft pH < 5,6 under is på 0,5 m djup.

I två av IKEU-sjöarna (Bösjön och V. Skälsjön) har speciella surstötsundersökningar genomförts. Provtogs längs stränder och centralt i sjöarna vid flera tillfällen under vårisen. I Bösjön varierade pH-värdena mellan 5,2 och 6,2 med 19% av värdena < 5,6 och medianvärdet 5,8. I V. Skälsjön varierade pH mellan 5,3 och 6,8 med 2% av värdena < 5,6 och medianvärdet 6,5. I Bösjön kan hela provserien betraktas som en beskrivning av en surstöt, särskilt om årsmedianvärdet betraktas som den nivå som avvikelsern utgår från. I V. Skälsjön kan man knappast tala om någon reell surstöt då gränsvärdet underskreds bara in några få prov trots omfattande provtagning.

En granskning av pH i IKEU-vattendragen (tabell 11) visar att Skuggälven har haft lägre pH än 5,6 vid 6,6% av alla provtagningstillfällen, följt av Haraldsjöån (3%) och Blankan (1,2%). Surstötter förekommer således även i vattendragen. Undersökningsmaterialet är i detta fall betydligt större än vad som framgår av tabellen. Under tre år har tre av vattendragen specialstuderats vad gäller surstötter (Haraldsjöån, Källsjöån och Skuggälven). Sju till nio extra kemiprover har tagits under höglödesperioder och specialprovtagningar av fisk och bottenfauna har genomförts liksom analyser av aluminium på fiskgälar.

Materialet kommer att redovisas i en specialrapport.

Kalkningsmotiv

I länsstyrelsernas åtgärdsplaner ska kalkningsmotiv redovisas för varje målsjö eller målsträcka. Detta har också gjorts för mer än 95 % av målsjöarna och målsträckorna. I Kalkningshandboken finns åtta organismer eller grupper nämnda som viktiga motiv och indikatorer för kalkning. Vi har här förtecknat i hur många fall dessa har angivits ensamma eller i kombination med andra mål i åtgärdsplanerna (tabell 12).

I sjöar anges mört som kalkningsmotiv i tio gånger fler fall än någon av de övriga organismerna. I vattendrag är öring det vanligaste kalkningsmotivet följt av flodpärlmussla och mört.

Ser man till de motiv som länsstyrelserna anger för IKEU-sjöarna och vattendragen (tabell 13) är det uppenbart att öring är en betydligt vanligare målorganism än mört vilket avviker från den kalkade sjöpopulationen. Detta hänger samman med att man i IKEU-sjöarna ville ha med så många olika typer av fisksamhällen som möjligt vilket kom att ge ett lågt antal "mört-abborre-gädda-sjöar". Det kan också nämnas att tre sjöar har bestånd av röding och tre sjöar har siklöjebestånd. Ingen av dessa nämns

Tabell 13. Antal IKEU-objekt med biologiska mål nämnda i Kalkningshandboken.

Känsligt taxon	Sjö	Vattendrag
Totalt antal	13	10
Amphipoda	1	1
Mört	3	1
Elritsa	2	2
Öring	6	10
Flodpärlmussla	0	3
Ephemeraidae	0	0
Flodkräfta	1	1

Tabell 14. Antalet målobjekt med andra biologiska mål (även sådana som i tabell 8 redovisas som "Mål saknas").

Känsligt taxon	Sjö	Vattendrag
Totalt antal	3174	646
Abborre	605	6
Storlom	178	2
Fiskgjuse	96	0
Strömstare	1	2
Utter	368	18
Upplåtet fritidsfiske	196	19
Fiske	1796	154

som målorganismer i Kalkningshandboken och de torde vara överrepresenterade i IKEU-sjöar jämfört med populationen kalkade sjöar.

I IKEU-vattendragen är öring den dominerade målorganismen på grund av urvalsmetoden (alla vattendrag skulle vara öringförande). I övrigt finns en liknande jämn spridning av olika målorganismer i IKEU-vattendragen som i vattendragspopulationen.

Från undersökningar inom projektet kan ytterligare målorganismer listas för IKEU-objekten t. ex. bland bottenorganismer, men detta har inte gjorts eftersom jämförbarheten med populationen då skulle försämrats.

För populationerna av kalkade sjöar och vattendrag finns många målorganismer nämnda som inte finns angivna i kalkningshandboken. De viktigaste av dessa är abborre, storlom och fiskgjuse (tabell 14). I tabellen redovisas också nyttjandaspekter i form av fiske. Detta motiv är det största enskilda motivet för sjökalkning (större än mört som målorganism). För vattendragkalkning är dock fiske en avsevärt mindre betydelsefull faktor och motivet med målorganismer starkare.

Vad händer vid återförsurning?

Naturvårdsverket samlade i oktober 1997 till ett möte för att diskutera vilka konsekvenser en avbruten kalkning kunde få i långtidskalkade sjöar och vattendrag. Motivet var att undersöka vilka konsekvenser en ev. neddragning av kalkningsanslaget kunde få. Naturvårdsverket startade två projekt med inriktning på litteraturöversikter och sammanställning av de fåtaliga fallstudier som fanns i Sverige och på andra håll. Slutsatserna var t ex att vissa metallhalter kan komma att öka i vattenfasen efter avbruten kalkning, i första hand Al, Cd och Zn (Appendix 4).

Inom IKEU startades ett projekt om metaller i sediment, med syftet att utreda om kalkning bidrar till att öka metalldeponi i sedimentet och om denna kan gå i lösning vid en återförsurning. Resultat som redovisats i två publikationer från projektet visar dels att Al, Cd, Mn, Zn och Pb kan återlösas från sedimentytan vid återförsurning och dels att kalkade sjöar har högre metallmängder i ytsedimentet jämfört med referenssjöar, speciellt efter långvarig kalkning direkt på sjöytan.

IKEU-programmet kompletterades med uppföljning av två ytterligare sjöar i Tyresta nationalpark (Trehörningen, Långsjön) samt ett vattendrag i Lofsdalen (Hammarbäcken) där kalkning avbröts.

Resultat publicerades vid Acid Rain konferensen i Japan 2000 och en ny redovisning har gjorts vid limnologkonferensen i Finland i år. En sammanställning om sjöarna i Tyresta före och efter kalkning ligger i tryck.

Resultaten visar hittills att sura episoder har ökat i sjöarna som nu kemiskt börjar likna den sura referenssjön Årsjön i Tyresta. I samband med pH-sänkningar har också halten av oorganiskt Al börjat öka alltmer. I Trehörningen där kalkningen upphörde först har också diversiteten av växtplankton minskat och djurplanktonfaunan förändrats i riktning mot vad som är typiskt för sura vatten. I vattendraget i Lofsdalen minskade pH och ökade oorganiskt Al redan första åren efter att kalkning upphörde, jämfört med det kalkade referensvattendraget Djursvasslan.

Den minskande syradepositionen kommer att minska effekterna av avbruten kalkning. En avbruten kalkning behöver inte innebära en återförsurning, som når kritiska nivåer, t.ex. för de objekt som har pH 5,6 som kalkningsmål. Alla kalkningar kan givetvis inte avbrytas utan återförsurning och den nu aktuella frågeställningen rör vilka kalkningar som kan kraftigt reduceras och möjligen upphöra sam när detta kan ske.

Biologiska undersökningar.

Det biologiska programmet inom IKEU (Appendix 3) är avsevärt mer omfattande än i kalkningsverksamheten i övrigt och inriktat på att beskriva ekosystemens utveckling. Undersökningarna omfattar:

- Nätprovfisken
- Elprovfisken
- Strandfauna
- Sublittoral mjukbottenfauna
- Profundal mjukbottenfauna
- Makrofytvegetation (1 omdrev klart 2004)
- Växtplankton
- Djurplankton
- Bakterioplankton (1 år).

IKEU-biologin stöds också av kontinuerliga temperaturregistreringar och modellberäknad vattenföring utöver ett komplett vattenkemiskt mätprogram inkluderande metaller och växtnäringsämnen.

Tabell 15. Genomsnittlig provfiskefrekvens i 1213 kalkade sjöar i landet, antal och andel sjöar.

	Antal sjöar	Andel sjöar(%)
Fiske varje-vartannat år	35	3
Fiske vartannat-vart tredje år	64	5
Fiske vart 3-4 år	148	12
Fiske vart 4-5 år	90	7
Fiske vart 5-10 år	245	20
Fiske vart tionde år eller mindre	39	3
Engångsfiske eller flera per år	592	50

Programmet omfattar också analyser av sedimentproppar vars allra ytligaste skikt berättar om nutida biologiska förhållanden. Propparna analyseras med avseende på kiselalgsammansättning. Flodkräftor, signalkräfter samt flodpärlmusslor finns i vissa IKEU-objekt men övervakas inte.

IKEU-programmets biologi innehåller alla de komponenter som som berörs i Ramdirektivet för vatten utom mikrofytobentos, d.v.s. påväxtalger i strandzonen,

I kalkningsverksamheten i övrigt bedrivs framför allt effektuppföljning med omfattande bottenfaunaprovtagningar och provfisken med motiv att följa upp att livskraftiga populationer av de olika målorganismerna finns i målobjekten.

Här berörs framför allt likheter och skillnader mellan IKEUs och kalkningsverksamhetens fisk- respektive bottenfaunaundersökningar.

Uppföljningen av fiskförekomst redovisas till Sötvattnelaboratoriets sjöprovfiskedatabas och till elprovfiskeregistret. I sjöprovfiskedatabasen finns uppgifter om fiskförekomster i 1213 kalkade sjöar som provfiskats vid 2310 tillfällen varav mer än 95% efter år 1980.

I c:a hälften av de 1213 kalkade sjöarna är provfisken utförda endast en gång (tabell 15). Fiske vart femte till tionde år är utfört i 20% av sjöarna, och då har mellan två och sex provfisken utförts i de olika sjöarna. I ytterligare 25 % av sjöarna är provfisken utförda vartannat till vart femte år. Provfisken som utförs varje till vartannat år sker enbart i ett trettio-tal sjöar, c:a 3%. Bland de sjöar som är kalkade och som kan vara av intresse för utvidgade studier finns 7 st som har en provtagningsperiod på minst 10 år och med fisken minst vartannat år. De är: Husevattnet, Tinnsjön, Våtsjön, Nässjön, Rinnen, Gröcken och Örsjön

Ur effektuppföljningssynpunkt är frekventa provfisken av stor vikt. Mer än hälften av provfiskena i tre län utförs varje till vart femte år (Skåne (70%), Västernorrland (56%) och Hallands län (55%)). Flest provfisken i kalkade sjöar finns registrerade i Jönköpings län, följt av Kronobergs, Dalarnas och Hallands län.

I IKEU-sjöarna är alla provfisken standardiserade, vilket bl. a. medför att man uppfyller vissa statistiska krav och får en jämförbarhet mellan sjöar. I kalkningsverksamheten i stort har standardiserad metodik använts i 65% av 1574 provfisketillfällen perioden 1993-2003. Tidigare rapporterades nästan enbart "oklassificerade" provfisken som var av enklare typ och som var svåra att använda i tidsserier och för jämförelse mellan sjöar.

I elfiskeregistret finns provfiskeuppgifter från 6138 kalkade+kalkpåverkade lokaler fördelade på 2401 vattendragssträckor. Begreppen målpunkt och målsträcka används inte i elfiskeregistret vilket sannolikt innebär att antalet "lokaler" och "sträckor" överskattar antalet målpunkter och -sträckor.

Av elfiskeregistret framgår också att 34% av 2401 kalkpåverkade vattendragssträckor har provfiskats en gång, 16% 1-3 ggr, 30% 3-10 ggr och 20% >10 ggr. Huvuddelen av provfiskena har gjorts de senaste 10-15 åren. Antalet provfisken är störst i Västerbottens län följt av Västra götlands län, medan flest antal provfiskade vattendrag finns i Dalarnas-, Värmlands- och Västra Götlands län.

Bland övriga biologiska effektbeskrivningar används framför allt bottenfaunaundersökningar. Detta gäller dock bara strand- eller hårdbottenfaunan som undersöks både i sjöar och vattendrag. Hårdbottenfaunan är helt dominerande. Proven insamlas med någon av metoderna i Naturvårds-

verkets handbok för miljöövervakning och förekomsten av olika pH-indikatorarter får avgöra – med eller utan indexberäkning – vilken surhet vatten haft. Proven har tidigare tagits antingen på våren eller hösten men Kalkningshandboken anger nu "vår/försommar"-provtagning. Inom IKEU genomförs provtagningarna på hösten sedan projektets start. Dessutom förekommer i vattendragen vårprovtagningar i projektets inledande skede och vid surstötsundersökningar på senare år.

Uppgifter om uppföljning av bottenfauna inom kalkningsverksamheten finns för närvarande inte enhetligt lagrad i en nationell databas (DMN). Datatillgången kan därför inte överblickas på samma sätt som t.ex. för provfisken. Rapporter från olika konsulter eller länsstyrelser kan förmodligen ge den eftersträvade överblick, men en sådan sammanställning har fått bero tills vidare.

Inom IKEU-programmet har dels strandfaunan undersökts i sjöar och vattendrag dels mjukbottenfaunan i sjöarnas sublittoral och profundal (Appendix 3, se även IKEU-hemsidan). Mjukbottenfaunan har undersökts med Ekmanhämtare på hösten under hela projektiden. Strandfaunan har från projektets start undersökts med en enda typ av provtagningsmetod (M42). Från 1998, i samband med utföraryt, infördes en standardiserad håvning och M42-provtagningen fasades ut 2002.

