



# Effekten av Grovkalk

## som kalkningsmedel i sjöar

Vattenkemiska resultat från fyra till elva års uppföljning av sjöar  
kalkade med grovkalk.



# Innehåll

---

## Sammanfattning

### 1. Inledning

|                              |   |
|------------------------------|---|
| 1.1 Bakgrund                 | 1 |
| 1.2 Syfte                    | 2 |
| 1.3 Produkten grovkalk       | 2 |
| 1.4 Produkten GX-kalk        | 2 |
| 1.5 Produkten Bulkltoftakalk | 3 |

### 2. Metoder

|                                           |   |
|-------------------------------------------|---|
| 2.1 Kalkningar                            | 4 |
| 2.2 Transport- och upplösningsberäkningar | 4 |
| 2.3 Profilprovtagning i St Trännsjön      | 6 |

### 3. Resultat och diskussion

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 3.1 pH och alkalinitet               | 7  |
| 3.2 Uttransporterad och upplöst kalk | 9  |
| 3.3 Modellsimuleringar               | 13 |
| 3.4 Profilprovtagning i St Trännsjön | 13 |

### 4. Slutsatser

14

### 5. Rekommendationer

14

### Erkännanden

15

### Referenser

15

### Bilagor

1. Kartöversikter med försöksytornas geografiska läge.
2. Kartor över St Trännsjön.

## SAMMANFATTNING

Problemen med damning och vindavdrift vid helikopterkalkning med torrt kalkstensmjöl är väl kända inom kalkningsbranschen. Redan 1992 beskrevs i en rapport att så mycket som 50% av den spridda kalken kan driva iväg och inte komma det avsedda kalkningsobjektet tillgodo. Vindavdriften orsakar estetiska problem i omgivningen och påverkan på vegetation men innebär också en ekonomisk förlust då kalkningens effekt blir lägre.

I syfte att finna en alternativ produkt för att eliminera damningen kalkades 2004 tre sjöar på försök med granulerad kalk och tre sjöar med (våtmarks-) grovkalk, två produkter vilka dammar obetydligt vid spridning. År 2006 utökades försökskalkningarna med ytterligare sex sjöar i vilka ytterligare två grova kalkprodukter spreds, GX grovkalk och vattenverkskalk från Bulltofta vattenverk. Två av dessa sjöar omkalkades 2011. År 2010 kalkades St Trännsjön med GX grovkalk inom ramen för det av Falkenbergs kommun drivna EU-projektet LNS (Living North Sea). Efter att uppföljningen inom LNS upphört togs uppföljningen av St Trännsjön in i försöksverksamheten för utvärdering av grovkalkers effekter i sjöar. I St Trännsjön togs prov på bottenfaunan vid två tillfällen inom ett område på sjöbotten kalkat med förhöjd arealdos. Profilprovtagning utfördes i St Trännsjön vid två tillfällen varvid Ca-halter, pH och alkalinitet analyserades.

Föreliggande rapport behandlar effekterna under 4-11 år efter kalkning med de grova kalkprodukterna (våtmarks-) grovkalk, GX-kalk och Bulltoftakalk. Resultaten visar att de grova kalkprodukterna löste sig långsammare och något sämre än kalkstensmjöl. Kalkningseffekten med avseende på pH och alkalinitet var jämnare och uppvisade en bättre varaktighet än i mjölkalkade sjöar. Modellsimuleringar visar att grova kalkprodukter ger jämnare neutralisationseffekter än kalkstensmjöl och att de periodvis höga halttillskotten reduceras i jämförelse med kalkstensmjöl.

Vid övergång från spridning av kalkstensmjöl till grovkalkmedel rekommenderas årlig kalkning med oförändrad giva. Eventuellt kan dock en extra års giva kalk spridas för att erhålla effektneutralitet under de första åren.

Vid spridning av grovkalk i sjöar bör kalken fördelas jämnt. Hög kalkdos på botten som ett resultat av ojämn spridning medför sannolikhet lägre kalkupplösning och kalkutnyttjande.

# 1. Inledning

## 1.1 Bakgrund

Problemet med damning och vindavdriftsförluster vid helikopterspridning av torrt kalkstensmjöl är välkänt. Kalkstensdamm som driver bort från den tilltänkta spridningsytan, sjö eller våtmark, medför estetiskt negativa effekter på byggnader, båtar, bryggor, jaktorn o dyl samt kan även orsaka problem för maskiner i skogsbruket och nerdamning av kläder och hundar. Den vindbortförda kalken kan även orsaka icke önskvärd påverkan på vegetation i kalkningsobjektets närhet. Vindavdriften medför också en ekonomisk förlust eftersom en del av den spridda kalken inte direkt kommer till nytta i den tilltänkta sjön eller våtmarken. Redan 1988 påbörjade Anders Svahnberg, Myrica kalkningskonsult, studier av vindavdriftens omfattning och funktioner. I en rapport beskrivs att upp till hälften av den spridda kalkmängden kan driva bort med vinden (Svahnberg 1992).

Sedan 1992 har Myrica kalkningskonsult bedrivit studier av kalkningseffekten i våtmarker som kalkats med alternativa mindre eller icke dammande produkter. Resultaten har efterhand lett fram till att våtmarker idag huvudsakligen kalkas med kalkprodukter som dammar obetydligt eller inte alls (Svahnberg & Abrahamsson 2001). Efter 22 års studier upphörde uppföljningen av våtmarkerna från 2012 (Svahnberg 2013).

På initiativ av länsstyrelsen i Västra Götalands län (granuler) och Myrica (grovkalk) och i samarbete med berörda entreprenörer, konsulter, kommuner och länsstyrelsen i Hallands län, initierades 2004 ett försök med helikopterspridning av granulerad kalk och grovkalk i sjöar. Försöket inleddes i Myrica kalkningskonsult övriga försöksverksamhet avseende kalkning av våtmarker. Liksom i Myricas övriga försöksverksamhet har försöket finansierats av flera berörda aktörer i kalkningsverksamheten.

Sex tidigare ej kalkade sjöar valdes ut för granul- och grovkalkning. Därutöver kalkades tre tidigare okalkade sjöar med torrt P-märkt kalkstensmjöl som kalkade referenser. Dessutom provtogs tre okalkade sjöar som referenser. Resultaten efter fyra års uppföljning har redovisats i rapport (Svahnberg & Abrahamsson 2008). Uppföljningen av de sjöar som kalkades med mjöl respektive granuler upphörde därefter.

År 2006 utökades verksamheten med ytterligare två produkter efter initiativ av Movab (Bulltoftakalk) och SMA (GX-kalk). Produkterna spreds i ytterligare två grupper om vardera tre tidigare okalkade sjöar (Svahnberg & Abrahamsson 2011).

I november 2010 kalkades St Trännsjön med GX-kalk på initiativ av Falkenbergs kommun. Kalkningen samt den vattenkemiska och biologiska (se nedan) uppföljningen tom 2011 bekostades genom Falkenbergs kommuns medverkan i EU-projektet Living North Sea (LNS). Från 2012 har St Trännsjön ingått i Myricas försöksverksamhet med uppföljning av grovkalkers effekter i sjöar. Förutom den vattenkemiska uppföljningen har bottenfaunan i St Trännsjön undersökts på två lokaler profundalt, dels inom en okalkad del av sjön, dels inom en kalkad del, se bilaga 2 a. Provtagning skedde vid ett tillfälle före kalkning samt tre tillfällen efter kalkning. För resultat av bottenfaunaundersökningen hänvisas till rapporten *Bottenfaunaundersökning vid Stora Trännsjön 2014* (Johansson m fl 2015).

Föreliggande rapport behandlar effekterna av 11 års uppföljning av en de 2004 grovkalkade sjöarna, 8,6 års uppföljning av de sjöar som 2006 kalkades med GX- resp Bulltofta-kalk samt 4 års uppföljning av den med GX kalkade St Trännsjön. Uppdraget har genomförts som underkonsult till Medins Havs och Vattenkonsulter AB med anslag från Havs och Vattenmyndigheten.



Bild 1-2. Helikopterspridning med GX- resp Bulltofta-kalk i Bredsjön resp Gällesjön. Foto: Myrica.



## 1.2 Syfte

Syftet med undersökningen var följande:

- ♦ att ge svar på frågan om grova kalkprodukter är användbara ur kalkeffektsynpunkt som kalkningsmedel vid helikopterkalkning av sjöar.
- ♦ att klarlägga upplösnings- och uttransportsfunktioner.
- ♦ att ge underlag för rekommendationer rörande dosering och spridningsintervall.

## 1.3 Produkten grovkalk

Den kalk som i föreliggande rapport benämnes 'grovkalk' levererades från Uddagårdskalk. Grovkalkens kvalitet motsvarade P-märkt grovkalk enligt SPCR 155 våtmarkskalk. Det innebär bl a att andelen finpartiklar <0,20 mm understiger 10 %. CaO-värdet för den i försökssjöarna spridda kalken uppgavs av fabriken vara 48,3 %.



Bild 3. Grovkalk i naturlig storlek. Foto: InformArt.

