



Oförbrukade kalkdepåer i sjösediment

Rapport inom IKEU
Integrerad Kalknings Effekt Uppföljning

Teresia Wällstedt

Institutionen för tillämpad miljövetenskap

Department of Applied Environmental Science



Oförbrukade kalkdepåer i sjösediment

Rapport inom IKEU
Integrerad Kalknings Effekt Uppföljning

Teresia Wällstedt

Institutionen för tillämpad miljövetenskap, ITM
Stockholms universitet
e-post: teresia.wallstedt@itm.su.se

Specialprojekt inom IKEU
Delprojekt S17 2006

ISSN 1103-341
ISRN SU-ITM-R-163-SE

Innehåll

| | |
|--|----|
| Sammanfattning | 6 |
| Bakgrund..... | 6 |
| Syfte | 7 |
| Material och metoder | 7 |
| Val av sjöar | 7 |
| Provtagning | 8 |
| Analysmetoder | 9 |
| Torrsubstans, Glödförlust och Karbonathalt | 9 |
| Kalcium och Magnesium | 9 |
| Kvalitetssäkring | 9 |
| Beräkningar..... | 9 |
| Resultat och Diskussion | 10 |
| Karbonatanalyser | 10 |
| Kalkrester i sedimenten..... | 11 |
| Slutsatser | 14 |
| Tack..... | 14 |
| Referenser | 14 |
| Appendix 1..... | 11 |
| Appendix 2..... | 15 |

Sammanfattning

Syftet med denna studie är att kvantifiera kalkrester i ytliga sedimentlager i sjöar som kalkats med grovkalk samt sjöar som kalkats kraftigt med kalkstensmjöl.

De 10 sjöarna inom det nationella kalkningsövervakningsprogrammet IKEUs (Integrerad Kalknings Effekt Uppföljning) delprogram om överkalkade sjöar som kalkats på vanligt vis med kalkmjöl provtogs för studien. Dessutom provtogs 5 sjöar som på prov kalkats med grovkalk.

I två sjöar som kalkats i försöket med grovkalk men inte kalkats tidigare syns tydlig kalkpåverkan 10 cm ner i sedimenten, vilket tyder på att grovkalk tenderar att sjunka ner i sedimentet, där den troligen immobiliseras och därmed inte ger någon framtida kalkverkan.

I ytterligare två sjöar som efter många års ”vanlig kalkning” kalkades med en hög dos grovkalk under 2006 består i ytliga sedimentlager upp till 80% av torrvikten av Ca och Mg-karbonater och även i vissa av IKEU's överkalkningssjöar finns stora kalkdepåer i sedimenten. I de flesta av de överkalkade sjöarna som kalkats med kalkstensmjöl ökar karbonathalterna kraftigt mellan 10 och 5 cm ner i sedimentet jämfört med djupare lager, vilket visar på en tydlig kalkpåverkan. I flera av sjöarna når karbonathalten extremt höga nivåer. Resultaten från studien visar att höga kalkdoser leder till stora kalkdepåer i sedimenten. Det finns alltså anledning att se över kalkningsstrategierna i de sjöar som kalkas med högst doser.

Bakgrund

Vid sjökalkning kommer den kalk som inte omedelbart löses upp i vattenmassan att sedimentera. Kalk i ytliga sedimentlager kan sedan lösas upp allteftersom och på så sätt ge en fördröjd kalkningseffekt, vilket kan vara önskvärt i sjöar med kort omsättningstid. Vid användning av grovkalk kan en större andel nå sedimenten än för finkorniga kalkmedel, vilket skulle kunna ge en ytterligare förlängd kalkeffekt utan att orsaka extremt höga pH-värden i samband med kalkningen. Utöver minskad risk för vindavdrift är detta ett argument för användning av grovkalk. Samma argument kan dock användas mot grovkalk, eftersom det finns risk att kalk immobiliseras i sedimenten pga överlagring eller humusadsorption. Den risken anses mindre för kalkmjöl eftersom det löses upp effektivare än grovkalk.