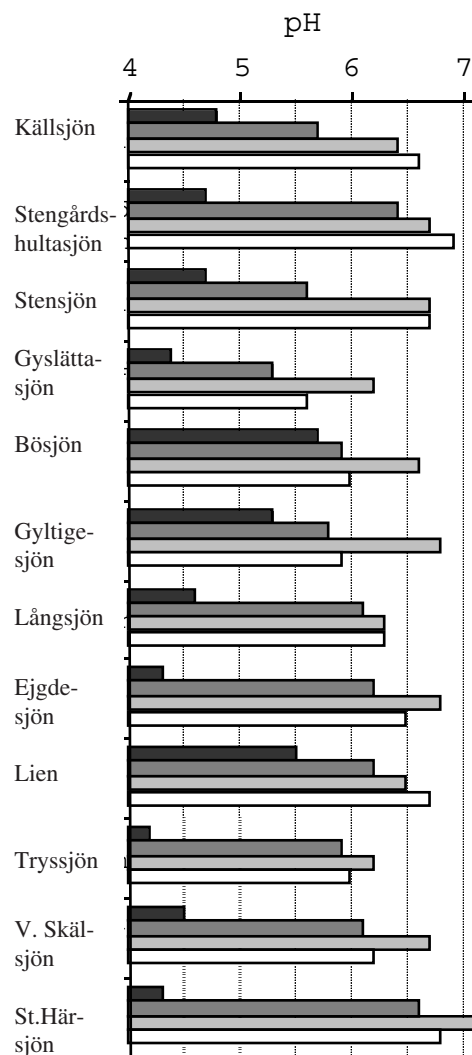
Hårdbottenfaunan i vattendragen har från projektets start provtagits med M42-metoden. Från år 1994 infördes en kvantitativ provtagningsmetod (Surber). Efter problem vid utföraryt inställdes alla provtagningar med båda metoderna år 2003. Problem vid utförarytet har utretts och utmynnat i fortsatt provtagning av sjöarnas strandfauna, men uppehåll i provtagningen i vattendragen. Under hela undersökningsperioden har prov tagits som standard under hösten och i mindre utsträckning under vår/försommar.

I kalkningsverksamheten har biologisk uppföljning, utöver fisk och bottenfauna, koncentrerats främst på förekomsten av kräftor och pärlmusslor. Kräftor har rapporterats förekomma i fem IKEU-vattendrag och i tre sjöar. Två av förekomsterna är signalkräfta.

Sötvattenslaboratoriet öppnade för några år sedan en kräftdatabas som är fokuserad på flodkräfta. Den utgör ännu inget datavärdskap och innehåller därför inte all information om kräftförekomst i Sverige och kräftförekomst i kalkade vatten. Provfiskeuppgifter finns dock från 80 kalkade sjöar och 19 vattendrag. I medeltal har de provfiskats två gånger. Bland dessa provfisken kan också sådana i referensvatten dölja sig. Man kan också utläsa att Jönköpings och Kronobergs län har registrerat flest provfisken.

Eftersom ingen reguljär datainsamling bedrivits finns det anledning att anta att kräftpopulationerna undersökts i större omfattning än det centrala registret visar. Mer information finns då att få hos länsstyrelserna.

Vad gäller flodpärlmusslor finns inte heller något datavärdskap eller någon fast datainsamlingsrutin. I Västernorrlands län, som arbetat mest intensivt med flodpärlmussla under ca 15 år görs uppföljning av flodpärlmusslebestånd i ett 10-tal kalkade vattendrag som undersöks med 3-5 års intervall. Liknande uppföljning, men av mindre omfattning görs antagligen på andra håll i landet och data samlas hos enskilda Länsstyrelser.



Figur 17. Översikt över rekonstruerade och uppmätta pH-värden i de tolv IKEU-sjöar som undersökts med paleolimnologiska metoder.

■ = lägst uppmätta pH före kalkning,
 ■ = lägst rekonstruerade pH under 1900-talet,
 ■ = Medelvärde för uppmätta pH-värden från 1989 till 1999-2002
 □ = medelvärde av rekonstruerat pH under kalkningsperioden.

Tabell 16. Sammanfattning av paleolimnologiska bedömningar i sedimentproppar från IKEU-sjöarna. De fyra första kolumnerna baseras på pH-utveckling i djupprofiler. pH har då uppskattats från kiselalgförekomsten i olika åldersskikt. I sista kolumnen redovisas bedömningar baserade på förekomst av pollen från olika kulturväxter.

	Modern försurning	Naturlig försurning	Kalknings-effekt	Alkaliserings-fas	Jordbruks-etablering
Stensjön	X		X		X
Stengårdshultasjön	X	X	X	X	X
Gyslättsjön		X	X		X
Gyltigesjön	X	1)	X	X	X
Ejgdesjön		X	X		
Stora Härsjön	X?	1)	X?		
Långsjön		X		X	X
Västra Skälsjön	X	1)	X	X	X
Lien		X	X		X
Bösjön	X	1)	X		
Tryssjön		X	X		X
Källsjön		X	X	X	X

1) Endast kort propp

Bland IKEU-vattendragen finns tre stycken där flodpärlmussla påträffats. Ingen speciell uppföljning av kalkningseffekter på dessa bestånd har genomförts.

Eftersom både kräftor och flodpärlmusslor är målorganismer bör en förbättrad uppföljning skapas, i första hand genom att centralt registrera data från hela landet.

Så vitt känt finns i DMN eller andra databaser inga ytterligare uppgifter om övriga organismgrupper som växt-, djur- och bakterioplanktonplankton eller makrofyter. En jämförelse med dessa moment i IKEU-programmet kan därför inte göras.

Andra biologiska motiv som förekommit i länens ätgärdsplaner (ex. utter, strömstare, storlom) tycks inte heller ha motsvarande uppföljning. Det är dock möjligt att deras förekomst följs upp med olika naturvårdsinventeringar.

Surhethistoria från sedimentproppar

Utvecklingen vad gäller surhet, spridning av luftföroreningar och jordbruksetablering har beskrivits med hjälp av sedimentproppar från 12 IKEU-sjöar. En översikt av resultaten (tabell 16) ger en heterogen bild av sjöarnas utveckling. Som förväntat kan en naturlig försurning observeras i de flesta proppar som täcker hela den postglaciala perioden (8-12000 år). Stensjön utgör här ett undantag.

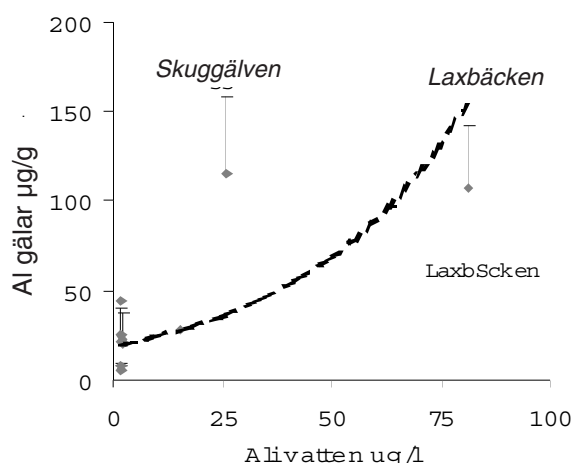
Försurning i modern tid framgår tydligt i propparna från 6 sjöar. De sex sjöar där ingen indikering av sentida försurning finns kan ändå ha varit syrapåverkade. Antingen har de kalkats med stöd

av uppmätt surhet (bl.a. vid surstötter) eller kalkats för att restaurera biologiska skador. De kan också ha kalkats profylaktiskt, med svagare motiv, inför en annalkande försurning.

En jämförelse mellan direkt uppmätta pH-värden och sådana som härletts från kiselalgsammansättning i sedimentproppar visar att lägstavärden för mätta pH-värden genomgående ligger betydligt lägre än de värden som härletts från sedimenten (figur 17). En sannolik förklaring är då att man har att göra med surstötsmätningar. Frånvaron av surhetsindikationer i Ejgdesjön och tveksamheten om Stora Härsjön (där även biologiska skador dokumenterats) gör att bedömningarna bör vägas ihop med fler indicier. En sådan bedömning (se nedan) har lett till antagandet att bland sjöar utan indikation på modern försurning kan Lien och Källsjön antas vara minst försurningspåverkade idag och i framtiden. För sjöar som länge haft en komponent av humussurhet (Gyslättsjön, Långsjön och Tryssjön) är bilden mer oklar.

Möjlighet att studera aluminium

Aluminium mobiliseras vid försurning, och biotillgängligheten ökar genom pH-beroende komplexbindningsegenskaper. Vid låga pH-värden förekommer Al huvudsakligen i komplex med hydroxid-, sulfat- och fluordjoner vilka gemensamt benämns ”organiskt Al”, *Ali*. Vid högre pH-värden kan Al falla ut som gibbsit ($\text{Al}(\text{OH})_3$ (s)) och i större utsträckning bindas till humus, ”organiskt Al”, *Alo*.



Figur 18.. Aluminium på gälar ($\mu\text{g/g dw}$) och Ali ($\mu\text{g/l}$) i vatten från episodprovtagning av viltfångad ung öring under försommaren 2001 och senvåren 2002. Medelvärde av ca 10 individer samt standardavvikelse.

Inom IKEU-programmet har sedan 1990 Al-fraktionering genomförts av ITM på prover från sjöar och vattendrag, både i kalkade objekt och i referenserna. För IKEU-lokalerna har syftet varit att visa om kalkningen klarat att avgifta vattnet från Al och med referensobjekten förväntas den naturliga variationen temporalt och spatalt beskrivas.

Data för Al-fraktionerna finns även för en delmängd av proverna i riksinventeringarna som genomförts höstarna 1995 och 2000. De nivåer som kan påverka organismer baserar sig på norska resultat från klarvattensystem (se Kalkningshandboken), där max 50 $\mu\text{g Ali/l}$ anses oskadligt för öring och abborre m fl fiskarter medan högst 30 $\mu\text{g Ali/l}$ tolereras av lax, elritsa och mörtbestånd. I de svenska mer humösa vattnen kan dessa nivåer komma att justeras något uppåt.

Aluminiums toxiska verkan genom utfällning på fiskens gälar antas ske med två mekanismer i rent

sura vatten och i instabila blandzoner. Inom IKEUs utökade episodprovtagning i vattendrag 2001 och 2002 har Al på gälar analyserats vid sammanlagt 11 fisken i 6 vattendrag (ca 10 öringar/tillfälle). Resultatet visar på ett samband mellan halten Ali (vatten) och Al-gäle (figur 18) även om det inte kan ligga till grund för revidering av kritiska nivåer.

För att få en uppfattning om de objekt vi studerar beskriver försurningsmobiliserat Al i Sverige på ett relevant sätt har en sammanställning gjorts över IKEU-objekt och referenser under de senaste 5 åren vilka jämförs med de 217 vattendrag och 314 sjöar som analyserats med avseende på Ali vid riksinventeringarna 1995 och 2000. Medel, min och max värde har beräknats för sjöar och vattendrag både för Ali och för de två variabler som har störst inverkan på aluminiums förekomstformer, pH och organiskt material (tabell 17).

För sjöarna ser vi att kalkningen reducerat halten Ali, jämfört med referenser, återförsurade objekt och riksinventeringens sjöar. Ändock har vi i IKEU-sjöarna funnit Ali-halter som är skadliga för mört och eventuellt abborre. Tryssjön (48 $\mu\text{g/l}$) och Ejgdesjön (39 $\mu\text{g/l}$) saknar mört men detta kan även bero på konkurrens eller andra orsaker. Även i Bösjön (39 $\mu\text{g/l}$), Lien (37 $\mu\text{g/l}$) och Stensjön (33 $\mu\text{g/l}$) uppvisas enstaka höga värden som kan tänkas inverka menligt på fiskpopulationen. IKEU-sjöarna uppvisar som grupp de låga värden man kan förvänta i kalkade objekt (tabell 17) och referenssjöarna får ett högre medelvärde vilket orsakas av flera försurningspåverkade sjöar med Ali-halter som tillfälligt är över 50 $\mu\text{g/l}$ (tex (Härsvatten, Brunnsjön, Rotehagstjärn, Årsjön och Övre Skärsjön).

För enskilda vattendrag finner vi vid enstaka tillfällen skadliga Ali-halter för öring t. ex. i Haralds-sjöån (144 $\mu\text{g/l}$), Skuggälven (108 $\mu\text{g/l}$), Enångersån (60 $\mu\text{g/l}$) och Källsjöån (44 $\mu\text{g/l}$). Av dessa bedöms utifrån elfiskeresultaten de två senare som

Tabell 17. Jämförande statistik för IKEU med referenser (intensiv) samt riksinventeringarna uppdelat i sjöar och vattendrag. Endast de objekt som analyserats både 1995 och 2000 ingår.

Sjöar	Ali ($\mu\text{g/l}$)			medel	pH		TOC (mg/l)		
	medel	min	max		medel	min	max	medel	min
IKEU 1998-2002	<3	<3	48	6.7	5.0	7.9	9	1	24
Intensiv 1998-2002	24	<3	271	6.1	4.4	7.6	9	0	32
Återförsurning 1998-2002	36	<3	163	6.1	4.7	7.1	14	8	22
Riksinventering 1995	12	<3	190	6.2	4.3	6.8	11	0	41
Riksinventering 2000	15	<3	183	6.0	4.2	7.7	14	1	45
Vattendrag									
IKEU 1998-2002	<3	<3	144	6.7	4.9	7.7	11	1	61
Intensiv 1998-2002	13	<3	154	6.4	4.4	7.7	7	1	45
Riksinventering 1995	8	<3	199	6.5	4.5	6.8	11	0	49
Riksinventering 2000	<3	<3	131	6.5	4.5	7.5	14	0	34

försurningspåverkade (klass 3) med avseende på försurningskänsliga arter eller stadier, medan de två förra klassas som opåverkade av försurning (klass 1). Detta är anmärkningsvärt eftersom pH aldrig har gått under 6,0 i de nordliga vattendragen, medan det varit närmre 5,0 i de sydliga. I referensvattendragen noteras förhöjda halter mellan 50-150 µg/l i Lillån (Oskarsström), Laxbäcken, Härån, Lillån-Bosgårdsån och Dammån varav vissa vatten även vid elfisket avviker med avseende på förekomst av försurningskänsliga arter/stadier.

När man jämför IKEU-data med övriga referenspopulationer (tabell 17). så ligger spannet för pH, Ali och TOC i både IKEU, Intensiv- och Återförsurningsjöarna väl placerade i jämförelse med riksinventeringarna som dock har en slagsida mot mindre och brunare sjöar.

I vattendragen visar jämförelsen med riksinventeringarna samma sak – IKEU och intensiv-vattendragen täcker in populationen väl som den beskrivs av riksinventeringarna. Här finner vi dock extremvärdena för TOC i de månatligt provtagna objekten, vilket kan förklaras av att det under året uppkommer extremvatten (vid låg eller högvatten) som blir brunare än under det enstaka höstprovet som tas till riksinventeringen.