## 1.4 Produkten GX-kalk

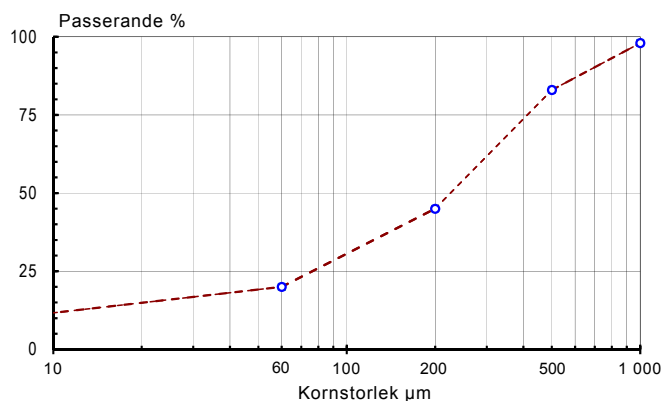
GX-kalken är en grovkalk som tillverkas av SMA Mineral Persberg AB. Fabriken och gruvan ligger i Persberg några km öster om Filipstad i Värmland. GX-kalken används för huvudsakligen för kalkning av våtmarker men under senare år även för helikopterkalkning av sjöar. GX-kalken marknadsförs under produktnamnet Cresco GX. Kalktypen är kristallin urbergskalk som bildades för ca 1 900 miljoner år sedan. CaO-värdet på den i försöket använda kalken var 52,5% (torr produkt) och fukthalten var 3%.

GX-kalken innehöll ca 45% mjöl under 0,2 mm. Siktcurvan från den i försöket använda GX-kalken redovisas i figur 1. Detta är en dammande fraktion vid spridning av torra grovkalker oavsett mjöländel. Den något fuktiga GX-kalkens egenskaper är dock sådana att mjölfraktionen binds och bildar aggregat med de större kornen vilket motverkar damning och därmed vindavdrift. Aggregatbildningen ger också den effekten att i det fall kalk hamnar på mark i strandzonen uppträder den som en avsevärt grövre produkt utan finfraktion (se bild 4) och upplevs inte besvärande såsom dammig. GX-kalken kan därför ses som en dammbunden grovkalk vars egenskaper minimerar damning och estetisk påverkan på omgivningen



Bild 4. GX-kalk efter spridning. Foto: Myrica.

Figur 1. Siktcurva för GX-kalk som spreds i försöket.



## 1.5 Produkten Bulltoftakalk

Vid avhärdning av råvatten i vissa vattenverk fälls kalken ut till partikulär form som små kulor som används för spridning på våtmarker inom kalkningsverksamheten. I det sammanhanget har kalken från vattenverken visats ha en ekvivalent effekt jämfört med (våtmarks-) grovkalk. (Svahnberg & Abrahamsson 2005). Nomenklaturen för den utfällda kalken som produkt är emellertid något oklar. Vanliga förekommande uttryck är vomber, vombgranuler, bulltofta, bulltofta, kalkfällningsprodukter, vombkalk och vattenverksgranuler. I tidigare rapporter från Myrica's försöksverksamhet har kalken från vattenverken gemensamt benämnts "Vomber". I föreliggande rapport används benämningen Bulltoftakalk för den kalkprodukt som spridits i de i rapporten redovisade sjöarna och som kom från vattenverket i Bulltofta. Som en övergripande benämning på denna typ av kalk från vattenverk används begreppet "vattenverkskalk" i det fortsatta.

Vattenverkskalken fälls ut vid avhärdning av råvatten. Tekniken är väl känd och utvecklad i bl a Holland. Vattenverket i Vomb i Skåne startade sin avhärdningsanläggning 1999 som den första i Sverige. Ytterligare fyra anläggningar har därefter startats, Bulltoftaverket i Malmö, Bäcklösa- och Gränbyverken i Uppsala samt en anläggning i Ystad. Huvudparten av den vattenverkskalk som används inom kalkningsverksamheten produceras i Vombverket (3 300 ton/år) och Bulltoftaverket (2 900 ton/år).

Kalken i vattnet fälls ut på sandkorn genom tillsats av natriumhydroxid. Sandkornen hålls svävande i

en reaktortank (fluidisering). Efterhand som kalken utfälls och kalkkornen växer sjunker de till botten och tas senare ut ur avhärdningsreaktorn. Resultatet blir kalkkorn med sandkärna och en diameter vanligen på ca 0,5-2 mm. Se bild 5. Medeldiametern på kalkkornen skiljer sig mellan de olika verken. Störst är kalkkornen från vattenverket i Vomb och minst från Bulltoftaverket.

Kalken fälls ut i dricksvatten som klassas som livsmedel. Vattnet analyseras kontinuerligt med avseende på förekomst av tungmetaller och miljögifter. Separata analyser av tungmetallinnehållet i utfällningskalken visar på låga värden och inom Naturvårdsverkets gränsvärden för kalkningsmedel. CaO-värdet är ca 49-53% inkluderat sandkärnorna.

Nordkalk började leverera och sprida vattenverkskalk från Vombverket på våtmarker inom kalkningsverksamheten 1999. Den största och avgörande fördelen med vattenverkskalken är att kalken är fysiskt hårt bunden och produkterna går därför att transportera och sprida med helikopter helt utan dammbildning i något led. På våtmarker blir kalkningen mycket diskret eftersom kalken knappast syns alls efter en spridning. För den som rör sig i ett kärr kalkat med vattenverkskalk eller dess närhet finns så gott som inga negativa estetiska effekter såsom smutsning, damning eller "närmjöläd" vegetation. De små kalkkulorna fastnar inte på kläder eller hundar och man blir inte nersölad av att beträda ett kärr eller t ex ett jakttratt. Dessa faktorer gör vattenverkskalken till ett attraktivt alternativ till P-märkt kalkstensmjöl vid helikopteralkning. Vattenverkskalken har under senare år alltmer kommit att användas för helikopteralkning av sjöar i en blandning med grovkalk under produkt-namnet Optimix.



Bild 5. Den mörkare vattenverkskalken i bildens vänstra del är producerad i Bulltofta vattenverk (Bulltoftakalk) medan den ljusare kalken i bildens högra del är producerad i vattenverket i Vomb (Vombkalk). Återgivning i naturlig storlek. Foto: Myrica.

## 2. Metoder

### 2.1 Kalkningar

En sjö kalkades med grovkalk från Uddagården, tre med Bulltoftakalk och fyra med GX-kalk. I samtliga sjöar utom St Trännsjön spreds kalkprodukterna jämnt fördelat över sjöytorna med helikopter. Med jämnt fördelat i detta sammanhang avses att det är helikopterns spridningsstråk som är jämt fördelade över sjöarna. I St Trännsjön spreds kalken enligt spridningskartan i bilaga 2 a. Kalkdoser, spridda mängder samt sjöarnas hydrografi framgår av tabell 1. Sjöarnas geografiska läge redovisas i bilaga 1. Ingen av sjöarna har såvitt känt kalkats tidigare.

### 2.2 Transport- och upplösningsberäkningar

Vattenprov togs i utloppet från sjöarna vid två till fyra tillfällen före kalkning och därefter vid nio till tio tillfällen årligen efter kalkning. Förutom de åtta kalkade sjöarna provtogs även två referenssjöar. Halter av kalcium har analyserats av Alcontrol AB enligt metoden SS-EN ISO 11885-1.

Vid transportberäkningarna av kalcium subtraheras skattade bakgrundshalter från de uppmätta halterna. Bakgrundshalterna beräknades utifrån halterna i en av de okalkade referenssjöarna. Sambandet antogs vara  $[Ca]_b = [Ca]_r + ([Ca]_i - [Ca]_{ri})$ , där  $[Ca]_b$  är bakgrundhalten,  $[Ca]_r$  är halten i referensen vid samma provtillfälle,  $[Ca]_i$  är haltmedelvärdet före kalkning och  $[Ca]_{ri}$  är haltmedelvärdet i referens-

sjön före kalkning. Ällesjön användes som referenssjö eftersom den generellt gav något bättre förklaringsgrader vid beräkning av kalkupplösningen. Från de beräknade halttillskotten av kalcium beräknades uttransporterna av kalk genom multiplicering av vattenföringen mellan varje provtillfälle. Vattenföringen vid varje mätpunkt beräknades från den specifika avrinningen vid SMHI:s mätstation Pepparforsen i Högvadsån (103-2341). Den specifika avrinningen vid Pepparforsen multiplicerades med beräknad avrinningsområdesareal för varje mätpunkt. Avrinningsområdenas storlek togs fram på fastighetskartan (skala 1:10 000) med hjälp av flygbildstolkning, kartans höjdkurvor och fältbesiktning av vattendelare. Kalkens kalciumhalt beräknades utifrån uppgifter på den spridda kalkens syraneutraliserande verkan. De tillförda kalkmängderna, omräknat till en syraneutraliserande verkan på 50 %, antogs innehålla 35 % kalcium.

Vid beräkning av andelen upplöst kalk adderades den uttransporterade andelen med den andel som fanns upplöst i sjön vid varje provtagningstillfälle. Andel upplöst kalk i sjön beräknades från kalciumtillskottet vid mätpunkten (utloppet) multiplicerat med sjöns vattenvolym. Vid beräkningen antogs således att kalciumhalterna i mätpunkten var representativa för sjöns hela vattenmassa. Detta underskattar troligen andelen upplöst kalk i sjön, särskilt under temperaturskiktade tidsperioder. Beräkningsmetoden bedöms dock ge ett relativt bra mått på hur stor andel av den tillförda kalken som finns upplöst i merparten av den kalkade sjöns volym.