Vid kalkning av sjöar inom åtgärdsområden förekommer det att man kalkar med mycket höga doser för att uppnå pH-mål i nedströms system. Kraftig kalkning leder naturligtvis till att större mängder kalk sedimenterar. Tidigare studier har visat att den tillsatta kalken löses upp mindre effektivt vid höga doser och upplösningseffekten minskar också med ökande pH (Sverdrup och Warfvinge, 1988). Detta gör att man kan misstänka att delar av den tillsatta kalken deponeras i sedimenten i sjöar som kalkats med höga doser eller med grovkalk. Outnyttjade kalkdepåer i sedimenten minskar naturligtvis kalkningens effektivitet, vilket bl a leder till onödigt höga kostnader, men det kan också leda till störningar och förändringar av bl a nedbrytningsprocesser (Gahnström, 1995) och sjöns näringsstatus (Wilander m. fl., 1995).

Överdoser av kalk, vilket provisoriskt har definierats som att pH överstiger 7,0 och alkaliniteten överstiger 0,3 mekv/l verkar vara mycket vanligt, framförallt i åtgärdssjöar men förekommer även i målsjöar (Persson m. fl., 2007). Mätdata pekar på att 10-20% av de kalkade sjöarna i Sverige och över 50% av åtgärdssjöarna överskrider denna gräns. pH-värden upp till 8,5 och alkaliniteter upp till 3,4 mekv/l förekommer och upp till 1/3 av åtgärdssjöarna kan ha maximala alkaliniteter > 0,5 mekv/l.

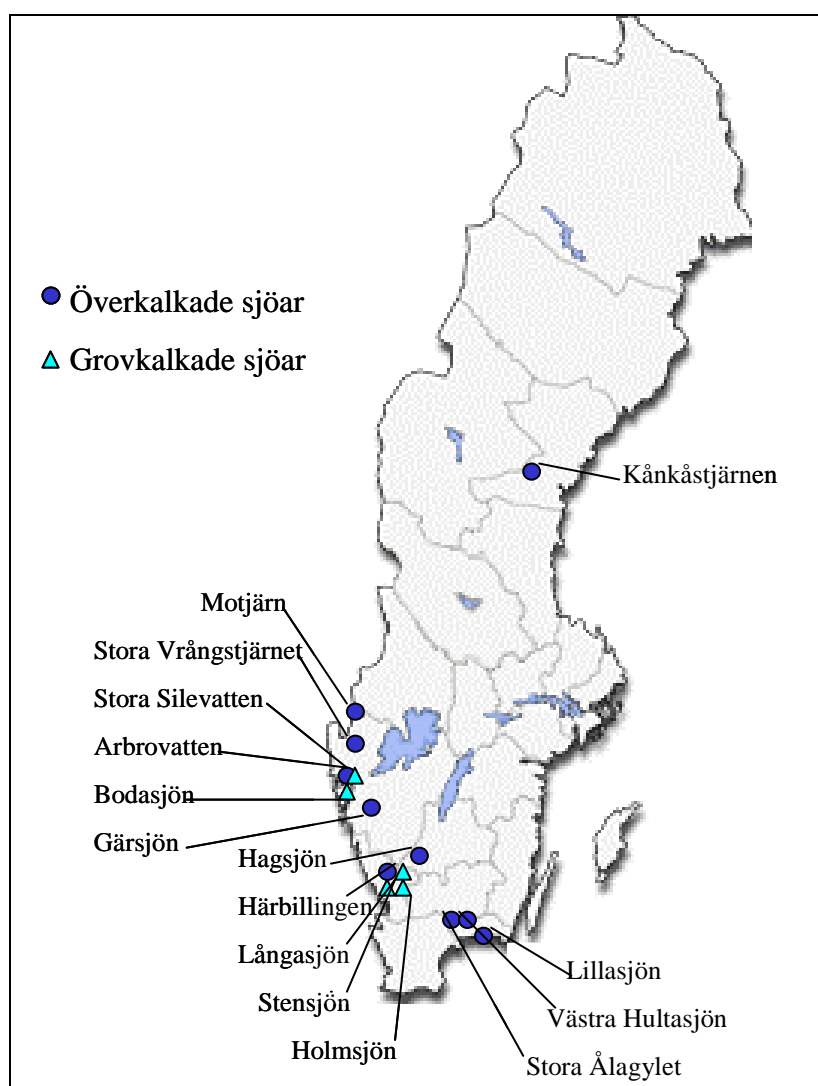
Syfte

Syftet med denna studie är att kvantifiera kalkrester i ytliga sedimentlager i sjöar som kalkats med grovkalk samt sjöar som kalkats kraftigt med kalkstensmjöl.