Kriterier för att avsluta kalkning

Naturvårdsverket inbjöd i april 2001 till en workshop "När kan vi sluta kalka" med organisatoriskt stöd av IKEU. Workshopen hade framför allt som mål att finna indikatorer och kritiska värden som pekade ut att kalkningen borde starkt inskränkas eller upphöra. De borde kunna anges specifikt för varje objekt och identifieras i mätserier från varje objekt. Både biologiska och kemiska indikatorer diskuterades men tonvikten kom att ligga på de kemiska, och på att genom löpande mätningar finna när tiden var mogen att reducera eller upphöra med kalkningen. Slutsatserna var avsedda som underlag till Kalkningshandboken och nya Bedömningsgrunder för sjöar och vattendrag.

I september 2002 genomfördes en workshop om "Biological recovery from acidification in a changing climate" i Grimstad, Norge. Där kom möjligheterna att beskriva tidsförlopp i en återhämtning via olika modeller att stå i fokus. Dynamiska modeller (t.ex. MAGIC) kan ange när den kemiska "normaliseringen" inträder även i kalkade sjöar och vattendrag.

Som framgår av en rapport från workshopen (Appendix 5) anses möjligheterna begränsade att med önskvärd noggrannhet både beskriva mål och utvecklingen mot detta mål för ett enskilt objekt.

Däremot finns konceptuella modeller där kemisk återhämtning är tänkt att beskrivas med MAGIC-modellen och biologisk introduktion–kolonisation–etablering beskrivas med ungefärliga tider för olika organismgrupper eller möjligen modelleras.

Med ett förväntat utdraget vattenkemiskt återhämtningsförlopp framstår uppträdandet av surstötter med ojämn frekvens som ett av de största problemen vid framför allt biologisk modellering i tidsskalan. Man har anledning att räkna med både introduktion–utslagning och återintroduktion ett antal gånger om man följer en naturlig återhämtning från försurning.

När man genom kalkning upprätthållit biologiska samhällen liknande de i icke-försurade vatten ska den del av normaliseringen utgå som berör kolonisering och etablering. Den ska i princip ersättas av mindre biologiska justeringar. Avsteg från detta kan väntas framför allt vid överkalkning och om surstötter tillåts uppträda vid kalkningens upphörande (Figur 19). Överkalkning kan relativt enkelt åtgärdas långt innan hela kalkningen upphör. Surstötter är ett större problem och det finns speciell anledning att se till att onaturliga surstötter inte uppträder där kalkningen starkt reduceras. Sköts detta är möjligheterna stora att de biologiska samhällena relativt snabbt "normaliseras" d.v.s. genomgår måttliga förändringar till en typ som vi nu ser i referensobjekten.

Inom IKEU har inget specialprojekt bedrivits om val av indikatorer för att i tidsserier avgöra när kalkningen kan reduceras. Så vitt känt bearbetas detta problem inom den grupp som reviderar bedömningsgrunderna för sjöar och vattendrag.

Försök att ge tidsprognoser för kemisk återhämtning har framför allt gjorts med MAGIC-modellen, dock ej inom IKEU. Den kräver relativt omfattande information om det aktuella avrinningsområdet och beskriver ett försurnings eller återhämtningsförlopp som det förlöper utan kalkning. Om modellen ska tillämpas på IKEU-objekt måste halter av kalcium och magnesium kunna anges för en situation utan kalkning. En metod att göra detta har med hjälp av Ca/Mg-kvot har tidigare diskuterats (sidan 9). Modellens resultat påverkas givetvis av precisionen i sådana skattningar. Som resultat ger modellen tidsutvecklingen av ANC. Om man vill konvertera ANC till pH tillkommer också en precisionsförlust när ursprunglig Ali-halt uppskattas.

Om man ändå accepterar dessa och andra problem finns för IKEU-objekten bättre ingångsdata och historiska data än för många andra objekt där modellen testats. Som ett speciellt bonus kan man framhålla den paleolimnologiska information som finns om sjöarnas historiska utveckling.

Önskvärda förändringar i IKEU-verksamheten

Kalkade objekt

I detta kapitel identifieras först IKEU-objekt som nu eller i en nära framtid inte påverkas nämnvärt av antropogen försurning. Dessa objekt blir då tillgängliga för att följa upp "när ska vi sluta kalka" - problematiken med indikatorer och ev. modellering. Frågor om de kalkade objektens representativitet och ev. behov av andra/ytterligare objekt tas därpå upp. Behov av ytterligare objekt för att klara nya målsättningar tas också upp.

Läget av nuvarande IKEU-objekt i relation till depositionsgradienten och till överskridandet av kritisk belastning har redovisats (figur 5, 6 och tabell 2). För sjöarna har också alkalinitetstillståndet utan kalkning uppskattats. Dessutom har depositionsutvecklingen och sulfatutvecklingen i sjöarna beskrivits. Vid en sammanvägd bedömning av försurningspåverkan framgår att Lien och Källsjön har en relativt hög beräknad alkalinitet samt lågt överskridande av kritisk belastning. Om man också antar att minskningen av sulfatdepositionen fortskrider med minst 30% på 10 år kommer den kritiska belastningen att underskridas för Lien och få ett litet överskridande för Källsjön. Redan idag, eller under perioden fram till 2009 bör Lien kunna betraktas som opåverkad av antropogen försurning.

Vid pH-rekonstruktion av sjöarnas surhetshistoria finns för Lien ingen modern snabb pH-sänkning. För Källsjön har den svaga sentida pH-sänkningen tolkats som en kontinuerlig pH-sänkning med start i sjöns bildande. Dock saknas en modern antropogen försurningsindikering även i de sedimentproppar som analyserats från några andra av IKEU-sjöarna trots att en antropogen försurning där har dokumenterats.

För vattendragen finns betydligt färre indikationer att ta fasta på. De fem nordligaste vattendragen har förhållandevis låg syradeposition och fyra av vattendragen har mycket lågt överskridande av den kritiska belastningen. Med en uppskattad 30% depositionsminskning inom 10 år understiger eller tangerar depositionen den kritiska belastningen i dessa vattendrag (Enångersån, Källsjöån, Storselsån, och Ådalsån). Sulfathalten i vattnet ligger omkring 0,05 mekv/l, d.v.s. den typiska låga Norrlandsnivån. Kalkdoserna är dock förhållandevis höga vilket skulle kunna tyda på ett stort kalkbehov. Dosen kan å andra sidan vara större än behovet. Baserat på dessa indikationer kan inget vatten-

drag med försumbar antropogen försurning, utpekade, däremot bör de nämnda vattendragen stå på en "observationslista" för ev. naturligt sura objekt.

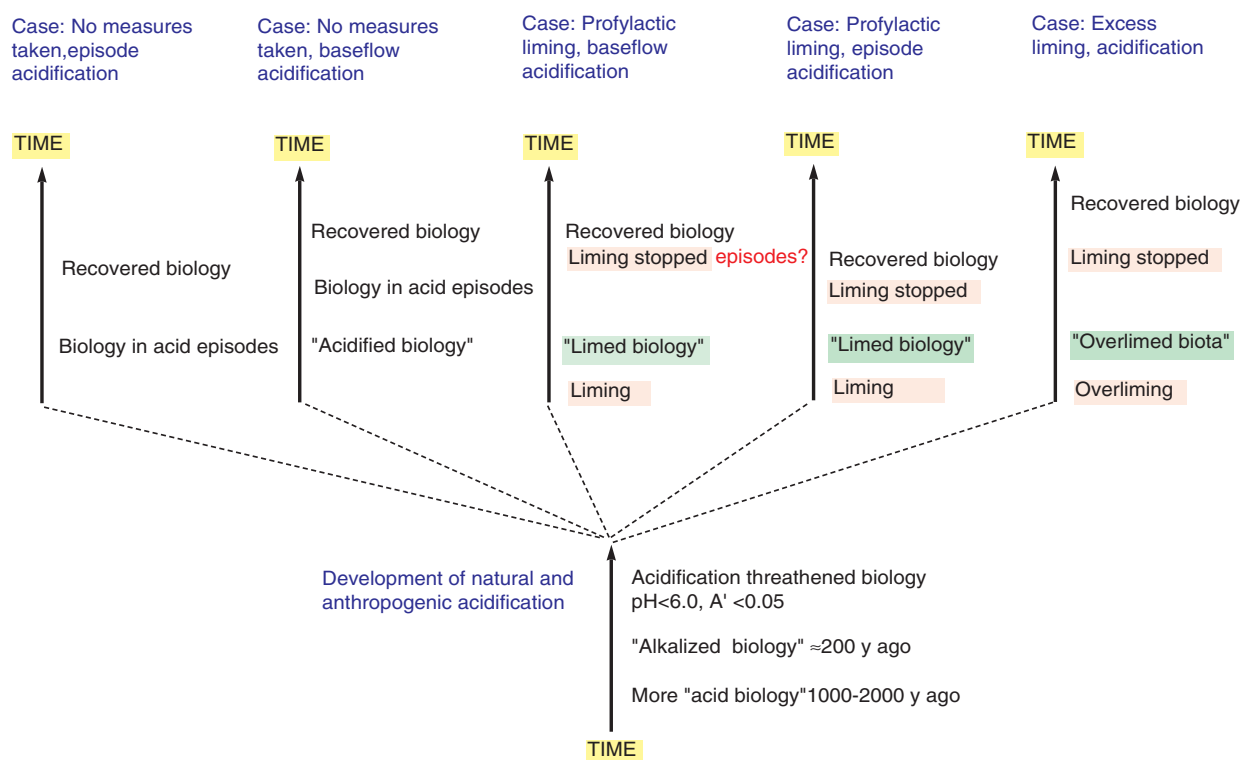
Vad gäller IKEU-sjöarnas representativitet har den belysts ur olika synpunkter. Sjöarnas egenskaper är tämligen olika och matchar därigenom den fördelning av egenskaper som de kalkade sjöarna har. (figur 8–14). Möjligheten att provfiska begränsar dock valet av sjöstorlek; de allra minsta och största sjöarna är olämpliga. Att följa upp differenterade pH-mål är också svårt i den nuvarande gruppen IKEU-sjöar, som alla har målet pH=6.

Även om alla variabler inte kan beaktas fullt ut uppfyller nuvarande sjöar de krav som uppställdes vid projektets start. En diskussion om att inkludera fler sjöar har dock ständigt förts. Geografiskt kan man anföra att många nuvarande IKEU-sjöar ligger nordligt i försurningens "utmärker", vilket kommer att accentueras i framtiden. Fler objekt har framför allt efterlysts i försurningens "kärnområden", bl.a. saknas IKEU-sjöar i Blekinge, Nordskåne och Värmland. I en parallell utredning undersöker ITM bl.a. därför vilka välundersökta sjöar som är tänkbara för en utvidgning av IKEU-objektens antal och geografiska representativitet.

Man bör vid nyetableringar också beakta att sjöarna kommer att ges en typtillhörighet enligt Ramdirektivet för vatten som matchar tillgängliga referenser.

IKEU-vattendragen representerar den kalkade populationen något sämre än vad IKEU-sjöarna gör. Alla avrinningsområden för IKEU-vattendragen är t.ex. större än medianvärdet för den kalkade populationen och storleksintervallet är begränsat. En orsak är att stationer har valts med liknande fiskbara miljöer med öring, men i olika naturgeografiska regioner och med olika kalkningsmetoder (Appendix 2). Då vattendragen valdes krävdes ett omfattande arbete för att hitta representanter för de önskade typerna, framför allt för att kalkningsmetoderna har olika regional utbredning och att IKEU inte kunnat styra kalkningsmetodiken

Som framgått ovan kommer depositionsminskningen att kunna leda till att fyra nordliga vattendrag får försumbar antropogen försurning. IKEU-programmet kan då komma att urholkas och nyetableringar i södra Sverige kan då bli aktuella. Med tanke på bristen på små och stora vattendrag i pro-



Figur 19. Principschema över de fall och tidsförlopp som diskuteras i texten. Nedtill ges den gemensamma långtidsutvecklingen för en skogssjö, med viss odlingspåverkan, fram till ett överhängande hot om antropogen försurningspåverkan. Till vänster ges två principförlopp för vidare utveckling mot mer eller mindre allvarlig antropogen försurning som ej åtgärdas samt slutlig återhämtning (som närmast kan jämföras med "Alkalkized biology"). Nästa två tidsaxlar visar förloppen i samma typer av försurningsfall men där kalkning startats tidigt, biota har hållits i det närmaste intakt och återhämtningsperioden är mycket kort. Slutligen ges längst till höger principförloppet i de åtgärdssjöar som "förråds-kalkas" uppströms målobjekt. Alla dessa förlopp gäller även vattendrag, där dock dynamiken oftast är större.

grammet kan man också diskutera om önskemålet att representera den kalkade populationen av vattendrag kräver att både små och stora vattendrag inkluderas. Görs nyetableringar bör först möjligheten beaktas att inkludera vattendrag som tidigare undersökts inom IKEU. Man bör vid nyetableringar också bevaka att vattendragen kommer att ges en typtillhörighet enligt Ramdirektivet för vatten som matchar tillgängliga referensvattendrag.

Vad gäller mål-pH bland IKEU-vattendragen finns redan nu en differentiering som dock representeras av mycket få objekt. Ett återupptagande av provtagning i avslutade objekt skulle kunna tillföra två objekt med mål-pH = 6,3.

I Sverige finns 3865 sjöar som enbart är åtgärdsobjekt och används som kalkdepå för nedströms liggande målobjekt. Sannolikt har uppkalkningen lett till att pH och kalkhalt kraftigt överstiger det normala.

Data på pH och kalkhalt i dessa sjöar finns inte redovisade. En del data torde finnas hos länsstyrelserna i form av mätningar i styrpunkter. Vi uppfattar det som mycket angeläget att följa upp tillståndet i dessa sjöar, framför allt biologiskt. Dels

har sjöarna sannolikt redan nu ett förändrat biologiskt tillstånd dels kan de få gå igenom en mer påtaglig återhämtningsperiod än målsjöar om kalkningen upphör.

Som inledande moment bör namn och sjönummer samt kemiska mätvärden och upplysningar om datatillgång för de rena åtgärdssjöarna samlas in från länsstyrelserna. Man försöker sedan få en uppfattning om typiska värden för sjöarna. Som fas 2 utses ett antal sjöar som utsätts för en experimentell pH-höjning motsvarande typiska förhållanden för åtgärdssjöar. Biologi och kemi följs i sjöarna före och efter pH-höjning. Ett alternativ kan vara att undersöka tillståndet i sjöar som redan en längre tid varit uppkalkade till höga nivåer.