Tabell 1. Kalknings- och hydrografidata för de kalkade sjöarna.

| Sjö          | Yta<br>(ha) | Avrinnings-<br>omr.<br>(ha) | Maxdjup<br>(m) | Medeldjup<br>(m) | Volym<br>(milj. m <sup>3</sup> ) | Teor.<br>oms.-tid <sup>1)</sup><br>(år) | Kalkmängd<br>50% CaO<br>(ton) | Dos<br>(kg/ha<br>avr.-omr) | Spridnings-<br>tidpunkt | Produkt                |
|--------------|-------------|-----------------------------|----------------|------------------|----------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------|------------------------|
| Bredsjön     | 16,9        | 142                         | 4,2            | 1,9              | 0,32                             | 0,28                                    | 36,2<br>35,5                  | 259<br>254                 | Nov-06<br>Okt-11        | GX<br>GX               |
| Bråtasjön    | 15,1        | 150                         | 10             | 3,7              | 0,56                             | 0,46                                    | 45,7                          | 311                        | Nov-06                  | GX                     |
| Ryasjön      | 8,1         | 116                         | 6,5            | 2,9              | 0,23                             | 0,24                                    | 34,6                          | 288                        | Nov-06                  | GX                     |
| St Trännsjön | 11,9        | 149                         | 17,5           | 6,8              | 0,81                             | 0,70                                    | 44,8                          | 299                        | Nov-10                  | GX                     |
| Gällsjön     | 9,7         | 146                         | 17,3           | 6,3              | 0,61                             | 0,52                                    | 34,2                          | 244                        | Nov-06                  | Bulltofta              |
| Lillesjö     | 4,2         | 45                          | 9,7            | 3,4              | 0,14                             | 0,41                                    | 11,8                          | 281                        | Nov-06                  | Bulltofta              |
| Långasjön    | 16,4        | 172                         | 15,0           | 4,4              | 0,71                             | 0,51                                    | 51,2<br>51,5                  | 301<br>301                 | Nov-06<br>Juli-11       | Bulltofta<br>Bulltofta |
| Stensjön     | 27          | 94                          | 6              | 2,4              | 0,65                             | 0,88                                    | 36,3                          | 386                        | Apr-04                  | Grovkalk               |

<sup>1)</sup> Beräkningen avser uppföljningsperioden efter kalkning.

Anm: Sjöarna är djuplodade.

Upplösningen av tillförd kalk har modellberäknats. Kalkupplösningen har antagits följa en ekvation där upplösningshastigheten utgör en funktion av tiden enligt

$$m_d/m_p = 1/(A+B/t),$$

där  $m_d$  och  $m_p$  är massorna av upplöst kalk respektive tillförd partikulär kalk.  $A$  och  $B$  är numeriska koefficienter medan  $t$  är tid (år). Värdena för de numeriska koefficienterna har beräknats genom iterativ simulering enligt minsta kvadratmetoden i Statgraphics (nonlinear regression) baserat på de beräknade andelarna uttransporterad kalk och i sjövolymen upplöst kalk.

För att kunna jämföra de olika kalkmedlen har en modell framtagits, baserad på resultaten från de kalkade sjöarna, för att simulera haltförloppen efter kalkning. Modellen utgörs av två delar, den ovan

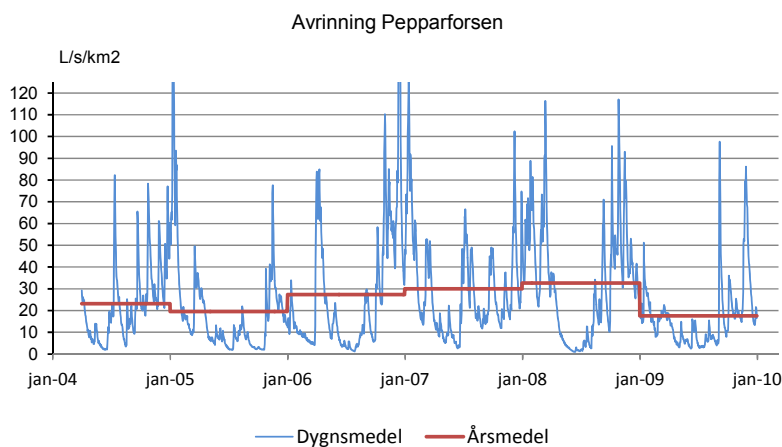
beskrivna ekvationen för kalkupplösningen och en modell för utförsel av upplöst kalk från sjön. Utförseln av kalciumjoner har antagits följa den teoretiska utspädningen i vattenmagasin med fullständig omblandning. Utspädningsförloppet vid fullständig omblandning uttrycks av den matematiska funktionen

$$[Ca]_{t1} = e^{-W} ([Ca]_{t0} - [Ca]_b) + [Ca]_b$$

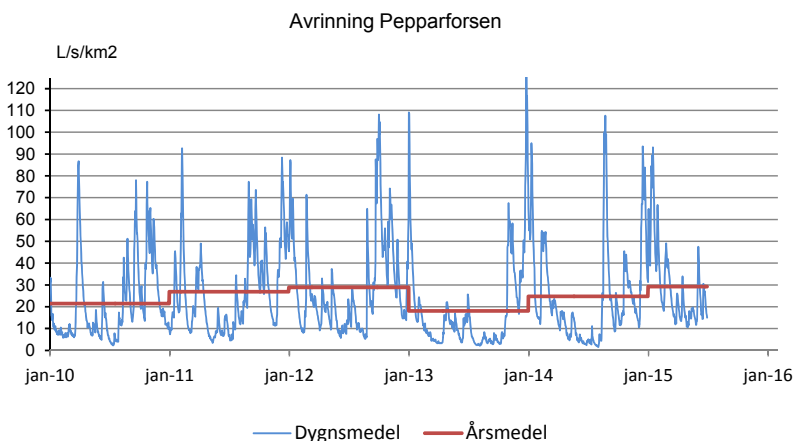
där  $[Ca]$  är kalciumhalten vid tiden  $t_0$  och  $t_1$ ,  $[Ca]_b$  är den beräknade bakgrundshalten av kalcium och  $W$  är vattenmassans vattenutbyte under tidsperioden beräknat som  $Q/V$  ( $Q$  = mängd avrunnet vatten ( $m^3$ ),  $V$  = vattenmassans volym ( $m^3$ )).

Antagandet om fullständig omblandning i sjöarna kan ge en viss överskattning av utspädningens hastighet eftersom omblandningen under temperaturskiktade tidsperioder är reducerad.

Figur 2 a. Specifik avrinning vid SMHI mätstation Pepparforsen i Högvadsån perioden 2004 - 2009. Årsmedel för 2004 avser perioden april-dec.



Figur 2 b. Specifik avrinning vid SMHI mätstation Pepparforsen i Högvadsån perioden 2010 - juni 2015. Årsmedel för 2015 avser perioden jan-juni.





## 2.3 Profilprovtagning i St Trännsjön

St Trännsjön djuplodades före kalkningen med GIS-baserad GPS-positionerad ekolodsutrustning. Djupkartan baserades på 1 136 lodskott och upprättades med djupekvidistanser i 2-m intervall (bilaga 2 b). Varje djupintervall liksom hela sjön volymbestämdes genom parabolisk approximation (Håkansson 1978). Utifrån bottenens topografi delades St Trännsjön upp i fyra delbassänger (bilaga 2 b). Delbassängerna volymbestämdes enligt nämnda metod.

I varje delbassäng togs vattenprover vid två tillfällen, i mars 2011 och september 2014. Provtagningen skedde i profiler över djupområdena (figur 3, bilaga 2 b). För provtagningen användes Ruttnerhämtare. Vattentemperaturen mättes i samband med provtagningen. Vid provtagningen i mars 2011 var sjön islagd och vid den andra provtagningen i september 2014 användes båt. Proverna analyserades på Ca-halter enligt samma standard som utloppsproverna, se under p 2.2 ovan.

Mängden i vattnet löst kalcium beräknades för varje delbassäng och djupintervall. För de djupintervall där provtagningen inte skett i intervallets mitt, beräknades Ca-halten genom linjär interpolation mellan närmast över/underliggande prov (figur 3).

Två dagar före kalkningen i november 2010 togs vattenprover vid yta resp botten vid de båda stationerna för bottenfaunaprovtagning (bilaga 2 a). Kalciumhalten i proverna ( $n = 4$ , spridning = 0,87-0,93 mg/l,  $\bar{x} = 0,90$  mg/l) antogs vara sjöns bakgrundshalt. Vid beräkningen av mängden upplöst spridd kalk subtraherades bakgrundshalten från de vid profilprovtagningen uppmätta halterna.