Material och metoder

Val av sjöar

De 10 sjöarna inom det nationella kalkningsövervakningsprogrammet IKEUs (Integrerad Kalknings Effekt Uppföljning) delprogram om överkalkade sjöar provtogs för studien. Dessutom provtogs 5 sjöar som kalkats med grovkalk. De senare valdes i samarbete med Fredrik Nilsson på länsstyrelsen i Västra Götalands län. Av de grovkalkade sjöarna ligger 3 i Halland och 2 i Västra Götalands län (Figur 1, Tabell 1). De Halländska sjöarna är endast kalkade en gång, då med grovkalk medan sjöarna i Västra Götaland har kalkats med kalkstensmjöl under 20 års tid och sedan en gång med en mycket hög dos grovkalk.



Figur 1. De provtagna sjöarna

Provtagning

Samtliga sjöar provtogs under september och oktober 2006. Sedimentprover togs med en Willner rörhämtare. En profil togs i den djupaste delen av sjön och 1-3 ytsedimentprov (0-2 cm) togs på grundare vatten. Profilen skiktades direkt i fält i 1-cm skikt ner till 6 cm, 2-cm skikt mellan 6-12 cm och därefter 2-cm skikt var femte cm, dvs 13-15 cm, 18-20 cm osv så långt som proppen räckte. Alla prover skivades direkt ner i förvägda diskade polypropylenburkar. Proverna förvarades sedan mörkt i kylväskor med frysklappar tills de kunde frysas, inom 1-4 dygn efter provtagningen.

I Lillasjön, den första sjön som provtogs, skiktades profilen av misstag i 2-cm skikt ner till 12 cm och därefter i 3-cm skikt. Även när det gäller Kånkåstjärnen kan man misstänka att sedimenten av misstag skiktats i 2-cm skikt ner till 12 cm och därefter 3-cm skikt, pga korta proppar och relativt stor mängd material per prov. Vid beräkning av kalkmängder i sedimenten har därför även denna alternativa skiktning använts. I Holmsjön, en av de sjöar som kalkats med grovkalk, såg det vid provtagningen ut att finnas tydliga kalkrester i sedimenten i en propp som togs på ett grundare område. Därför togs några extra skikt i denna propp, som annars bara skulle ha använts för att ta ett ytsedimentprov.

Tabell 1. Kringdata för de provtagna sjöarna

| Sjö | län | x-koord | y-koord | Sjöarea (ha) | Avrinningsområdets area (ha) | Första kalkning | Nuvarande kalkdos (ungefärlig) (ton/år) | Total kalkdos, kalkstart till september -06 (ton) | kalktyp |
|---------------------|-----|---------|---------|--------------|------------------------------|---------------------------|---|---|---------------------|
| Lillasjön | K | 145888 | 623304 | 10 | 46 | 1989 | 2 | 47 | kalkmjöl |
| Västra Hultasjön | K | 141590 | 624718 | 7,0 | 28 | 1981 ^a 1986 | 4 | 94 | kalkmjöl |
| Stora Ålagylet | K | 143187 | 624015 | 4,0 | | 1985 | 3 | 77 | kalkmjöl |
| Härbillingen | N | 131345 | 632023 | 13 | 107 | 1987 | 14 | 254 | kalkmjöl |
| Hagsjön | F | 137217 | 635072 | 24 | 486 | 1984 | 9 | 665 | kalkmjöl |
| Gärsjön | O | 130371 | 643361 | 8,1 | 38 | 1986 | 9 | 169 | kalkmjöl |
| Stora Silevatten | O | 128088 | 644964 | 5,2 | 33 | 1988 | | 102 | kalkmjöl |
| Stora Vrångstjärnet | O | 127219 | 654508 | 9,4 | 51 | 1988 | 13 | 285 | kalkmjöl |
| Motjärn | O | 128027 | 656804 | 11 | 47 | 1983 | 9 | 202 | kalkmjöl |
| Kånkåstjärnen | Y | 155613 | 694411 | 11 | 110 | 1993 | 7 | 107 | kalkmjöl |
| Långasjö | N | 133283 | 633292 | 15 | 181 | 2004 | | 72 | grovkalk |
| Holmsjön | N | 132683 | 633247 | 16 | 106 | 2004 | | 39 | grovkalk |
| Stensjön | N | 133146 | 633113 | 27 | 98 | 2004 | | 36 | grovkalk |
| Bodasjön | O | 128059 | 644592 | 2,0 | | 1984 | 50 grovk. Tidigare 10 | 235 | kalkmjöl + grovkalk |
| Arbrovatten | O | 127947 | 644240 | 2,0 | | 1984 | 50 grovk. Tidigare 10 | 240 | kalkmjöl + grovkalk |