Det finns också motiv för att i ett annat fristående program välja nya försurade objekt för att experimentellt jämföra vad kalkning sommartid innebär biologiskt jämfört med höstkalkning.

Det finns också motiv att belysa experimentellt vad en frekvent kalkning med låga doser innebär biologiskt jämfört med en mindre frekvent kalkning med höga doser.

Fältexperiment av denna typ kräver att kalkning-

en kan styras av den som genomför experimenten. De avviker därigenom från förhållandena i nuvarande IKEU-projekt som inte styr kalkningen.

Förekomst och effekt av surstötter är som framgår av översikten (figur 19) ett viktigt område både i okalkade och kalkade vatten. Surstötsuppföljningen betonas också i kalkningshandboken. Surstötter uppträder inom IKEU – med den definition vi använt – bara i några få sjöar eller vattendrag men vi behöver veta mycket mer om surstötsproblematiken på ett nationellt plan. Vi behöver också veta hur bilden förändrats med tiden. Först bör vi inrikta oss på okalkade vattendrag och sjöar (nationella och regionala referensobjekt) där vi ska söka okalkade objekt med sentida surhetsmätningar året runt. Vi måste framför allt bedöma vilka surstötter som genereras av en smältande snöpack och vilka som under sensommar och höst (ev. vinter) genereras av intensivflöden. Analysdata måste också omfatta variabler som gör det möjligt att bedöma hur stor del av surheten som har ett antropogent ursprung.

Bedömningen av det antropogena försurningsbidraget i Sydsverige kan här bli en utmaning.

I en därpå följande fas genomförs motsvarande genomgång av sjöar. Slutligen görs en bedömning av biologiska skador vid olika typer av surstötter samt en klassificering av surstötterna där även aluminiumproblematiken ska ingå.

Surstötsprojektet kan utformas på alternativa sätt: enbart kalkade objekt, enbart vattendrag, enbart kemi o.s.v.

Okalkade referensobjekt

IKEU- sjöar och vattendrag ska i första hand matcha de intensivundersökta sjöar och vattendrag som används som referenser.

En stor del av referensundersökningarna i sjöar finansieras av miljöövervakningen, resten inom IKEU. Inom miljöövervakningen finns ett behov att i framtiden satsa på övervakningsobjekt som kan fördelas på många olika typer enligt "system B" i Vattendirektivet. Innan ett sådant urval kan göras måste dock biologiskt relevanta typer vara definierade. Ett sådant arbete pågår. Ett förslag till framtida övervakningsprogram måste vara framme år 2006. Tills dess väntas inga principiella eller större ingrepp i programmet för referenser. Nuvarande undersökningsvolym kan dock inte finansieras helt utan blir beroende av extra pengar. En säker prognos för de intensivundersökta referenssjöarna är därför också svår att ge för de närmaste åren.

Vad gäller mätprogrammet inom miljöövervakningen finns det ett principiellt önskemål att inklu-

dera undersökningar av makrofyter i intensivsjöar samt mikrofytobentos (påväxtalger) i vattendrag, eftersom de efterfrågas i ramdirektivet. I det nya IKEU-program som skapas 2005 kan knappast någon hänsyn tas till ev. förändringar i miljöövervakningen. En anpassning kan dock bli aktuell 2006.

Referenssjöarna har samma restriktioner som IKEU vad gäller sjöstorlek men är ändå något mindre än IKEU-sjöarna samt har något mindre brunt vatten. Bland referenssjöarna ingår två stycken som är mer nordligt belägna än både IKEU-sjöar och kalkningsverksamhetens sjöar. Principiellt är detta inget problem eftersom referenser ska vara så lite påverkade som möjligt av luftföroreningsförsurning. Växt- och djurgeografiskt kan dock dessa sjöar naturligt ha mer inskränkta organismsamhällen vilket kan minska deras användbarhet. Detta bör undersökas.

Referensvattendragens geografiska lägen är redan från start valda för att representera de olika naturgeografiska zoner där IKEU-vattendragens målsträckor är belagna. Därigenom har växt- och djurgeografiska hänsyn beaktats redan vid urvalet.

Referenssjöarna ska bestå av dels sura sjöar dels sådana som naturligt har ett pH över 6,0. Den första gruppen är avsedd att visa hur de kalkade sjöarna skulle se ut i ett försurat tillstånd utan kalkning,. Den senare skall spegla det tillstånd som kalkningarna avser att återskapa. Den sjunkande syradepositionen påverkar referenssjöarna på liknande sätt som IKEU-sjöarna. Bland nuvarande referenssjöar finns sådana som varit genomgående sura och sådana som vacklat mellan att vara sura eller neutrala med surstötter. Trots att återhämtningstiden är svår att förutsäga går dessa sjöar (Rorehogstjärn, Övre Skärsjön, Brunnsjön) långsamt mot att bli renodlat neutrala och förstärker därmed gruppen av neutrala sjöar. Detta är snarast av godo för IKEU-verksamheten.

Vid "Recovery-symposiet" i Grimstad (Appendix 5) beskrevs fiskbeståndens återhämtning i just dessa sjöar. Mycket finns dock kvar att beskriva och analysera i dessa återhämtningsobjekt. Satsningen på att följa en löpande återhämtning i okalkade objekt har hittills varit obetydlig inom IKEU. Här finns dock stora möjligheter att i befintliga monitoringsystem följa vad övergången från konstant surhet till neutralt pH med surstötter kan innebära biologiskt. Underlag för bedömning av när kalkning kan kraftigt reduceras kan också vinnas genom sådana studier.

Moment som återhämtning, kolonisering etc. bör ägnas större uppmärksamhet i kvarvarande sura referenser. En anledning att utöka den sura refe-

rensgruppen skulle vara att göra återhämtningsstudier på dessa sjöar. De skulle i så fall belysa "när ska vi sluta kalka-problematiken". MAGIC-modellering för att beskriva deras framtida utveckling är också tänkbar.

Delprojekt i basprogrammet

I det nu löpande programmet har aktiviteterna sorterats som basprogram, specialprogram och utvärderingar (Appendix 3). Basprogrammet omfattar sådana aktiviteter som inte har någon bortre tidsgräns medan specialprogrammen har en sådan, oftast kombinerad med bearbetning och slutrapportering. Nuvarande basprogram innehåller enligt kontraktet följande delprojekt:

Vattenkemi sjöar
Vattenkemi vattendrag
Metaller i vatten
Metaller i fisk
Vattenkemi återförsurning
Växtplankton
Djurplankton
Bottenfauna sjöar
Bottenfauna i vattendrag (paus 2003-4)
Nätprovfiske
Elprovfiske
Vattenföring, modellerad
Termistorregistreringar
Viktiga specialundersökningar är:
Surstötter
Makrofytter

I varje delprojekt finns olika aspekter att ta ställning till som t. ex. vilka variabler som ska studeras, antal prov och provtagningsfrekvens etc. Dessa tas upp i kommande kapitel och har i många fall kritiskt granskats tidigare. Det finns därför bara anledning att ta upp sådana där ett förändringsbehov finns.

Som nämnts ska IKEU-programmet bl.a. syfta till en samlad uppföljning av dels väsentliga komponenter i ekosystemet, dels sådana som följs i den regionala effektuppföljningen dels sådana som berörs i Ramdirektivet för vatten eller i de svenska miljömålen. Dessutom finns en ekonomisk aspekt; man kan bara göra dyra undersökningar i ett begränsat antal objekt. De ovan angivna undersökningsmomenten ska uppfylla dessa mål. I alla objekt används därför i stort sett samma undersök-

ningsmoment. Undantag finns; metaller i fisk och surstötsundersökningar är sådana. I ett utvidgat IKEU med t.ex. undersökningar i depåkalkade sjöar är det önskvärt att använda samma analyspaket som i tidigare sjöar. Detsamma gäller vid nyetablering i vattendrag och sjöar i södra Sverige samt vid studier av sommarkalkningar kontra höstkalkningar

Delmomenten "bottenfauna i vattendrag och på stenbotten i sjöar" är de delmoment där en konsekvent uppföljning visat sig svårast. Detta kan vara ett memento inte bara för IKEU-programmet utan även för den mycket omfattande effektuppföljningen med regional bottenfaunaprovtagning. Det finns därför anledning att bedöma hur långt man kan nå med bottenfauna i effektuppföljningen med tanke på att olika metoder blandas. Tidigare har ett försök till utvärdering gjorts med hjälp av den datamängd som kunde tillgängliggöras våren 1995 (Örngren 1999). Utvärderingen visade sig möjlig genom att bedöma surhetspåverkan med beräknade surhetsindex. En direkt jämförelse mellan undersökningar utförda med olika metodik var dock inte möjlig. Användbarheten av bottenfaunaundersökningar bör nu utredas på ett nationellt plan. I en första fas bör nu alla data som redan finns digitalt tillgängliga samlas i en enhetlig databas efter justeringar av artlistor, format etc. Lagring och tillgängliggörande av materialet bör överlåtas till datavärd.

Inom IKEU-programmet för vattendrag har en kvantitativ bottenfaunauppföljning med Surberhämtare använts. Den används bara i ett fåtal län men har hittills visat sig framgångsrik i IKEU-vattendragen. Den bör få fortsatt förtroende ev. kombinerat med en sökhävning. Metoden är internationell ISO och EN-standard och ger IKEU-programmet en högt rankad (kvantitativ) bottenfaunauppföljning.

Kalkningshandboken rekommenderar vårprovtagning medan IKEU-provtagningen hittills har löpt på hösten. Eftersom problem kan uppstå vid en flyttning till våren föreslås ett flerårigt specialprojekt då höst- och vårprovtagning jämförs alternativt att både höst- och vårprover tas.

I sjöar, där Surberteknik inte kan tillämpas, bör den nu använda hävningen med handhäv (enligt internationell ISO och EN-standard) användas, men flyttas från höst till vår (följt av jämförelse).

Det finns också anledning att genomföra ett specialprojekt som ska belysa hur väl provtagning på en strandlokal i en sjö beskriver strandfaunan i hela sjön. I projektet ska faunan på olika lokaler jämföras samt deras representativitet för en hel sjö bedömas. Utvärderingen inriktas på att bedöma strandfaunans värde i kalkningseffektuppföljning-

Tabell 17. Översikt av delprojekt med mätprogram inom IKEU och deras startår samt de metodförändringar som genomförts vid olika tidpunkter.

Vattenkemi sjöar	Oförändrat 89-
Vattenkemi vattendrag	Oförändrat 89-
Metaller i sjövattnet	Oförändr. 89-, Al rev. 02
Metaller i vattendrag.	Start 94-, Al reviderad 02
Metaller i fisk	Start 90-, utvidgat 97-
Kemi återförsurning	Oförändr. ITM, Start biol. 99-
Växtplankton	Ny räknemetod 97-
Djurplankton	Kval provt -99, Kvant 00-
Bottenfauna mjukbotten	Oförändrat 89-
Bottenfauna strand	M42-97, håv 98-
Bottenfauna vattendrag	M42-99, Surber 00-03
Nätprovfiske	Byte nät 94
Elprovfiske	Oförändrat 89-
Vattenföring, modellerad	Start 94, 2 metoder
Termistorregistreringar	Start 98-00-
Surstötar	Oförändrat 01-
Makrofyter	Ny metod 03-

en, speciellt lämpligheten att använda en station. Studien kan genomföras som specialprojekt fristående från det nya programmet.

Delmomentet vattenföring bör utvärderas eftersom resultaten baseras helt på modellering och det kan ifrågasättas om precisionen är tillräcklig för att t. ex. beräkna materialtransporter eller om resultaten bara grovt visar flödet och förekomsten av toppar. m.a.o. är mer anpassat för surstötsproblematiken. Vattenföringsmodellering kan inte helt uteslutas inom IKEU eftersom det är en nödvändig del av surstötsundersökningarna, och en nyttig del av biologiundersökningarna i vattendragen.

Specialmomentet surstötar bör väsentligt byggas ut i ett utvecklat IKEU. Tyngdpunkten ska ligga på att beskriva var, när och hur surstötar uppträder. Information bör inhämtas både från okalkade och kalkade vattendrag och sjöar. Möjligheten att prognosticera surstötar samt möjligheterna till profylax bör också ingå i ett nytt specialprojekt.

Bland delprojekten i IKEU-programmet saknas uppföljning av vissa mål- eller indikatororganismer. Dit hör flodpärlmusslor och kräftor. För dessa grupper blir antalet populationer så lågt inom IKEU-programmet att en representativ uppföljning istället bör baseras på det uppföljningsmaterial som kan inhämtas från länsstyrelserna och lagras i en central framtida databank hos datavärd. De få populationer av pärlmusslor och kräftor som finns i IKEU-sjöarna och vattendragen bör provtas på

samma sätt, inkluderas i databanken och utvärderas tillsammans med övrigt regionalt material. Om man både satsar på flodpärlmusslan som målorganism och följer upp de två populationerna i IKEU-vattendragen bör mål-pH höjas till 6,2 eller 6,3 enligt erfarenheter från Västernorrlands län.

Parametrar, analysmetodik och artlistor

Valet av parametrar och metoder hänger intimt samman. I IKEU-programmet har nya parametrar kommit in vid skilda tidpunkter (tabell 17) med syftet att skapa ett mer komplett program allt eftersom de ekonomiska ramarna medgivit. I samband med byte av utförare har också modifieringar eller byte av metoder gjorts (tabell 17). Strävan efter att använda modern och accepterad metodik har inte bara varit av godo. Det innebär givetvis problem att redovisa kontinuerliga tidsserier när metoder bytts. Även stora problem, som för bottenfaunan i vattendrag har dock visat sig kunna bemästras. Inga förändringar i parameterintervall eller analysmetodik har aviserats för de närmaste åren. Dock bör vattenföringsmodelleringen ses över.