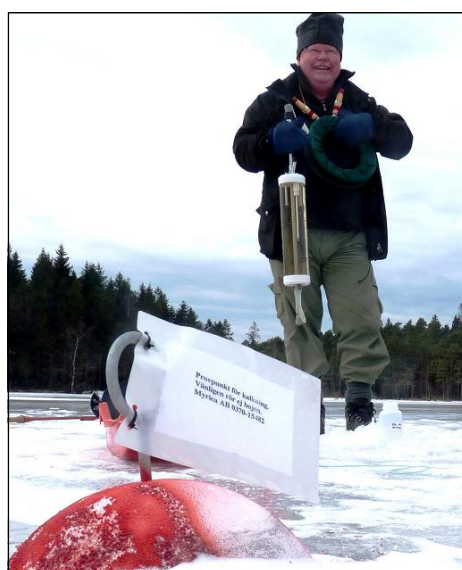
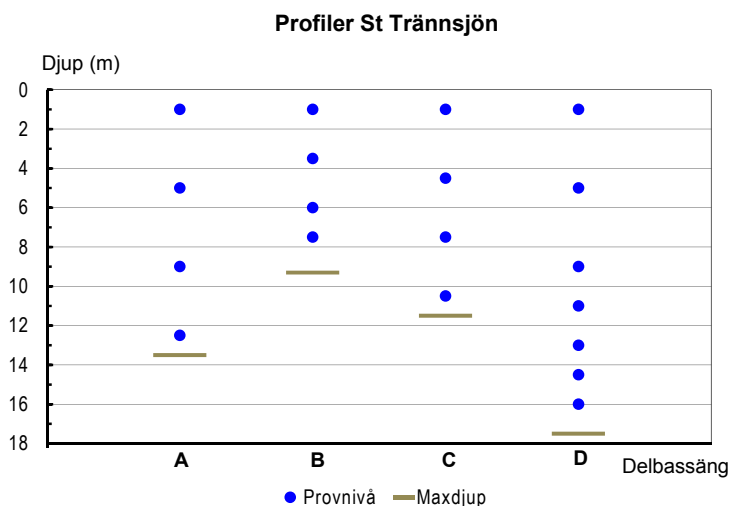


Bild 6. Profilprovtagning i St Trännsjön.  
Foto: Ingemar Alenäs.

Figur 3. Fördelning av profilprover i fyra delbassänger i St Trännsjön.



### 3. Resultat och diskussion

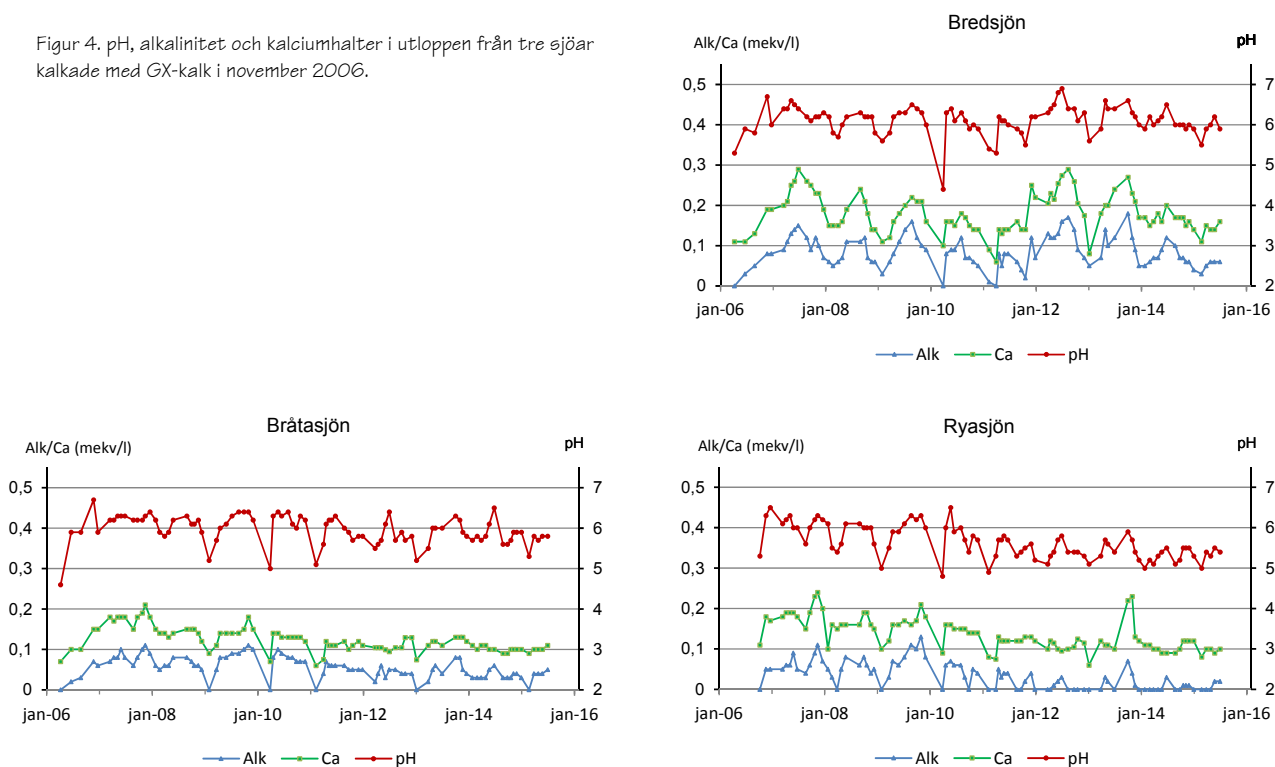
#### 3.1 pH och alkalinitet

I figur 4-8 visas värdena på pH och alkalinitet och kalcium i avrinningsvattnet från åtta sjöar kalkade med grova kalkprodukter samt en okalkad referenssjö. Kalkningseffekten med avseende på pH och alkalinitet var i samtliga sjöar betydligt jämnare under mätperioden och hade längre varaktighet jämfört med tidigare undersökta sjöar kalkade med kalkstensmjöl. Detta trots att omsättningstiderna i samtliga sjöar utom Stensjön var kortare än i de mjölkalkade sjöarna (Svahnberg & Abrahamsson 2008).

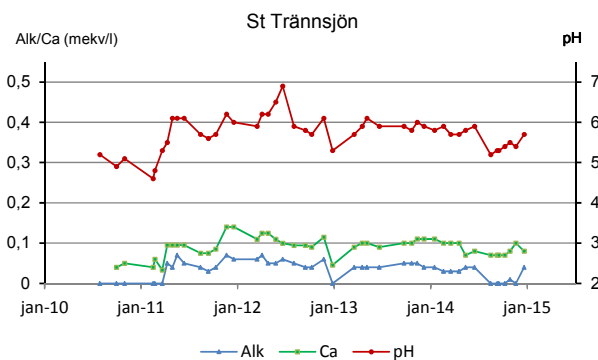


Bild 7. Långasjön kalkad med Bulltoftakalk. Foto: Myrica.

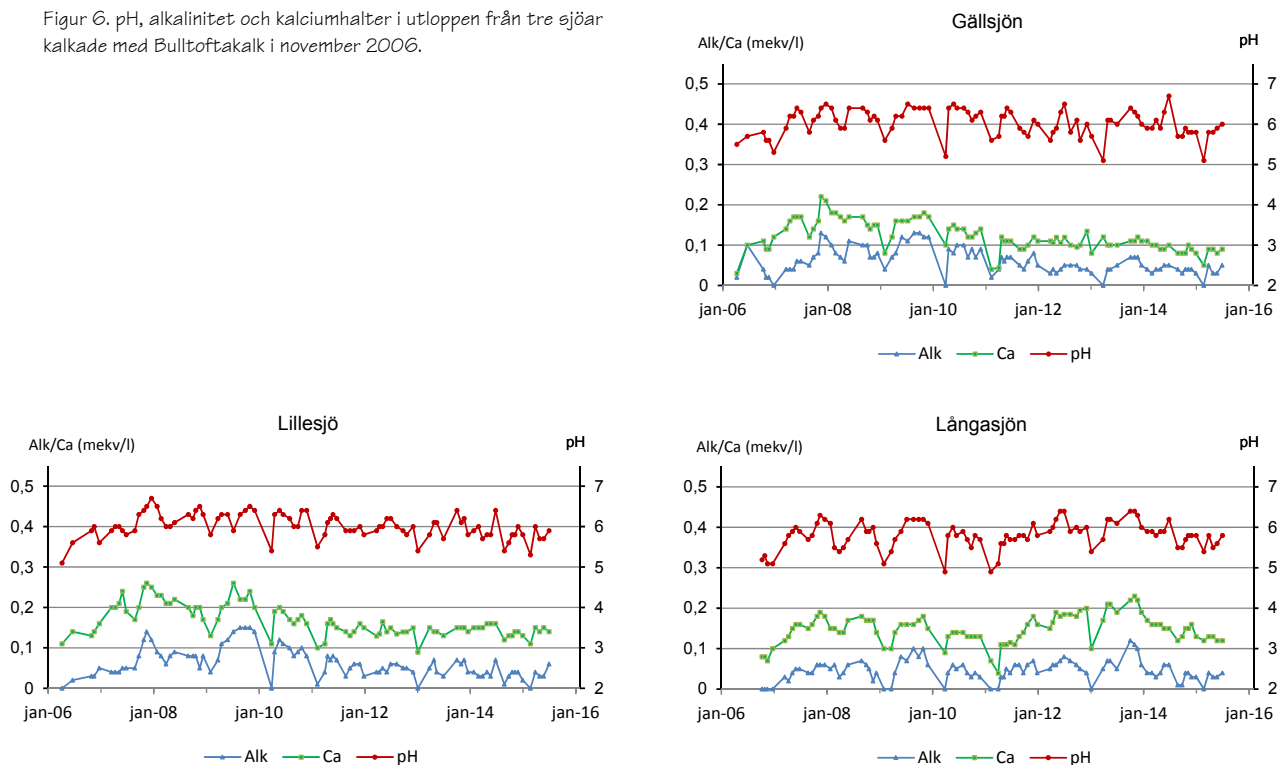
Figur 4. pH, alkalinitet och kalciumhalter i utloppen från tre sjöar kalkade med GX-kalk i november 2006.



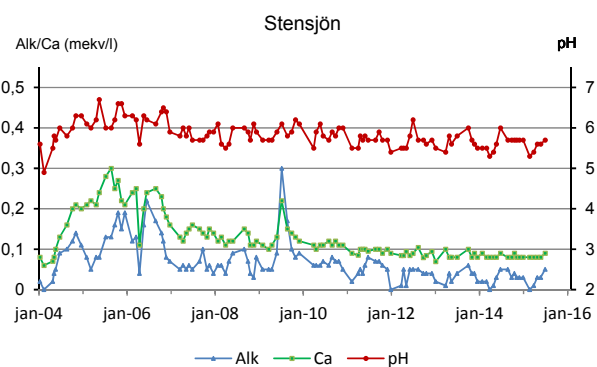
Figur 5. pH, alkalinitet och kalciumhalter i utloppet från St Trännsjön kalkad med GX-kalk i november 2010.



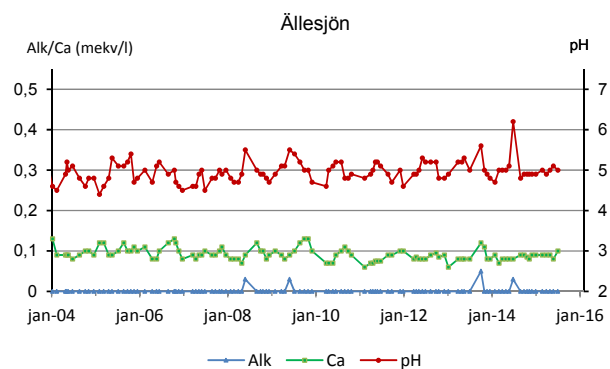
Figur 6. pH, alkalinitet och kalciumhalter i utloppen från tre sjöar kalkade med Bulltoftakalk i november 2006.



Figur 7. pH, alkalinitet och kalciumhalter i utloppet från Stensjön kalkad med grovkalk i april 2004.



Figur 8. pH, alkalinitet och kalciumhalter i utloppet från Ällesjön, ej kalkad referenssjö.



### 3.2 Uttransporterad och upplöst kalk

I juni 2015, 8,6 år efter kalkning, beräknas 64-79 % av tillförd GX-kalk ha löst upp sig i Bredsjön, Bråtasjön och Ryasjön (figur 9, tabell 2). Bredsjön kalkades om i oktober 2011 med motsvarande kalkmängd som vid initialkalkningen. Upplösningsförloppet efter omkalkningen är likartat jämfört med före omkalkningen. I juni 2015 hade motsvarande andel kalk av den totalt spridda kalkmängden ha löst sig (64 %) , jämfört med andelen löst kalk från första spridningen vid tiden för omkalkningen (67 %, figur 9). I Bråtasjön och Ryasjön var andelen upplöst kalk betydligt högre än i Bredsjön. Upplösningsförloppen uppvisar emellertid en tendens att under den senare 5-årsperioden inte avta med tiden vilket kan tyda på att beräkningen av mängden upplöst kalk är över-skattad (figur 9). Upplösningshastigheten i de tre sjöarna var betydligt långsammare än den som registrerades av Svahnberg & Abrahamsson (2008) i tre liknande sjöar kalkade med kalkstensmjöl.

St Trännsjön kalkades i november 2010 med GX-kalk. I december 2014, fyra år efter kalkning, beräknas 31 % av den tillförda GX-kalken ha lösts upp (figur 10, tabell 2). I Bredsjön, Bråtasjön och Ryasjön beräknades 52-62 % av den tillförda GX-kalken ha löst sig i november 2010, fyra år efter kalkning (Svahnberg & Abrahamsson 2011). Kalkupplösningen i St Trännsjön gick betydligt långsammare än i de övriga tre GX-kalkade sjöarna under de fyra första åren efter den första kalkningen.

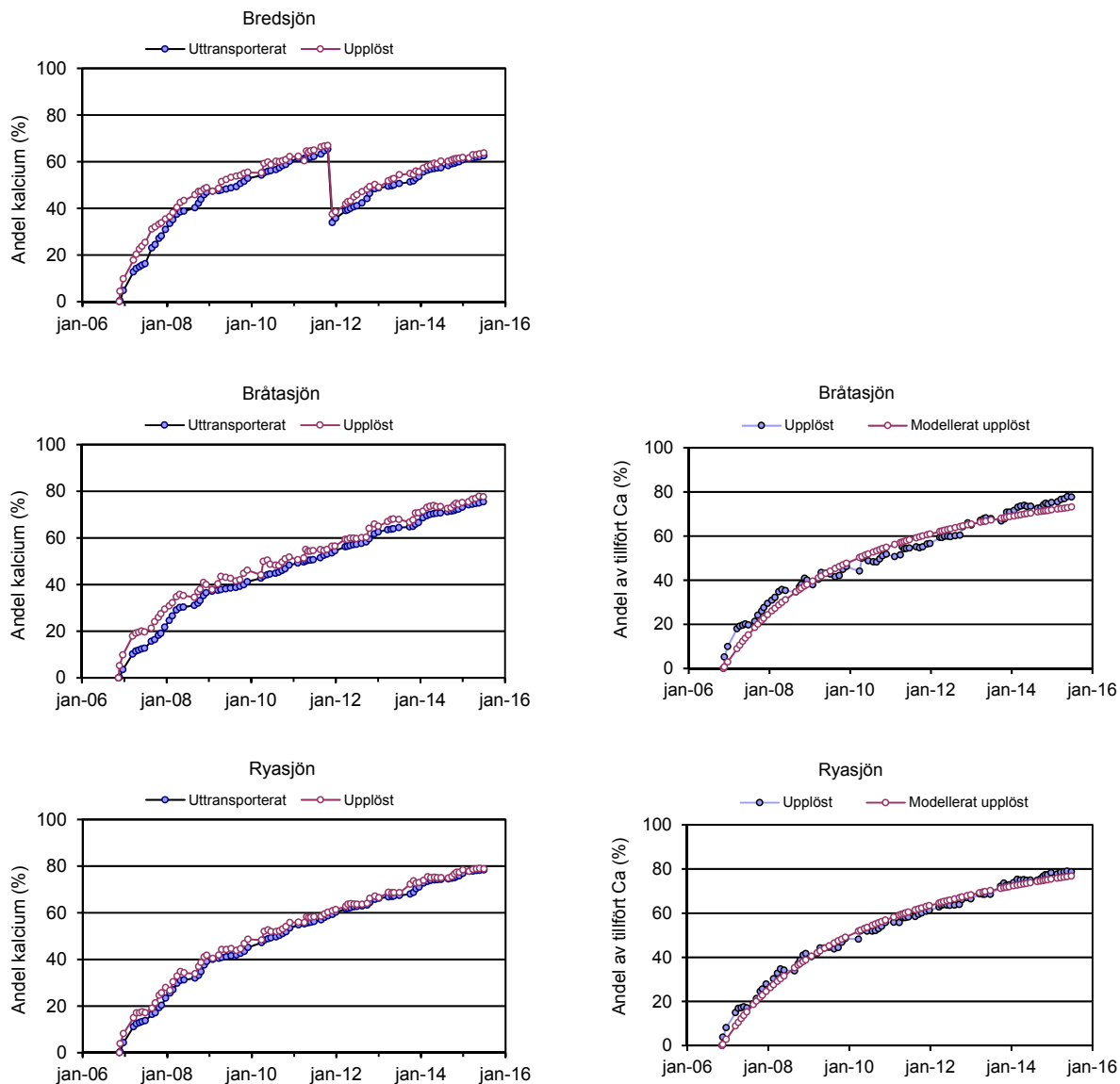
Möjliga skäl till den långsammare kalkupplösningen i St Trännsjön skulle kunna vara längre omsättningstid och/eller större medeldjup. Den grovkalkade Stensjön hade dock en längre omsättningstid (0,88 år) men betydligt högre beräknad kalkupplösning (65 %) (Svahnberg & Abrahamsson 2011) under de första fyra åren efter kalkning jämfört med St Trännsjöns omsättningstid på 0,70 år (tabell 2). Den Bulltoftakalkade Gällsjön har i det närmaste samma medeldjup på 6,3 m som St Trännsjöns 6,8 m (tabell 2). Fyra år efter kalkningen i Gällsjön i november 2006 beräknades 53 % av den spridda kalken ha löst sig (Svahnberg & Abrahamsson 2011). Den mest troliga förklaringen till den långsamma kalkupplösningen i St Trännsjön är att närmare halva kalkgivan sprids inom ett begränsat område (bilaga 2 a). Den höga arealdosen kalk på botten, 21 t/ha, har medfört en väsentligt fördröjd kalkupplösning. Medeldosen för övriga sjöar var 3,5 ton/ha bottenyta.