Vad gäller artlistor fanns problem med bottenfaunan inför riksinventeringen 1995 där det krävdes att olika personer skulle bestämma organismerna ned till en given taxonomisk nivå. Problemet löstes i konsensus av en expertgrupp med en operativ taxonlista på 517 taxa (bilaga till Bedömningsgrunder för sjöar och vattendrag). Användandet av denna lista har sedan kommit att bli norm, framför allt när olika undersökningar ska jämföras. Den har också tillämpats vid utredningarna i samband med bytet av utförare av bottenfauna. I ett kommande datavärdskap för bottenfauna måste också denna lista – eller en modifierad sådan – bli norm. Från bottenfaunaundersökningarna inom IKEU rapporteras i några fall en mer detaljerad taxonomi. Den kan dock konverteras till expertgruppens lista. De bottenfaunaundersökningar som görs regionalt med syfte att påvisa ev. försurningsskador kan dock ibland vara av förenklad modell. För ett kommande datavärdskap utgör detta ett problem. Omfattningen kan inte bedömas förrän utgångsmaterialet syns.

För växtplankton används från 1997 den artlista som tillämpas av datavärden för växtplankton. Alla prov räknas med fullständig art- och volymsanalys. Tidigare gjordes en komplett art- och volymsanalys på augustiproven varje år. För övriga prov gjordes en räkning och volymsbestämning av de dominerande arterna. De taxonomiska uppgifterna är rika och direkt jämförbara i augusti alla år medan algolymer och dominerande arter är jämförbara i övriga prov.

Djurplankton bestäms i de flesta fall till art-nivå enligt den artlista som datavärdden för zooplankton använder. Där registreras data från IKEU-sjöar och referenssjöar som båda kommer från samma utförare. Fler regionala zooplanktonundersökningar kommer förhoppningsvis att registreras vilket på sikt kommer att kräva standardisering av artlistor och att bedömningsgrunder utformas.

För artbestämning av makrofyter används den standardiserade artlista som ingår som bilaga till Bedömningsgrunder för sjöar och vattendrag.

Provtagning och provtagningsfrekvens

Provtagningarna inom IKEU genomförs där så är möjligt av provtagare från olika länsstyrelser eller konsulter som har genomgått utbildning för uppgiften. Provfisken genomförs dock av kringresande fiskelag organiserade och utbildade av Sötvattenslaboratoriet. Provtagning av bottenfauna på hårdbotten genomfördes tidigare av kringresande personal, liksom fiskprovtagningarna för metallanalyser. Hårdbottenprovtagningen överfördes till lokala provtagare i samband med utförarbytet (tabell 17) och fisk för metallanalys tas numera av provfiskelagen. Avsikten är att behålla detta provtagnings-system.

Provtagningsfrekvensen har anpassats till de olika parametrar som studeras. Vattenkemiprover kan tas upp till 21 ggr per år i vattendrag med surstötsprovtagning medan bl. a. provfiske och bottenfaunaprovtagning görs en gång per år (Appendix 3). Provtagningsfrekvensen har valts med hänsyn till hur dynamiskt olika organismsamhällen uppträder samt hur provtagningen görs i referensobjekten. Nuvarande frekvens kan betraktas som etablerad. För närvarande återstår att avgöra när bottenfaunaprover på hårdbotten ska tas.

Datalagring

IKEU-projektet levererar och lagrar data digitalt hos olika datavärdar som i sin tur tillgängliggör data via Internet. I den mån datavärd inte finns (t.ex. metaller i fisk) lagras filer internt inom projektet. Hos datavärdarna finns således mätserier lagrade som ligger inom varje värds kompetensområde.

Varje års dataproduktion inom projektet sammanställs dessutom på en CD-skiva som sprids till uppdragsgivare och medverkande. Tidsserier för varje mätvariabel ska om möjligt redovisas från

mätningarnas start. Där finns också alla filer med data från perioden före IKEU-programmet samt filerna som ingår i projektets hemsida. Alla data är försedda med ID och kan samköras med hjälp av olika program.

Inom kalkningsverksamheten finns olika register hos enskilda länsstyrelser samt DMN-databasen. Databasen stöds dock inte längre med inmatningar från alla länsstyrelser (se sidan 32) och medger därför inte användning i en nationell skala. Datafångst på ett nationellt plan måste ske genom kontakter med ett stort antal län (jfr denna utredning).

Man kan också få inblick i den nationella effekttuppföljningen genom de nyckeltal som årligen levereras länsvis. Data med bättre upplösning återfinns i de åtgärdsplaner som levererades från länen vintern 03/04. Där gavs information om enskilda objekt (ej komplett) vilket bl.a. kunnat utnyttjas i denna utredning.

En översyn och förstärkning av den nationella datalagringen bör som tidigare nämnts genomföras snarast. Ett nytt datavärdskap för detta föreslås, lämpligen med samma rutiner som befintliga värdskap. Många förslag till utvärderingar som ges i denna utredning förutsätter tillgång till nationella data i ett enhetligt format och med kongruent ID.

Kalkningsverksamheten producerar även en mängd administrativa och ekonomiska data. Majoriteten av denna datamängd hör inte hemma hos en datavärd för miljödata. Andra delar som kalkgivor och kalkningsmetoder bör kunna kopplas till effekttuppföljningsdata. En lämplig avvägning måste här utredas. Det är också oklart vilken roll de nya vattenadministrationerna ska ha som registerhållare. Detta bör också beaktas när ett datavärdskap utreds.

Rapportering

Redovisning av basdata och datalagring har beskrivits ovan. En genomgång av övriga lämpliga rapporteringskanaler gjordes år 2001. Utöver lagring och redovisning av basdata sprids bearbetad information nu genom:

- Internet-tillgänglig hemsida med aggregerad och/eller syntetiserad information
- Rapporter på svenska,
- Posters.
- Vetenskapliga rapporter på engelska
- Symposier/föredrag av olika typ

Rapportering blir aktuell så fort ett delprojekt för begränsad tid skapas. Rapporteringens form bestäms då. Ofta används rapporter på svenska i lämplig institutionsserie el. dyl. (ISSN-nummer krävs). För när-

Tabell 18. Svenska rapporter under arbete i IKEU-projektet samt engelska artiklar skrivna till den internationella limnologiska kongressen (SIL) i Finland i augusti. 2004.

Svenska rapporter:

Borg, H., Edberg, F Sundbom, M. Översikt av äldre data från återförsurningssjöar och vattendrag
Wällstedt, T. Metallhalter i kalkningsmedel använda inom IKEU
Wällstedt, T. Datering av olika djupskikt i sediment från IKEU-sjöar
Bergquist, B. Kontinuerliga temperaturregistreringar i IKEU- och referensvattendrag
Andrén, C.M. Sura episoder och deras konsekvenser i IKEU-vattendrag
Persson, G. Utredning om ett förbättrat IKEU-program (denna rapport)
Östlund, M. Makrofytinventeringar i 9 IKEU-sjöar
Willén, E. Växtplankton i IKEU-sjöar

Engelskspråkiga rapporter:

Borg, H., Wilander, A. WATER CHEMISTRY OF SWEDISH FOREST LAKES – INFLUENCE OF LIME TREATMENT AND ACIDIFICATION
Eriksson, H., Edberg, F. and Borg, H. EFFECTS OF FOREST FIRE AND FIRE-FIGHTING OPERATIONS ON WATER CHEMISTRY AND PHYTOPLANKTON IN LAKE STENSJÖN, SWEDEN
Willén, E. PLANKTONIC ALGAE IN LIMED LAKES COMPARED TO CIRCUMNEUTRAL REFERENCES – SIMILARITIES AND DISSIMILARITIES
Wilander, A. PREDICTIONS OF NATURAL CHEMICAL CONDITIONS IN LIMED LAKES
R.K. Johnson THE LONG-TERM EFFECTS OF LIMING ON LITTORAL MACROINVERTEBRATE COMMUNITIES OF BOREAL LAKES
Holmgren, K. CRITICAL VALUES OF DIFFERENT ACIDITY INDICES – AS EVALUATED BY FISH COMMUNITIES IN SWEDISH LAKES

varande väntas 8 rapporter av denna typ (tabell 18).

Posters framställdes under 2004 för SIL-kongressen i Lahtis i augusti och för Kalkningsmässan i Umeå i september (ca 9 posters)

Till SIL-kongressen framställdes 6 vetenskapliga publikationer som ett delprojekt under den gemensamma rubriken "Integrerad utvärdering av IKEU" (Tabell 18)

Ett internationellt manus om paleolimnologiska undersökningar i 12 IKEU-sjöar är under förberedande.

När det slutligen gäller internet-publiceringen, så är ambitionen att genomföra ytterligare en uppdatering innan det reviderade programmet börjar löpa. Då bör också Kalkningshandbokens terminologi samt de nya kalkningsmålen tillföras. Nästa revidering av projektets hemsida blir aktuell när det nya programmet fastställts. På längre sikt bör sammanfattningar om hela gruppen IKEU-objekt tillföras hemsidan.

I det pågående rapporteringsarbetet finns flera försenade rapporter på svenska som ska publiceras innan det reviderade IKEU programmet beslutas och tas i drift, bl.a. därför att utformningen av det nya programmet kan påverkas av innehållet i rapporterna. Projektledaren har därför i uppdrag att i samråd med rapportansvariga fastställa leveransdatum för alla rapporter. Detta kommer att ske i början av hösten.

Övrigt

Kalkningshandboken anvisar målorganismer eller målsamhällen (bottenfauna) för biologisk effekttuppföljning. Målorganismerna är olika fiskarter samt kräftor och flodpärlmussla. De sägs utgöra indikatorer vilket innebär att andra organismer eller samhällen förväntas svara på liknande sätt. Helst ska hela ekosystemet svara på ett förutsägbart sätt. Underlaget för dessa antaganden har knappast prövats. Vad berättar t.ex. närvaron av mört om resten av ekosystemet? (Mört är den vanligaste målorganismen.)

I IKEU-projektets 6-årsrapport gjordes en ansats att tackla samband inom ekosystemen i sjöarna genom en principalkomponentanalys som omfattade mått på biologisk mångfald för alla samhällen som undersöktes (11 variabler). Den generella slutsats som drogs var att den biologiska mångfalden i IKEU-sjöarna inte uppvisade några tydliga samband mellan olika delar av sjöekosystemet, åtminstone med de använda måtten på biologisk mångfald. Samband fanns dock för vissa grupper som växtplankton, djurplankton, fisk och littoral bottenfauna. De biologiska mångfaldsmåtten visade bara svaga samband med de kemiska omgivningsvariablerna.

Denna analys är långt ifrån fullgånngen, bl.a. ingick ingen analys av referenssjöar och de variabler

som användes utgjorde en blandning av kvantitativa och kvalitativa mått.

Analysprogrammet har nu utvidgats och en metodstandardisering gentemot referensobjekten har genomförts. Frågan om samband inom ekosystemet har dessutom aktualiserats av kalkningshandboken. Tiden är därför mogen för ett mer genomarbetat försök att beskriva samband inom ekosystem och hur en art kan indikera tillstånd i ett ekosystem. En sådan uppgift är inte lätt, och flera försök har gjorts. Den bör penetreras på något läng-

re sikt än övriga delprojekt. En genomgång av tidigare ansatser bör göras.

Kompletterande mätningar kan också krävas trots att IKEU:s mätprogram är ovanligt omfattande. Mätning av stabila isotoper i olika organismgrupper är en sådan tilläggsvariabel som kan spegla näringsrelationer och därmed en viktig del av de samband som råder mellan organismer eller organismgrupper i ett ekosystem. Isotopstudier kan också visa om näringsrelationerna i kalkade sjöar skiljer sig från relationerna i neutrala och sura referenser.

Regionala kalkobjekt med omfattande uppföljning

Inom utredningen om "ett framtida IKEU" har ITM utrett tillgången på regionala objekt lämpade att infoga i IKEU-programmet. Regionala löpande program har bedömts utifrån deras utformning och omfattning jämfört med IKEU:s program.

För att finna information om kalkningsuppföljning har data från DMN kompletterats med dataset från länsstyrelserna. Trots detta saknas äldre uppgifter från vissa län samt nyare uppgifter från andra län. Denna stomme av uppföljningsdata innehåller vattenkemiska data som härrör från drygt 300 000 prov från 18472 "objekt" (figur 20, tabell 19).

Av figur 21 framgår omfattningen av olika vattenkemiska variabler som mätts.

Objekt definieras här som en unik koordinat som kan vara antingen en provtagningsstation eller en sjö. Utöver dessa data har ett dataset med 138 förslag på lämpliga objekt som 1998 levererats från länsstyrelserna bedömts, liksom ett set med 99 paleolimnologiskt undersökta objekt och ett set av 48 objekt med bra övervakning av fiskbeståndet. För dessa objekt finns biologiska undersökningar i varierande grad men i större omfattning jämfört med objekt från DMN.

Ur dessa dataset har objekt lämpliga för IKEU sorterats fram genom att olika egenskaper hos data från enskilda objekt poängsatts:

- Tidsseriens längd
- Provtagningsfrekvens
- Variabelantal
- Förekomst av data före kalkning
- Analys av aluminiumfraktioner
- Analys av Ca, Mg och SO₄ samtidigt
- Analys av närsalter
- Analys av spårmetaller

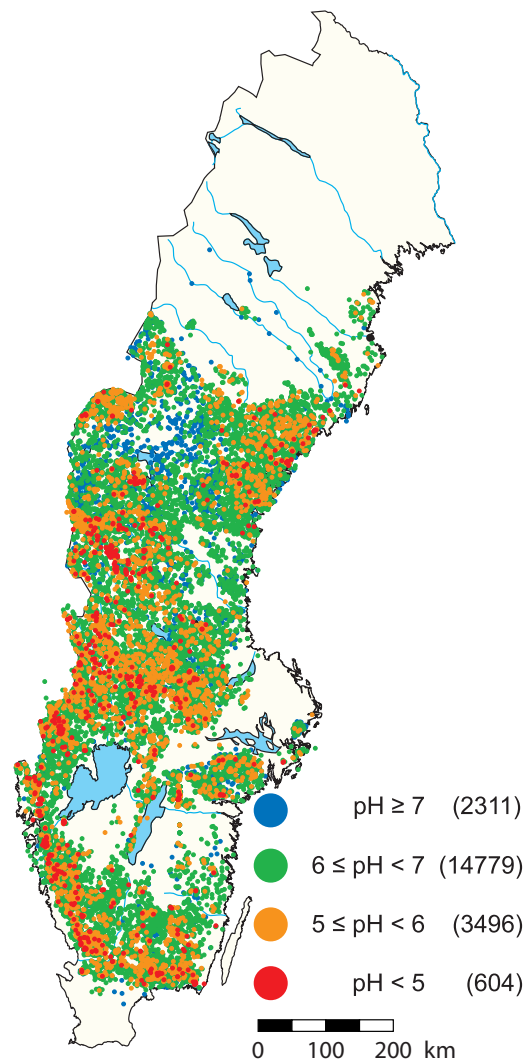
För var och en av dessa variabler gavs noll eller en poäng och summan användes för att upprätta prioriteringslistor inom varje grupp. Av drygt artotusen objekt i DMN-gruppen (tabell 19, figur 22) fick 54 sjöstationer och 112 vattendragsstationer över 5 poäng (av 8 möjliga).