I de tre sjöar som kalkades med Bulltoftakalk beräknas 49-72 % av den tillförda kalken ha löst upp sig efter 8,6 år (figur 11, tabell 2). Liksom för GX-kalken var upplösningshastigheten för Bulltoftakalken betydligt långsammare än den som har registrerats för kalkstensmjöl i helikopteralkade sjöar med snabb vattenomsättning. I Gällsjön och Lillesjön avvek utvecklingen något från det som registrerades i Långasjön och GX-sjöarna. Under sensommaren 2007 sjönk kalciumhalterna i Gällsjön och Lillesjön vilket medförde att den beräknade kalkupplösningen fick ett starkt cykliskt förlopp under första året efter kalkning.

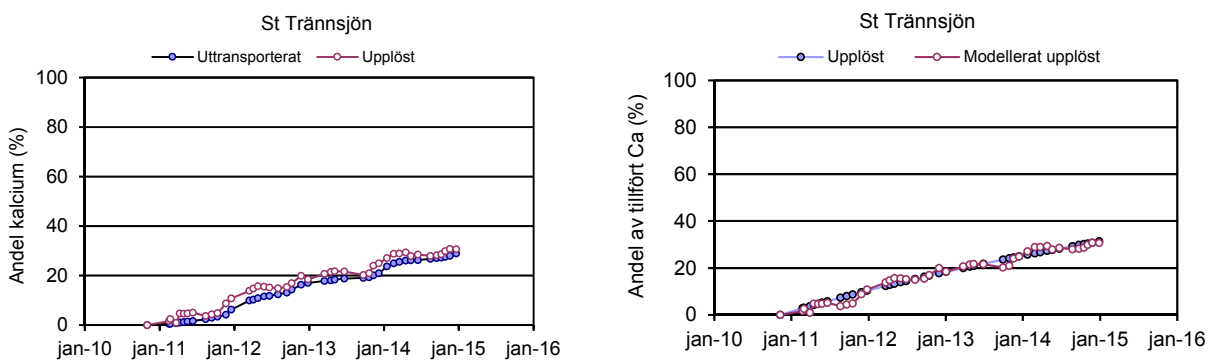
Tabell 2. Beräknade andelar av tillförd kalk som har uttransporterats och upplösts i de kalkade sjöarna. Även de modellberäknade värdena för upplösningskoefficienterna (A, B) och beräknat slutligt kalkutnyttjande redovisas.

| Sjö          | Mätperiod  |            | Andel av tillförd kalk |             | Modellberäkningar |      |                       | Produkt   |
|--------------|------------|------------|------------------------|-------------|-------------------|------|-----------------------|-----------|
|              | Startdatum | Slutdatum  | Uttransporterad (%)    | Upplöst (%) | A                 | B    | Slutligt uttjande (%) |           |
| Bredsjön     | 2006-11-14 | 2015-06-30 | 62                     | 64          | -                 | -    | -                     | GX        |
| Bråtasjön    | 2006-11-14 | 2015-06-30 | 75                     | 78          | 0,97              | 3,44 | 103                   | GX        |
| Ryasjön      | 2006-11-14 | 2015-06-30 | 78                     | 79          | 0,90              | 3,47 | 111                   | GX        |
| St Trännsjön | 2010-11-11 | 2014-12-30 | 29                     | 31          | 0,75              | 10,1 | 133                   | GX        |
| Gällsjön     | 2006-11-17 | 2015-06-30 | 58                     | 57          | 1,36              | 2,59 | 74                    | Bulltofta |
| Lillesjö     | 2006-11-17 | 2015-06-30 | 71                     | 72          | 1,08              | 2,84 | 93                    | Bulltofta |
| Långasjön    | 2006-11-17 | 2015-06-30 | 48                     | 49          | -                 | -    | -                     | Bulltofta |
| Stensjön     | 2004-04-27 | 2015-06-30 | 72                     | 73          | 1,11              | 2,85 | 90                    | Grovkalk  |

Figur 9. Kumulativ andel beräknat upplöst och uttransporterat kalcium av tillförd mängd (vänster) samt kumulativ andel beräknat upplöst och modellsimulerat upplöst kalcium av tillförd mängd (höger) i tre sjöar kalkade med GX-kalk i november 2006.



Figur 10. Kumulativ andel beräknat upplöst och uttransporterat kalcium av tillförd mängd (vänster) samt kumulativ andel beräknat upplöst och modellsimulerat upplöst kalcium av tillförd mängd (höger) i St Trännsjön kalkad med GX-kalk i november 2010.





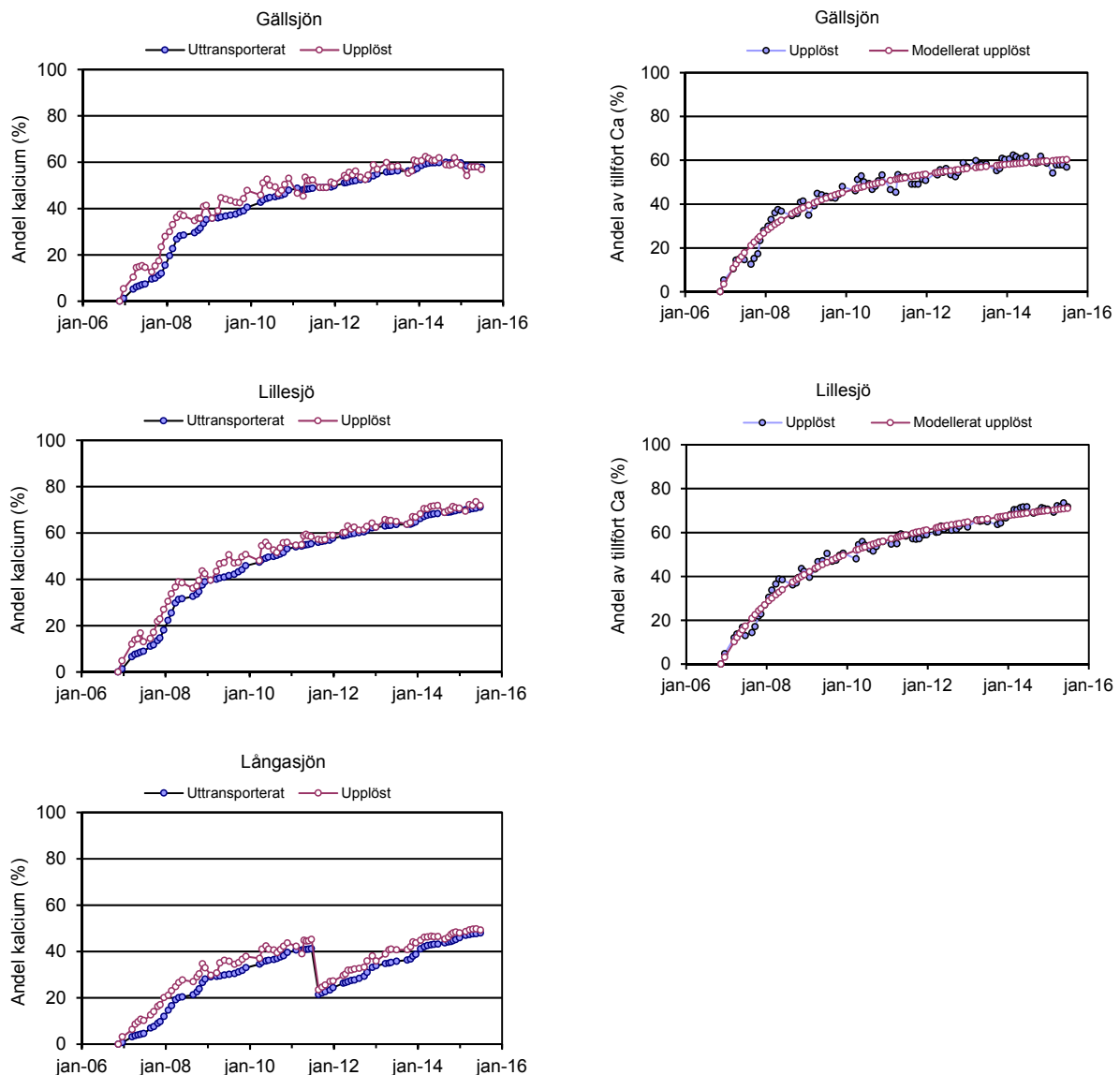
Långasjön kalkades om i juli 2011 med motsvarande kalkmängd som vid initialkalkningen. Upplösningsförloppet efter omkalkningen är likartat jämfört med före omkalkningen. I juni 2015 hade något högre andel kalk av den totalt spridda kalkmängden ha löst sig (49 %), jämfört med andelen löst kalk från första spridningen vid tiden för omkalkningen (45 %, figur 11).

I juni 2015, drygt 11 år efter kalkning, beräknas 73 % av tillförd grovkalk ha löst upp sig i Stensjön (figur 12, tabell 2). Upplösningsförloppet i Stensjön är mycket snarligt det som registrerades av Alenäs (1986) i Långetjärn i Härryda kommun efter kalkning med grovmalen dolomitkalk (0-1 mm) hösten 1977.

För sex av de åtta sjöarna har det slutliga andelen upplöst kalk prognoserats genom antagandet att kalkupplösningen utgör en funktion av tid efter kalkspridning. Upplösningskoefficienten  $A$  anger den extrapolerade slutliga upplösningsgraden för varje sjö. I Bråtasjön och Ryasjön kalkade med GX-kalk beräknas det slutliga kalkutnyttjandet till 103 respektive 111 % (tabell 2). I Gällsjön och Lillesjö behandlade med Bulltofta-kalk beräknas det till 74 och 93 %. I Stensjön kalkad med grovkalk, beräknas det slutliga kalkutnyttjandet till 90 %.

Ett slutligt kalkutnyttjande som överstiger spridd mängd är naturligtvis inte rimligt vilket innebär att beräkningen av slutlig kalkupplösning är överskattad i Bråtasjön, Ryasjön och St Trännsjön. Orsaken är inte klarlagd.

Figur 11. Kumulativ andel beräknat upplöst och uttransporterat kalcium av tillförd mängd (vänster) samt kumulativ andel beräknat upplöst och modellsimulerat upplöst kalcium av tillförd mängd (höger) i tre sjöar kalkade med Bulltoftakalk i november 2006.



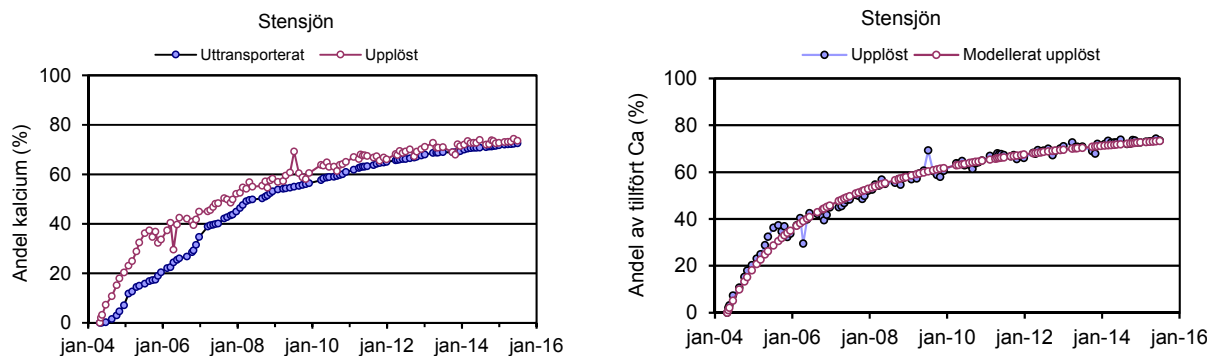
Upplösningsförloppen i Bråtasjön och Ryasjön har under de senare fem åren varit i det närmaste linjära vilket medfört ett lågt samband mellan upplösning och tid (figur 9 höger). Detta tyder också på att den beräknade kalkupplösningen i Bråtasjön och Ryasjön (78 resp 79 %, tabell 2) är överskattad. Även i St Trännsjön har upplösningsförloppet varit i det närmaste linjärt (figur 10 höger). Den långsamma kalkupplösningen i sjön medför att uppföljningsperioden är för kort för att modellberäkningen ska gå att tillämpa.

Modellberäkningen av det slutliga kalkutnyttjandet har gett rimliga värden för tre av sjöarna, Gällsjön, Långasjön och Stensjön. Baserat på resultat från

dessa sjöar bedöms utnyttjandegraden för grova kalkprodukter till 74-93 % vid helikopteralkning av sjöar med kort omsättningstid.

Baserat på resultaten från tre av de åtta sjöarna bedöms upplösningkoefficienten B för Bulltoftakalk och Grovkalk uppgå till ett värde mellan 2,0-3,0 vid kalkning i sjöar med kort omsättningstid (0,2-0,8 år). Det skall påpekas att värdet för B inte är ett bra mått på den faktiska kalkupplösningen eftersom utloppshalter av kalcium sannolikt underskattar andelen upplöst kalk i sjöns vattenvolym. Däremot är värdet ett mått på hur snabbt den upplösta kalken ger neutralisationseffekter i den kalkade sjöns yt- och utloppsvatten

Figur 12. Kumulativ andel beräknat upplöst och uttransporterat kalcium av tillförd mängd (vänster) samt kumulativ andel beräknat upplöst och modellerat upplöst kalcium av tillförd mängd (höger) i Stensjön kalkad med Grovkalk i april 2004.



### 3.3 Modellsimuleringar

Modellsimuleringar av haltutvecklingen efter kalkning med olika kalkprodukter och olika spridningsintervall har utförts på sju sjöar efter 4-6,6 års uppföljning. Resultaten har redovisats i föregående rapport från uppföljningen av sjöar kalkade med grova kalkprodukter (Svahnberg & Abrahamsson 2011).

### 3.4 Profilprovtagning i St Trännsjön

Den första provtagningen utfördes i mars 2011, knappt fyra månader efter kalkningen. Sjön var belagd med ca 60 cm tjock is, till övervägande delen stöpis. Vattentemperaturen var på 1 m djup 0,9 °C och nära botten 3,8 °C. Av den spridda kalkmängden beräknades 8,3 % vara upplöst i sjöns hela vattenmassa.

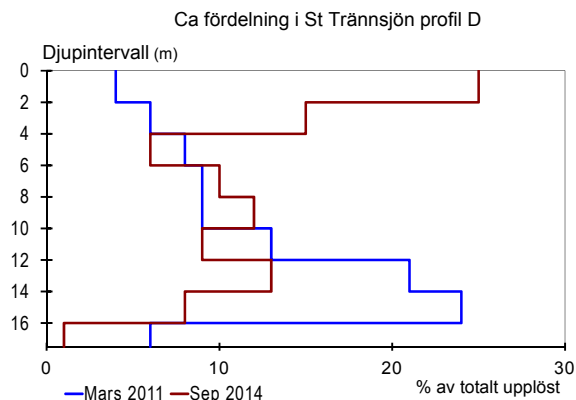
Den andra provtagningen ägde rum i september 2014, knappt fyra år efter kalkningen. Provtagningen skedde från båt. Vattentemperaturen var på 1 m djup 17,8 °C och nära botten 7,3 °C. Den i hela sjöns vattenmassa upplösta kalkmängden beräknades vara 6,6 % av den spridda kalkmängden.

Kalciumhalten i de tre profilerna var på 1 m djup 1,2-1,8 mg/l och i provet närmast botten 17-20 mg/l. För att beskriva kalkens fördelning i vattenpelaren antas bassäng D vara representativ för samtliga tre kalkade bassänger. Bassäng D är den djupaste bassängen (bilaga 2 b) och beräknas rymma 71 % av hela sjöns vattenvolym.

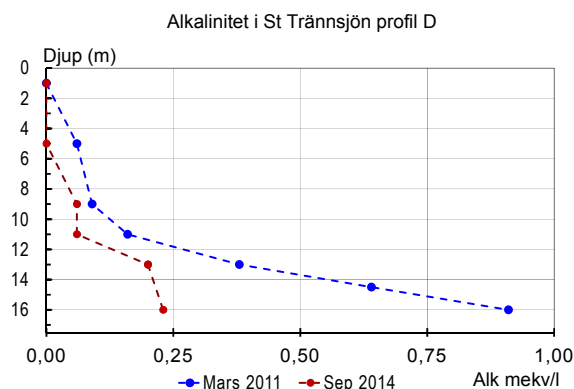
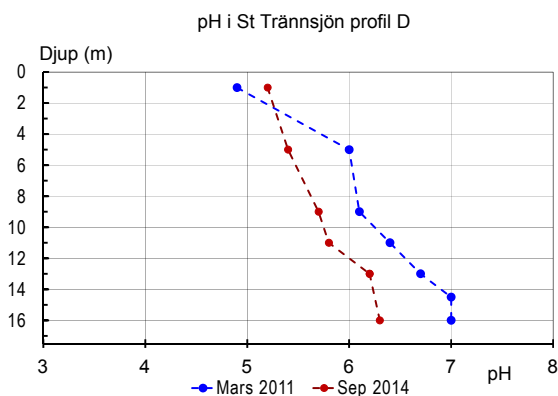
Vid provtagningen i mars 2011 förekom den upplösta kalken till övervägande delen inom de djupare delarna. Från 9 m djup och nedåt förekom 70 % av den upplösta kalken (figur 13). Vattenvolymen från 9 m djup och nedåt utgör dock enbart 23 % av bassängens totala volym. Kalciumhalten ökade med tilltagande djup och var som högst nära botten. Detta återspeglas i värdena på pH och alkalinitet. På 1 m djup var pH 4,8 medan nära botten var pH 7,0 och alkaliniteten 0,91 (figur 14).