Inom gruppen objekt föreslagna av länsstyrelserna fick endast 4 sjöar och 4 vattendrag en poäng över 5 medan 75 respektive 30 objekt fick en poäng under 2. Den stora mängden mindre lämpade objekt är här anmärkningsvärd.

I gruppen paleolimnologiskt undersökta sjöar fanns 2 sjöar som nådde poängen 3 och även uppgavs ha bra biologiska undersökningar.

Tabell 19. Fördelningen av IKEU-poäng för samtliga regionala uppföljningsobjekt samt för objekt som specialgranskats p.g.a att de anses vara biologiskt eller paleolimnologiskt välundersökta

Poäng	Antal objekt (Totalt)	Föreslagna Objekt
0	7545	12
1	5598	34
2	3307	32
3	1152	23
4	704	11
5	111	5
6	49	2
7	6	1



Figur 20. Samtliga unika provpunkter (18472 st) identifierade inom kalkningsuppföljningen. Provpunktens färg indikerar medel-pH.

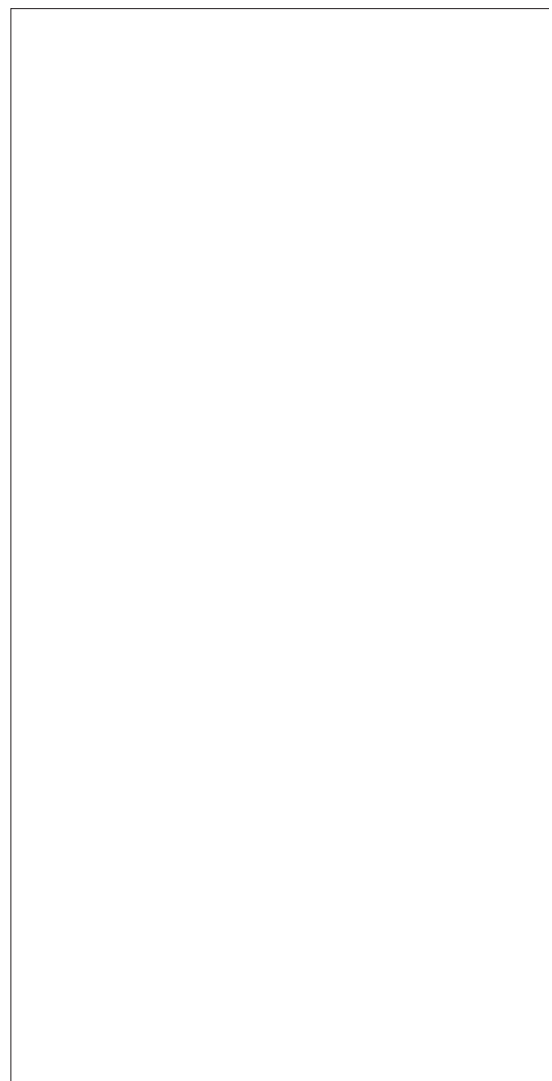
Figur 21. Innehåll och tidsutveckling av den regionala kalkeffektuppföljningen av vattenkemi i sjöar och vattendrag. Stora diagrammet visar totala antalet mätvärden för varje variabel. Det mindre diagrammet visar den kumulativa antalet provtagningar över tiden.

Bland sjöar med bra fiskeuppgifter fanns två som även bedömdes ha bra övriga biologiska data och nådde poängen 3.

Undersökningen pekar således på att det är svårt att hitta objekt som både har paleolimnologisk undersökning, tidigare provfiske och bra övrig biologi medan det är betydligt lättare att finna objekt med bra kemisk uppföljning.

Inför ett ev. urval av objekt återstår nu att baserat på detta material gå vidare med granskning främst av:

- Representativitet – jämföra både med IKEU och den kalkade populationen på det sätt som gjorts i denna rapport, både avseende läge, deposition, klimat, kemi, biologi samt kalkningshistorik.



Figur 22. Objekt med speciellt omfattande information enligt förfrågan till länsstyrelserna 1998, Söt-vattenslaboratoriets uppgifter om bra provfiske samt uppgifter om paleolimnologiskt undersökta sjöar från inst för ekologi och geovetenskap, Umeå.

- Biologi – undersök i detalj den biologiska uppföljningen.
- Regionalt intresse – Beakta regionala intressen och erfarenheter, t. ex. speciella biologiska motiv, logistiska problem, lokal förorening.
- Antropogen försurningskomponent – Innan ett objekt slutgiltigt inkluderas i IKEU bör det utredas om det är antropogent försurat (modeller, paleolimnologi).

Det har ansetts lämpligt att låta vidare utredande om dessa punkter anstå tills hela IKEU-utredningen har presenterats för Naturvårdsverket och en diskussion har förts om vilka nyetableringar som ska prioriteras i den kommande verksamheten.

Slutsatser

I utredningsuppdraget ingick 16 punkter. Dessa, liksom några egeninitierade frågor, har bearbetats med hjälp av tillgängligt material. Slutsatserna redovisas i den givna ordningen.

Naturvårdsverkets utredningsfrågor

1. Representativiteten hos dagens IKEU-objekt i relation till försurningstryck har bedömts genom att sätta objekten i relation till depositionen av försurande ämnen inom landet samt till överskridandet av kritisk belastning. Även överskridanden av kritisk belastning i kalkningsverksamhetens åtgärdsområden har bedömts. Vidare har en trolig alkalinitet i sjöarna utan kalkning beräknats för IKEU-sjöarna. Slutligen har konsekvenserna av den avtagande syradepositionen bedömts.

Det framgår att några nordliga IKEU-objekt redan idag har relativt låg deposition och små överskridanden samt att de inom en tioårsperiod kan komma att ha försumbar syradeposition och överskridande. Vid jämförelse med den kalkade populationen täcker IKEU-objekten hela skalan av överskridanden, vilket bedöms som positivt, medan åtgärdsområdena har sin tyngdpunkt vid låga överskridanden. Trots en viss underrepresentation inom IKEU av obetydligt försurade objekt jämfört med den kalkade populationen föreslås att kalkningen upphör i några IKEU-sjöar (Lien och Källsjön) men att uppföljningsprogrammet ligger kvar. Det finns också anledning att inom kalkningsverksamheten bedöma om kalkningen inom ett antal åtgärdsområden med mycket lågt överskridande ska fortgå.

2. IKEU-objektens representativitet gentemot den kalkade populationen har bedömts vad gäller sjöyta, avrinningsområden och sjöandel för sjöar samt avrinningsområden och målsträckors längd för vattendrag. Jämförelserna visar att IKEU-objekten i huvudsak täcker den spännvidd av fysiska egenskaper som populationen av kalkade objekt har. Möjligheten att provfiska i IKEU-sjöarna sätter dock gränser för största, och i detta fall, framför allt minsta storlek. Det nuvarande undersökningsprogrammet sätter således gränser för hur små sjöar som kan undersökas. Man kan också fråga sig om det är rimligt att så mycket som 25% av målsjöarna har ytor <13 ha och hälften < 30 ha (IKEU-sjöarna är >25 ha).

Vad gäller vattendrag är situationen liknande. Där har mer än hälften av den kalkade populationen

avrinningsområden som är mindre än något IKEU-vattendrag. Även detta är en konsekvens av programmets innehåll som dock inte bör ändras. Däremot kan det finnas motiv (se nedan) att utvidga programmet med både mindre och större vattendrag, kanske med modifierade program. Ser man till den kalkade populationen av relativt små vattendrag kan man diskutera om de minsta, uttorkande och bottenfrysande vattendragen ska kalkas utom i speciella fall.

3. Möjligheten att studera olika pH-mål inom nuvarande basprogram finns för vattendrag där 25% har andra mål än pH=6,0. I ett fall har då en uppjustering gjorts för flodpärlmussla. Däremot har alla sjöar mål-pH=6,0. Ändringar i målen för nuvarande objekt kan knappast göras.

4. Möjligheten att studera biologiska mål och biologi överhuvud taget i nuvarande program är god. Problem finns framför allt med uppföljningen av bottenfauna i vattendrag där programmet nu ses över. Det är också viktigt att ta ställning till om en omläggning från höst till vårprovtagning ska göras eller om prov ska tas både vår och höst (rekommenderas av G. Raddum). I övrigt följs alla målorganismer (enligt Kalkningshandboken) utom flodpärlmussla och kräftor. Flodpärlmussla finns i 3 vattendrag och kräftor i 5 vattendrag och 3 sjöar. För att skapa en uppföljning av dessa populationer föreslås att information om dessa samt de bestånd som följs i kalkningsverksamheten samlas i en kräftdatabas och en pärlmussledatabas. lämpligen i form av två datavärdskap.

I några IKEU-sjöar finns också vissa fiskarter som röding och siklöja (3 resp. 3 sjöar) som är känsliga men inte tas upp som målorganismer i Handboken. IKEU-sjöarna innehåller därigenom också ett större spektrum av olika fisksamhällen än vad som finns i 13 genomsnittliga sjöar i kalkningsverksamheten. Detta bör uppfattas positivt.

5. Möjligheterna att inom IKEU studera olika kalkningsmetoder är goda vad gäller vattendrag eftersom objekturvalet har gjorts för att utvärdera olika spridningsmetoder. Ca 1/3 av har därigenom sjö- våtmarks och doserarkalkning. Detta är dock inte typiskt för kalkningsverksamheten i vattendrag där sjökalkning utgör 2/3 och doserarkalkning 1/10.

I IKEU-sjöarna används de olika metoderna i ungefär i samma proportioner som i kalkningsverk-

samhetens vattendrag, vilket innebär att sjökalkning är underrepresenterat i relation till kalkningsverksamhetens kalkningar som till mer än 80% utgörs av sjökalkningar. De mer jämna proportionerna mellan olika metoder inom IKEU gynnar metodutvärderingar. Samtidigt finns problem som bottnar i att IKEU inte styr vare sig kalkningsmetodik eller dosering i de "egna" objekten. Detta har bl.a. lett till att metoder inte renodlas på önskat sätt samt att de kan ändras med tiden.

6. Möjligheterna att studera överdosering i IKEU-objekten har bedömts genom att först beräkna den arealspecifika dosen i sjöar och vattendrag samt jämföra med kalkningsverksamheten (obs endast målområden). IKEU-objekten visar sig då ha högst hälften så hög dosering som objekten med högst dosering i kalkningsverksamheten. Bland IKEU-objekten kan dock Stora Härnsjön betraktas som överkalkad.

I kalkningsverksamheten finns en grupp objekt (3870 sjöar, 1290 vattendrag) som enbart är åtgärdsobjekt och tjänstgör som kalkdepåer för nedströms målobjekt. Vattenkemisk uppföljning från dessa (ofta styrpunkter) redovisas inte, men data från dessa objekt kan i många fall antas peka på överkalkning och bör undersökas regionalt och nationellt. Det är mycket angeläget att denna kunskapsbrist undanröjs genom en snabb datainsamling. Uppgiften bör vara en del av IKEU och bör, när statistiken insamlats leda till biologiska undersökningar i redan överkalkade objekt eller hellre i experimentellt överkalkade objekt med syfte att avslöja ev. biologiska effekter av överkalkning.

7. Möjligheter att studera sura episoder anses finnas på 5 stationer i IKEU-vattendragen och dessa har fått en högre provtagningsfrekvens under vinter och vår (Appendix 3). Förekomsten av surstötar har också undersökts under vårisen i IKEU-sjöarna V. Skälsjön och Bösjön, där en sur episod påvisades i den senare. Dessutom förekommer enligt basprogrammet tillfälligt surt vatten framför allt i Nedre Särnamannasjön samt vid ett fåtal tillfällen i Gyslättsjön, Stensjön och Ejgdesjön.

Surstötsproblemet är viktigt, speciellt i kalkade vatten, och data från provtagningar med korta tidsintervall bör samlas in för vidare utvärdering.

Möjligheten att arbeta med pH-loggers bör också undersökas.

Insamling av äldre litteratur om problemet är också angelägen.

8. Möjligheterna att studera aluminium är goda

inom nuvarande basprogram där olika Al-fraktioner studerats sedan 1990. Provtagningarna sker också med högre frekvens i vattendrag med surstötsproblematik. Halterna följs också i sjöar och vattendrag som ingår i återförsurningsprogrammet. Dessutom har Al-halter mätts i fiskgälar från några vattendrag med intensivare surstötsprovtagning. Förhöjda halter av oorganiskt aluminium har vid enstaka tillfällen påträffats i de undersökta vattnen, speciellt i återförsurningsvattnen. Höjda Al-halter har också påträffats i två av de undersökta vattendragen. Aluminiumundersökningarna är värdefulla och kan också bidra till att sätta Al-normer. I ett utökad program bör sådana ingå, dock ej i överkalkade vatten.

9. Frågan om vilka kriterier som ska tillämpas vid avslutande av kalkning har inte specialbehandlats inom IKEU. Frågan behandlas av den grupp som reviderar Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för försurning. Inom IKEU finns beredskap att beskriva kemiska återhämtningsförlopp med MAGIC-modellen men samtidigt en viss skepsis mot precisionen i de resultat som modellerandet kan ge.

Förändringsbehov

10. Ett behov av programförändringar för kalkade objekt framgår av ovanstående. Basprogrammet inom dagens IKEU föreslås bli delat i en del där nuvarande basprogram fortsätter som nu samt en del där kalkning avbryts men uppföljningsprogrammen ligger kvar för att följa förloppet. Data används för att belysa vilka indikationer som är mest användbara för att avgöra när kalkningen av ett objekt kan kraftigt reduceras eller upphöra.

En sammanvägd bedömning pekar på att Lien och Källsjön är de sjöar där kalkningen kan reduceras eller upphöra i en nära framtid. De föreslås tillsammans med de återförsurningsobjekt som ingår i projektet bilda ett särskilt delprojekt inom IKEU.