Vid provtagningen i september 2014 var den lösta kalkens fördelning i vattenpelaren annorlunda och merparten förekom ovan 9 m djup. Från ytan ned till 9 m djup förekom 64 % av den upplösta kalken (figur 13). Kalciumhalten ökade ändå med tilltagande djup och var som högst nära botten. Detta återspeglas i värdena på pH och alkalinitet. På 1 m djup var pH 5,2 medan nära botten var pH 6,3 och alkaliniteten 0,23 (figur 14).

Figur 13. Fördelningen av mängden upplöst kalk i profil i St Trännsjön i delbassäng D vid provtagning i mars 2011 och september 2014.



Figur 14. pH och alkalinitet i profil i St Trännsjön i delbassäng D vid provtagning i mars 2011 och september 2014.



## 4. Slutsatser

I helikopteralkade sjöar löser sig grovkalkmedel (grov-, GX- och Bulltofta-kalk) långsammare och något sämre än kalkstensmjöl. Det totala kalkutnyttjandet kan förväntas uppgå till 74-93 % från ett grovkalkmedel.

Modellsimuleringar visar att grovkalkmedel ger jämnare neutralisationseffekter än kalkstensmjöl och att de periodvis höga halttillskotten reduceras i jämförelse med kalkstensmjöl. Vid årlig kalktillförsel blir halttillskotten vid de kritiska episoderna minst lika höga som för kalkstensmjölet eftersom grovkalkmedlets något sämre kalkutnyttjande kompenseras av den jämnare kalkupplösningen.

Det skall påpekas att ovanstående slutsatser baseras på resultaten från engångskalkningar av sjöar med korta omsättningstider (0,2-0,9 år) där kalken sprids jämnt över sjöytan. Ojämn spridning som medför hög arealdos på botten medför sannolikt försämrad upplösningsgrad och upplösningshastighet. Det kan heller inte uteslutas att mångårig upprepad kalktillförsel och/eller långsammare vattenomsättning kan ha en inverkan på grovkalkmedlens upplösningsgrad och upplösningshastighet. En inverkan som, om den är betydande, torde ge resultat som avviker från de som ligger till grund för slutsatserna och rekommendationerna i denna rapport.

## 5. Rekommendationer

I sjöar med korta omsättningstider ( $< 1$  år) ger grovkalkmedel neutralisationseffekter som är likvärdiga med de som erhålls från kalkstensmjöl. Detta medför att samma kalkdosering som för kalkstensmjöl kan användas. Grovkalkmedel bör spridas jämnt över sjöytan. Årlig tillförsel av kalk rekommenderas. Vid en övergång från kalkstensmjöl till grovkalkmedel uppkommer under ca fyra år något lägre syraneutraliserande effekter vid de kritiska episoderna. Om effektneutralitet eftersträvas bör kalkdoseringen för grovkalkmedlet höjas med ca 100 % första året eller med 50 % under de två första åren.

Det skall påpekas att kalkutnyttjandet för ett grovkalkmedel kan förväntas vara ca 10 % lägre än för kalkstensmjöl. Detta innebär att grovkalkmedlet kan ge lägre nedströmseffekter, t ex i utloppet av en nedströms belägen sjö där halttillskotten är utjämnade. Vid kalkning av sjöar med relativt lång omsättningstid, där sprids i uppströms belägna sjöar med kort omsättningstid, bör kalkdoseringen därför uppräknas med ca 15 % om grovkalkmedel används istället för kalkstensmjöl.

## Erkännanden

Försöksverksamheten har bekostats av länsstyrelserna i Hallands, Jönköpings och Västra Götalands län, Naturvårdsverket, Falkenbergs kommun, Falkenbergs kommun inom ramen för EU-projektet Living North Sea (LNS), Movab, Myrica AB, Nordkalk, SMA Mineral, Logistik & Entreprenad AB samt Havs- och Vattenmyndigheten.

## Referenser

Alenäs, I. 1986:  
*Kalkningsprojektet Härskogen 1976-1986. IVL rapport L86/201.*  
Institutet för vatten- och luftvårdsforskning.

Håkansson, L. 1978:  
*Vänerns morfometri och morfologi - en sjömorfo-metrisk handbok.*  
SNV 1978.

Johansson, J., Ericsson, U., Christensson, M. 2015:  
*Bottenfaunaundersökning vid Stora Trännsjön 2014.*  
Medins Biologi AB.

Svahnberg, A. 1992:  
*Vindavdrift och spridningsjämnhet.*  
Länsstyrelsen i Jönköpings län 1992:8.

Svahnberg, A., Abrahamsson, I. 2001:  
*Grovkalk, Granuler, Kalkstensmjöl. Effekter vid spridning på våtmarker.*  
Länsstyrelsen i Jönköpings län, Meddelande nr 23/01.

Svahnberg, A., Abrahamsson, I. 2005:  
*Effekten av Vomber som kalkningsmedel på våtmarker.*  
Myrica AB, Värnamo.

Svahnberg, A., Abrahamsson, I. 2011:  
*Effekten av grova kalkprodukter kalkningsmedel i sjöar.*  
Länsstyrelsen i Jönköpings län, Rapport 2011:17.

Svahnberg, A. 2013:  
*Effekten av Grovkalk och Granuler som kalkningsmedel på våtmarker.*  
Myrica AB, Värnamo.

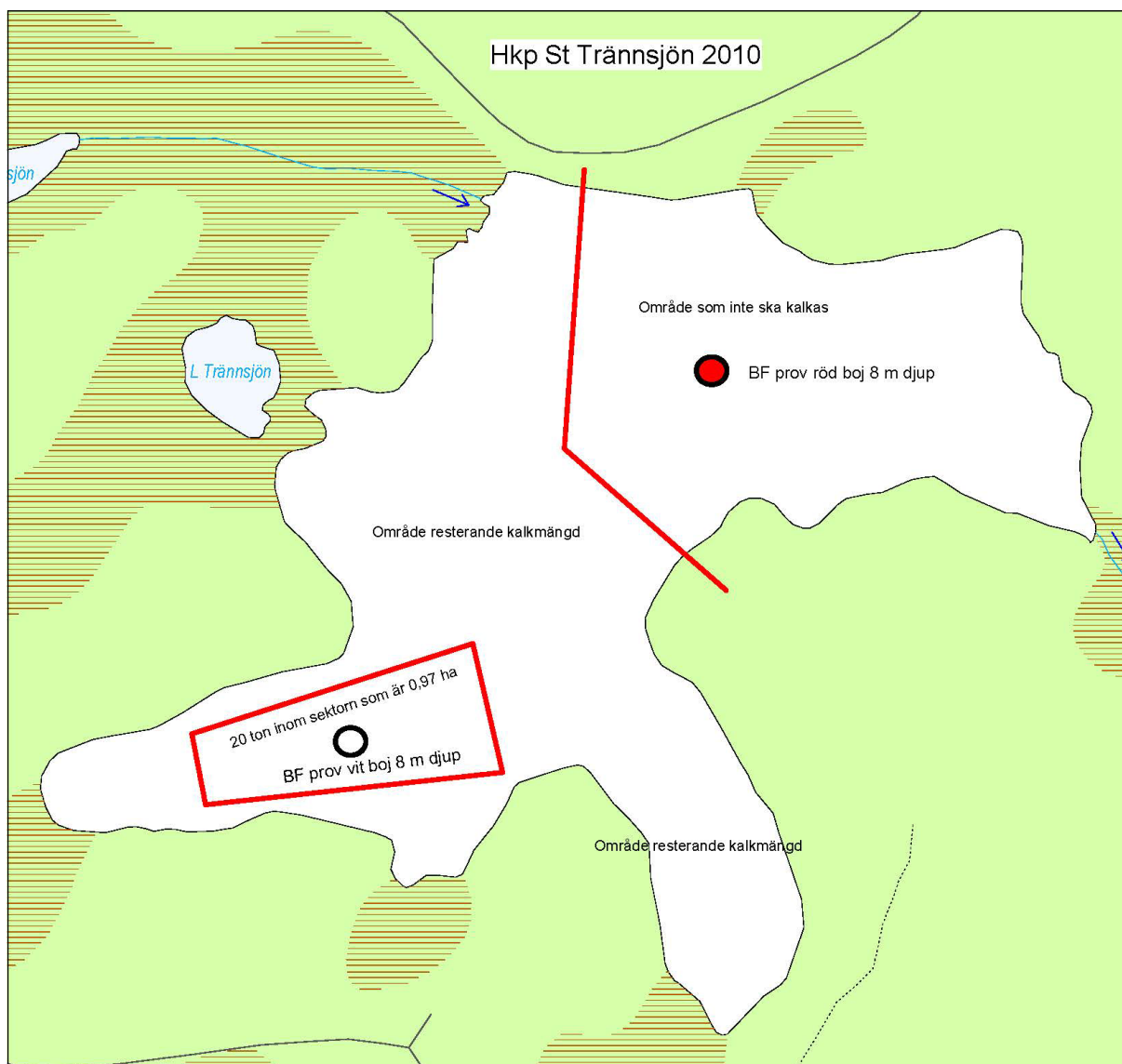


## Kartöversikt med sjöarnas geografiska läge





Spridningskarta för kalkningen av St Trännsjön samt lokaler för bottenfaunaprovtagningar.



Djupkarta över St Trännsjön samt delbassänger för profilprovtagning av vattenprover.