En komplikation ligger i att målområden både uppströms och nedströms kan göra det svårt att reducera kalkning i ett enskilt objekt. En annan komplikation är att projektet aldrig styrt kalkningsverksamheten i objekten och därför behöver stöd av kalkningsansvariga på alla nivåer för att genomföra förändringar.

Fyra norrländska vattendrag har också diskuterats vad gäller neddragning av kalkningen men indikationerna på att de har en försurbar antropogen försurning är oklara och man bör därför avvakta med kalkningsreduktionen.

I utredningen påtalas att IKEU-objekt med försurbar antropogen försurning i norra och mellersta

Sverigesuccesivt kommer att utgå ur IKEU:s basprogram. Ersättningsobjekt bör hämtas i Blekinge, norra Skåne, Västra Götaland och Värmland och ha en säkerställd antropogen försurning. I ett reviderat basprogram bör man också sträva efter att få fler pH-mål representerade, speciellt bland sjöarna. Objekt som ska komma ifråga bör finnas i ITM:s utredning.

Nyetableteringar i vattendrag kan gälla både större och mindre vattendrag än de nuvarande och bör bland annat sökas bland sådana som tidigare ingick i IKEU-projektet samt i ITM:s utredning. Alla nya objekt bör vara lämpade för surstöts- och Al-undersökningar.

Som en särskild ny del av IKEU-projektet bör kemisk-biologiska undersökningar startas i överkalkade sjöar med högt pH. Mätta pH och alkalinitetsvärden bör först insamlas från denna typ av sjöar (saknas nu centralt) och monitoring av IKEU-typ startas i representativa sjöar som sedan länge varit överkalkade. Alternativt genomförs en experimentell "överkalkning" och förändringarna följs från start i en depåkalkad sjö med överkalkning (alkalinitet > 0,5 mekv/l). Dessa undersökningar måste prioriteras, dels av naturskyddshänsyn, dels med hänsyn till att överkalkning kan komma att kräva åtgärder enligt Ramdirektivet för vatten.

Betydelsen av kalkningstidpunkt bör också utredas vilket både kan göras med experimentella sommarkalkningar och med litteraturstudier.

11. Bland okalkade objekt i IKEU-projektet finns också förändringsbehov. Okalkade referenser finansieras dels inom kalkningsverksamheten dels inom Naturvårdsverkets miljöövervakningsanslag. I det senare programmet kan förändringar komma att ske år 2006. Eftersom IKEU-programmet fastställs 2005 kan ev. förändringar i miljöövervakningsprogrammet inte beaktas nu, men en viss beredskap för förändringar måste finnas. Bland referenssjöarna finns två (Abiskojaure och Jutsajaure) som ligger norr om försurningsområdets utbredning i Sverige och vars nytta för programmet kan ifrågasättas. Eftersom Jutsajaure finansieras inom IKEU skall i första hand dess nytta bedömas. Om programmet i Jutsajaure fasas ut bör den ersättas av en sur referenssjö i södra Sverige där ett återhämtningsförlopp från antropogen försurning kan följas.

Vad gäller referensvattendrag finns inga problem med det geografiska läget, däremot har länge funnits önskemål om fler referenser. Detta blir mer accentuerat om antalet kalkade vattendrag i programmet utökas. De nya referenser som i så fall tillförs ska också vara lämpade för undersökningar av surstötar och aluminium.

Surstötsproblematiken har påtalats som ett stort

nutida och framtida problem. Sura episoder uppträder både i okalkade och kalkade objekt. För att bättre kunna beskriva och förstå surstötar föreslås att både okalkade och kalkade vattendrag analyseras parallellt, men med företräde för okalkade vattendrag. Data måste inhämtas från alla tillgängliga aktuella register, ej enbart inom IKEU. Analysdata måste också omfatta variabler som gör det möjligt att bedöma hur stor del av surheten som har antropogen ursprung.

I en därpå följande fas görs motsvarande utredning för sjöar.

Erfarenheterna från Grimstadsymposiet visar att uppföljningen av "recovery" i sura referensobjekt med avklingande försurning inte har fått tillräcklig uppmärksamhet i IKEU-projektet som till stor del koncentrerats på uppföljning av kalkade objekt. En etablering av nya referenssjöar som fortfarande är sura skulle öka möjligheterna till sådana undersökningar (ev. utbyte av Jutsajaure enligt ovan). Önskemål finns därför att komplettera de nuvarande 5 sura referenserna med ytterligare några sjöar som länge varit sura. Där kan återhämtningsstudier genomföras.

12. Aktiviteterna inom IKEU samlas i basprogram, specialprogram och utvärderingar. I basprogrammet ligger delprojekten vars förändringsbehov bedömts. Delprojekten föreslås bli i huvudsak oförändrade. Skall Kalkningshandboken följas bör all bottenfaunaprovtagning flyttas från höst till vår (med provtagning både höst och vår under några övergångsår). En sådan övergång minskar emellertid möjligheterna att nyttja referenserna i den nationella miljöövervakningen samt riksinventeringen som båda har höstprovtagning. Valet av höst- ELLER vårprovtagning eller vår OCH höstprovtagning lämnas tills vidare öppet.

Bottenfauna i vattendrag bör provtas med Surberhämtare kompletterad med sökhävning.

Representativiteten för bottenfauna provtagen på en station i en sjö i relation till faunan i hela sjöns strandzon föreslås undersökas i specialprojekt.

Specialundersökningen av surstötar bör inlemmas i IKEU:s basprogram och utvidgas till nya objekt samtidigt som externa surstötsdata utvärderas i ett specialprojekt.

Som nya delprojekt föreslås övervakning och utvärdering av kräftor och flodpärlmusslor både inom IKEU och nationellt.

13. Förändringsbehovet vad gäller metodik och artlistor är just nu litet. Projektet har varit i drift perioden 1989-04 och under 15 år har många metoder modifierats. Detta sker normalt som ett led i en allmän utveckling och genomförs ofta parallellt i den

nationella miljöövervakningen. Inom IKEU har dock byte av utförare och metod skett vid fler tillfällen än inom t. ex. miljöövervakningen. Övergångsproblemen har i de flesta fall varit måttliga men krävt stora insatser framför allt för bottenfauna i vattendrag.

När metodik för bottenfaunan i vattendrag bestämts finns inga förändringar i parameterval eller analysmetodik aviserade för de närmaste åren.

Vad gäller artbestämning och rapportering följs de standardartlistor som datavärdena utnyttjar för växt- och djurplankton. Makrofyttartlistor följer de som anges i Bedömningsgrunder för sjöar och vattendrag. Bottenfaunaartlistor följer i databasen datavärdens lista och kan vid uttag konverteras till den lista som anges i Bedömningsgrunder för sjöar och vattendrag. Inga förändringsbehov finns i hantering av artlistor.

14. Behovet av förändrad provtagning har tidigare bedömts och bör inte föranleda några ändringar. Nuvarande provtagningsfrekvens kan betraktas som etablerad. Endast bottenfaunaprovtagningarnas förläggning till höst och/eller vår återstår att ta ställning till. Detta gäller av symmetriskäl även miljöövervakningens bottenfaunaprovtagning.

15. Datalagring inom IKEU sker primärt hos de nationella datavärdena och data är tillgängliga via internet. Mätvariabler som saknar datavärd lagras inom projektet (t.ex. metaller i sediment). Den årliga dataproduktionen sammanställs dessutom på en CD-skiva som sprids till uppdragsgivare och medverkande. Där ingår också data från perioden före projektets start samt filer som bildar projektets hemsida. Inom denna typ av datalagring finns inga behov av förändring.

Inrättandet av ytterligare datavärdskap för kräftor och flodpärlmusslor förordas.

Även för den del av hela den nationella kalkningsverksamheten som rör effektuppföljning föreslås att ett nationellt datavärdskap byggs upp. Leverans till detta datavärdskap måste vara obligatorisk och registret bör vara tillgängligt via internet. De nya vattenmyndigheternas ev. roll som registerhållare måste också beaktas.

Data som insamlas nationellt vid produktion av åtgärdsplaner och liknande måste också vara så standardiserade att en nationell databas kan skapas av levererade data.

16. Behoven att förändra rapportering från projektet är relativt små. Inom projektet finns en informationskedja av internet-hemsida, svenska rapporter, symposiumskrifter (engelska), Posters (engelska

+svenska) och vetenskapliga rapporter (engelska). Den del av rapporteringen som avser kontakter med kalkningsverksamhetens personer vid symposier etc. har byggts ut under senare år och kan ytterligare utvidgas. För att förbättra informationen till personer i den operativa kalkningsverksamheten bör även ett informationsblad produceras.

Egeninitierade frågor

A. Möjligheten att klassificera IKEU-sjöar enligt Ramdirektivet för vatten har bedömts med ett förslag till klassifieringsystem (Appendix 1). Av bedömningen framgår att både referenssjöar och IKEU-sjöar fördelar sig på ungefär samma sätt i klasserna vilket är gynnsamt när avvikelser mellan IKEU-sjöar och referenser skall bedömas.

Det är vidare av intresse om kalkningsverksamhetens sjöar faller i samma klasser som IKEU-sjöarna vilket skulle göra det möjligt att använda IKEU-sjöarna som representanter för kalkningsverksamhetens sjöar. Denna fråga kan dock inte nu besvaras med tillgängliga data från kalkningsverksamheten utan en bedömning får anstå. Eftersom alla sjöar skall klassificeras och bedömas måste även de förrådskalkade åtgärdssjöarna klara kravet att uppvisa obetydlig avvikelse från referensförhållanden.

Det är också viktigt att notera att bland de kvalitetsfaktorer som ska bedömas ingår mikrofytbenthos, d.v.s. påväxtalger. Detta är den enda kvalitetsfaktor enligt Ramdirektivet som saknas i IKEU-objekten. Den bör infogas i programmet.

B. Effekterna av återförsurning har beskrivits i ett särskilt delprogram inom IKEU där monitoring av IKEU-modell bedrivs i två sjöar i Tyresta (Trehörningen och Långsjön) och i Hammarbäcken i Lofsdalen. Vidare har en ökning av metallfastläggnings i sediment i kalkade sjöar undersökts.

Den monitoring som bedrivs har betydelse för att bedöma värdet av olika kriterier för att sluta kalka. Delprojektet är dock för litet för att verksamt bidra till att finna bra kriterier. Återförsurningsprojektet föreslås därför uppgå i ett större delprojekt dit två andra sjöar med kraftigt reducerad eller avslutad kalkning förs från basprogrammet (se ovan).

C. Möjligheten att beskriva surhetshistoria finns inom IKEU eftersom de paleolimnologiska undersökningarna nu avslutats. Tidigare har alla mätdata insamlats. De paleolimnologiska resultaten är delvis kontroversiella med indikation på modern surhetsökning i bara sex av 12 sjöar och med en största pH-skillnad mellan uppmätt pH och rekonstruerat pH på 2 pH-enheter. Resultaten måste noggrant

utvärderas bl.a. för att avgöra hur pålitlig den paleolimnologiska indikationen på modern försurning är, bl. a. eftersom den är tänkt att ingå som urvalshjälpmedel för att finna nya kompletteringsdjör lämpliga för IKEU:s basprogram.

D. Bland övriga kunskapsbehov som nämns i utredningen finns användningen av indikatororganismer som förutsätts spegla tillståndet i hela ekosystemet. Vad berättar t.ex. närvaron av mört (den

mest frekvent använda indikatorn) om hela ekosystemet?

En ansats för att belysa dessa frågor gjordes i projektets 6-årsrapport 1996. Nu finns bättre förutsättningar att genomföra en sådan analys. Problemet är en utmaning och bör bedömas på något längre sikt. Kompletterande mätningar kan också krävas. Bland annat kan en kartläggning av näringskedjor med hjälp av stabila isotoper bli aktuell.

Appendix 1.

Typklassning av IKEU-sjöar och referenser enligt ramdirektivets "System B"

Tabell 1. Föreslagen indelning i sjötyper enligt Vattendirektivets "System B" samt använda klassgränser.

Ecoregion/altitude	Lake Mean Depth	Lake Area	Geology
Borealic Upland	< 3 m	<0.5 km ²	Siliceous
Fenno-Scandian Shield > 200 m.a.s.	> 3 m	0.5 - 2 km ²	Organic (AbsF420/5 > 0.06)
Fenno-Scandian Shield < 200 m.a.s.		2 - 10 km ²	Calcareous (Ca > 0.5 meq/l)
Central Plain			Mixed calcareous and organic

Tabell 2. Typplacering av 15 intensivundersökta referenssjöar i ett föreslaget klassificeringssystem enligt "System B" i Ramdirektivet för vatten. Sjöarna är: 1 Stensjön, 2 Stengårdshultasjön, 3 Gyslättasjön, 4 Gyltigesjön, 5 Stora Härsjön, 6 Ejgdesjön, 7 Långsjön, 8 Lien, 9 Västra Skålsjön, 10 Nedre Särnamannasjön, 11 Tryssjön, 12 Bösjön, 13 Källsjön.

Ecoregion	Depth	Lake Area	Geology			
			Siliceous	Organic	Calcaerous	Org. + Calc.
Borealic uplands	Shallow	S	10			
		M				
		L				
	Deep	S				
		M				
		L				
Fenn-Scand. >200m	Shallow	S				
		M				
		L				
	Deep	S	9	11, 13		
		M		8, 12		
		L				
Fenn-Sand. ≤200m	Shallow	S				
		M				
		L				
	Deep	S				
		M				
		L				
Central Plain	Shallow	S		3		
		M				
		L				
	Deep	S		1, 4		
		M	6	7		
		L	5	2		

I ett förslag till typologi enligt "system B" för svenska sjöar använder sig Fölster et al (2003) en indelning baserad på 4 ekoregioner, 2 djupklasser, 3 sjöareaklasser och 4 geokemiska klasser. Willén och Larsson (2004) har senare lagt till en storleksklass med små sjöar samt en klass med sjöar på över 800 m höjd. Klassgränser framgår av tabell 1. Förslaget är baserat på de olika grupper av egenskaper som ska beaktas enligt "System A" men klassantal

och klassgränser har modifierats vilket tillsammans ger färre typer. Fölster et al (2003) påpekar att antalet typer bör ytterligare reduceras genom hopslagning samt klassgränser justeras. Här har IKEU-sjöar typbestämts enligt tabell 2 och referenssjöar enligt tabell 3. Idealt bör IKEU-sjöar gå in i samma typer som referenserna och skillnaden mot referenserna vara liten för att IKEU-sjöarna ska bedömas ha "good ecological quality". Vid

en första jämförelse mellan sjögrupperna framgår att de fördelar sig på samma två ekoregioner. Vad gäller djupgruppering liknar sjögrupperna varandra men då der gäller areaklassificering är referenssjöarna mindre än IKEU-sjöarna. Dessa är dessutom brunare än referenssjöarna.

I sak är allt detta känt sedan tidigare. Vid all klassificering är det av betydelse var klassgränser läggs

och denna indelning i typer kan i själva verket separera sjöar på ett "obiologiskt" sätt. Vill man nå längre i en jämförelse mellan sjögrupperna bör man återgå till kontinuerliga skalor för de föreslagna variablerna. Vill man gå vidare i bedömning av likheter och olikheter mellan sjögrupperna kan också andra variabler ingå; sådana som kan vara mer biologiskt relevanta.

Tabell 3. Typplacering av 15 intensivundersökta referenssjöar i ett föreslaget klassificeringssystem enligt "System B" i Ramdirektivet för vatten. Sjöarna är: 1 Brunnsjön, 2 Stora Skärsjön, 3Fiolen, 4 Allgjuttern, Härsvatten, 6 Fräcksjön, 7 Rotehogssjön, 8 Älgsjön, 9 Stora Envättern, 10 Övre Skärsjön, 11 Övre Särnamansjön, 12 Stensjön, 13 Remmarsjön, 14 Jutsajaure, 15 Abiskojaure.

Ecoregion	Depth	Lake Area	Geology			
			Siliceous	Organic	Calcaerous	Org. + Calc.
Boreal uplands	Shallow	S				
		M				
		L				
	Deep	S				
		M				
		L				
Fenn-Scand. >200m	Shallow	S	11			
		M		14		
		L				
	Deep	S				
		M	15	10,12,13		
		L				
Fenn-Sand. ≤200m	Shallow	S				
		M				
		L				
	Deep	S				
		M				
		L				
Central Plain	Shallow	S		8		
		M				
		L				
	Deep	S	2,4,5	1,6,7,9		
		M	3			
		L				

Appendix 2

Provfisken, pH-mål, kalkningsmotiv i IKEU-objekt

Basdata om provfisken, kalkning, pH-mål, tidigare pH samt motiv för kalkning. D=doserarkalkning, V=våtmarkskalkning, S=sjökalkning

Namn	Första provfiske *	Antal fisken	Kalk metod	Första kalkning	pH-mål	Bakgr-pH	pH före kalkning(1)	Motiv
Stensjön	19890824	15		1978	6,0	5,5 (5,1)	<5	Studieobjekt, Hg, bottenfauna
Gyslättasjön	19830830	17		1985	6,0	4,5	<4,5	"Fritidsfiske; gädda abborre mört."
Gyltigesjön	19710810	24		1982	6	5	<5,5	Mört, friluftsliv
Stora Härnsjön	19710726	20		1977	6	4,2	<4,5	Abborre, gädda, ål, siklöja, öring
Ejgdesjön	19900809	13		1974	6	4,5	<5	Abborre, öring, ål, vattenberoende fågel
Stengårdshultasjön	19850709	17		1981	6,0	.	<5	Sjölevande öring, häckande fiskgjuse och storlom, upplåtet fritidsfiske
Långsjön	19890807	15		1987	6,0	5,4	5	IKEU, Mört
Lien	19840730	17		1983	6,0	5,8-6,1	5,5	Öring, Glacialrelikta kräftdjur. Flodkräfta med fungerande reproduktion
Västra Skålsjön	19830712	17		1975	6,0	5,7-6,4	<4,5	Fritidsfiske, röding, öring
Tryssjön	19840723	17		1981	6,0	4,2	<5	Öring Elritsa
Bösjön	19830718	17		1983	6,0	5,8	<6	Röding Elritsa
Nedre Särnmanssjön	19920728	11		1972	6,0	4,3	<5	Röding
Källsjön	19870720	16		1984	6,0	5,4	<5	IKEU
Strönhultsån (Tosthultsån)	1990	32	D	1983	6,0	4,9	5	Flodkräfta öring2, O.P.3
Håstgångsån	1985	43	V	1988	6,0	.	5,8	Strömstationär öring
Blankan	1989	33	D	1987	6,0	4,8	4,6	Öring, elritsa
Lillån	1991	36	V	1991	6,0	5,2	4,7	Öring, elritsa
Storselsån	1995	23	S	1984	6,2	5,9	6	öring, mört, flodpärlmussla, utterförekost, fiske - mindre viktig
Hovgårdsån	1989	23	D	1985	6,0	5,4	5,3	Öring, elritsa, Ibisja marginata, Margaritifera marginata
Ådalsån	1984	86	V	1987	6,0	4,7	4,7	öring, utterförekost, fiske - viktig
Arån	1992	26	D	1993	6,3	5,9 (4,3)	5,3	Vandrande öring, Röding, Märlkräftor
Källsjöån	1990	28	V	1984	6,0	4,9	4,8	Naturlig stationär öring
Enångersån	1995	26	D	1985	6,0	4,9	5,4	Flodpärlmussla, naturlig stationär öring
Haraldsjöån	1984	50	S	1983	6,0	?	4,1	Haraldsjön (663345-148355/Sandån) ej med i mållin.
Skuggälven	1974	64	S	1974	5,6	4,5-5,0	4,2	Havsöring, strömlevande öring, insjööring

* Fetstilt: provfiske utfört före kalkning

(1) Persson & Wilander 2002

Appendix 3

Programmschema 2004

Appendix 4

Slutsatser och forskningsbehov presenterade i litteraturöversikter om effekter av återförsurning (Lydersen och Löfgren 2000, Andersson et al. 2002)

Slutsatser

- En avslutning av kalkningsåtgärderna kommer i många sjöar att leda till återförsurning i varierande grad beroende av den aktuella sjöns belastningssituation och tillämpad kalkningsstrategi. Sålunda finns det ca. 4000 sjöar där pH skulle komma att bli lägre än 6 och ca. 1700 sjöar där pH i slutskedet skulle komma att understiga 5,4. Detta trots att den försurande svaveldepositionen har minskat mycket kraftigt (> 60 %) sedan slutet av 1980-talet.
- Nära hälften av antalet kalkade sjöar (3500 sjöar) med från början måttligt eller ringa kalkbehov kommer med hänsyn till den pågående minskningen av belastningen inte att återförsuras, d.v.s. pH förblir > 6,0. En del av dessa sjöar och framförallt vattendrag kommer dock att temporärt kunna påverkas av surstötter varvid dock effekterna mestadels kan förväntas bli måttliga.
- Återförsurningen kommer att förlöpa som en reversering av den vanligen positiva utveckling som kalkningen medfört, vilket innebär att känsliga arter ånyo kommer att minska och slutligen försvinna med mer eller mindre omfattande förluster av biologisk mångfald som resultat.
- Skador på nyckelarter som fisk kommer att påskynda de negativa förändringarna genom att predationen minskar, och därmed förändras regleringen inom ekosystemet.
- I system där kalkningen relativt nyligen är påbörjad och återhämtningen är ofullständig, kan slumpartat en negativ utveckling ske p.g.a. brist på intern stabilitet. Sannolikt förblir sådana effekter relativt kortvariga men risken för att det negativa ekosystemet stabiliseras är inte möjlig att förutse.
- Den stora hastigheten varmed återförsurningen kan ske, riskerar i starkt belastade sjöar att medföra stora biologiska förändringar och särskilt i sjöar där återhämtning efter kalkning är ofullständig.
- Det finns indikationer på att metallhalterna i vattenfasen under vissa förhållanden kan öka som följd av utlakning från sedimenten. Omfattningen av denna metallutlösning är dock oklar, d.v.s. det är inte klart vilka sjöar som skulle komma att drabbas mest. Störst är dock risken i starkt försurade sjöar som har kalkats under lång tid och som ligger inom hårt försurningsbelastade regioner.
- Aluminium är den metall som är viktigast att följa upp i samband med avslutad kalkning, speciellt i vatten med låga humushalter
- Kvicksilverbelastningen i fisk kan åter öka i sjöar som återförsuras till nivåer där genomgripande förändringar av näringsväven i ekosystemet sker.
- En återförsurning inom större områden kommer p.g.a. lokalt ”utdöende” av vissa känsliga organismer att försvåra och fördröja en återhämtning av ekosystemen i en framtid då försurningsbelastningen generellt nått under den kritiska belastningen.

Behov av forskningsinsatser om återförsurning

Större förändringar i kalkningsverksamhetens omfattning vilka kan medföra återförsurning måste följas upp genom kemiska och biologiska monitoringprogram. Detta är viktigt både för att få nödvändig kunskap för det framtida återhämtningsförloppet och för att kunna minimera skador i nuläget. Det samlade kunskapsunderlaget om effekter av återförsurning är begränsat. Det härrör dessutom i huvudsak från starkt försurade sjöar i vilka noterade effekter som följt i samband med återförsurningen kanske inte är helt generaliserbara. Därför föreslogs i utredningarna att följande punkter bör beaktas i ett nytt forsknings- och uppföljningsprogram:

- Samband mellan toxicitet, oorganiskt Al och TOC
- Samband mellan toxicitet, oorganiskt Al och ANC respektive alkalinitet.
- Orsakerna till negativa samband mellan pH och bly i svenska sjöar.
- Effekter av återförsurning studeras i långvarigt kalkade vatten (15 - 20 år) både mer detaljerat (forskningsprogram) och på monitoringbasis.
- I dessa studieobjekt bör också studeras hur den biologiska strukturen förändras och hur detta påverkar kvicksilverhalten i fisk och andra organismer vid återförsurning.
- För att detaljstudera de biologiska interaktionerna i samband med återförsurning och för att kvantifiera omsättningen av aluminium, tungmetaller och närsalter medelst massbalansmetodik bör mer omfattande forskningsprojekt startas i några lämpliga sjösystem.
- Slutligen bör genomföras undersökningar (värdering) av olika metoder för att undvika negativa effekter av surstötter i sjöar och vattendrag där kalkning upphör, och där försurningen initialt var måttlig.

Appendix 5

Återhämtning från försurning, utdrag ur workshop-rapport

Workshop on Models for Biological Recovery from Acidification in a Changing Climate
9-11 September 2002
Grimstad, Norway

Objectives

The workshop had the following objectives:

1. examine evidence to date for biological recovery
2. identify factors affecting biological recovery
3. identify reference conditions and recovery targets
4. point to possibilities for predicting future recovery

Topics

The workshop discussed the following topics:

1. empirical data from monitoring
2. empirical data from liming
3. empirical data from large-scale experiments
4. role of episodes
5. reference conditions
6. climate change and other confounding factors
7. modelling biological recovery

Results and discussion

From the presentations and ensuing discussion some theoretical considerations were raised related to biological recovery in acidified waters:

1. There exists no theoretical basis to predict recovery.
2. The null hypothesis is: recovery is reverse of acidification.
3. Acidification (and recovery) is likely to be unique (i.e. each stream/lake unique).
4. At present there are no examples of return to an anticipated pre-acidification community.
5. Acidification is ecosystem disturbance, and disturbance always lowers diversity.
6. Biological recovery will occur in irregular steps.
7. Biological systems will always change with time, thus the recovered state is not necessarily the same as the pre-acid condition, but functionality should be restored.
8. The process has hysteresis (acidification path differs from the recovery path).
9. Episodes cause false starts with multiple recolonisations.

Empirical data were presented from various areas in Europe and North America. The examples included:

1. Canada, Sudbury lakes: invertebrates, fish
2. Finland, lakes: fish
3. Sweden, lakes: fish
4. Germany, streams: invertebrates
5. Norway, lakes: zooplankton, fish
6. Norway, streams: invertebrates, fish
7. UK, lakes: diatoms

From these and other data a generalised picture emerged. Once the chemical threshold is reached, lag times might be:

1. algae: 1-2 years
2. macroinvertebrates: 1-3 years
3. zooplankton: 3-7 years
4. fish: 2-20 years

Lag time apparently increases with higher trophic level. Changes or instability at the higher trophical level (i.e. in the fish community) may affect lower levels for a longer time period than indicated by the generalised picture.

Biological recovery is characterised by:

1. bottlenecks due to dispersal (=arrival factor)
2. bottlenecks due to interactions with other biological groups (=survival factor)
3. dispersal mechanisms affected by stream/lake characteristics (size, morphology, distance from refuge, etc.)
4. episodes cause false starts, multiple recolonisations
5. dispersal and recolonisation dependent on life style and cycle (resting eggs, flying, size etc.)

The term recovery implies the knowledge of a pre-acidification target, a reference condition or expectations based on regional distribution. In theory recovery can be measured by the progress towards pre-acidification state or an expected state once the acidification stress is removed. There are several approaches available to estimate the reference condition.

1. time: what was pre-acidification condition (historical measurements, paleolimnological evidence from sediments)
2. space: otherwise similar sites in low deposition areas
3. time-space: use analogue matching of paleo-data to match sites in space

If the defined target is not achieved, this could be due to one or more factors:

1. deposition not zero
2. irreversibility
3. boundary conditions changing (=confounding factors -- land-use, climate change, other pollutants)
4. wrong expectations

Finally the way forward with modelling biological recovery was discussed at the workshop. Static methods are already in use, such as statistical models (i.e. Raddum's invertebrate index) and probability (risk) models (i.e. trout in Norwegian lakes).

Dynamic models that can predict biologically related lag-times have not yet been developed. A possible way forward would be to use output water chemistry from MAGIC (or similar model) as input for biological models. The various biological models could be constructed for individual groups of organisms and run independently (and concurrently). Sufficient knowledge and data for testing are available for dynamic model of brown trout in Norwegian lakes, invertebrates in streams and diatoms in lakes.

Extensive data are also available for other groups such as zooplankton in lakes, but here the modelling appears to be more complicated due to trophic interactions. The zooplankton, for example, will be strongly influenced by presence/absence of fish, and thus one may wish to use a fish model first as a pre-requisite for a general zooplankton model. On the other hand, environmental authorities may be more interested to know if the water quality is good enough to support an expected zooplankton community rather than "knowing" the exact composition of the whole biological community.