^a kalkad med låg dos 1981, högre dos sedan 1986

Analysmetoder

Torrsubstans, Glödförlust och Karbonathalt

Alla prover frystorkades före analys. Efter frystorkning bestämdes resterande torrsubstanshalt (TS, vikt-%) genom torkning av 0,5 g sediment över natt i värmeskåp i 105 °C. Därefter bestämdes glödförlusten (Gf) som är ett mått på andelen organiskt material genom glödning i muffelugn i 550°C i 2 timmar. Slutligen analyserades karbonathalten genom ytterligare glödning i muffelugn i 950°C i 2 timmar.

Kalcium och Magnesium

0,5 g torrt prov uppslöts i 20 ml HNO₃ 1+1 i glasflaskor i autoklav, 120 °C i 30 minuter.

Uppslutningarna späddes med 30 ml H₂O (Milli-Q) och dekanterades över till syradiskade HDPE-flaskor. Proverna späddes därefter ytterligare 100 ggr med spädapparat. Proverna analyserades med "Inductively Coupled Plasma (ICP) Atomic Emission Spectrometry" (Varian Vista-PRO Ax, vilket är en ICP utrustad med en CCD kamera, ofta kallad ICP-OES).

Kvalitetssäkring

Alla analyser utfördes i enighet med ackrediterade metoder. Två olika internkontrollprover användes för kontroll av uppslutning och ICP-analys. Dessa var ett kommersiellt referensprov (flodsediment, NIST 1645, Washington DC) och ett internt referensprov (sjösediment).

Internkontrollprover och nollprover uppslöts och analyserades med varje batch av prover.

Nollproverna innehöll mycket låga halter av Ca och Mg. För internkontrollproverna var utbytet högt och variansen låg (Tabell 2).

Tabell 2. Precision och utbyte vid analys av Ca och Mg på referensmaterial uppslutet med HNO₃.

| Detektionsgräns (µg g ⁻¹ tv) | Nollprov (n=32) | | Certifierat referensmaterial (n=16) | | | Internt referensmaterial (n=14) | |
|--|---------------------------------------|---------------------------------------|--|------------|-------------------------------|--|-------------------------------|
| | Uppmätt halt (µg l ⁻¹) | Uppmätt halt / medelhalt i proven (%) | Certifierad koncentration (µg g ⁻¹ tv) | Utbyte (%) | Relativ standardavvikelse (%) | Uppmätt koncentration (µg g ⁻¹ tv) | Relativ standardavvikelse (%) |
| Ca 0,02 | 12 | 0,03 | 29 000 | 94,6 | 3,6 | 6 018 | 4,7 |
| Mg 0,006 | 2,5 | 0,1 | 7 400 | 94,4 | 2,9 | 10 486 | 4,7 |

Beräkningar

Karbonathalten i sedimenten beräknades utifrån viktminskningen vid glödförlust till 950°C under antagande att upphettningen leder till reaktionen



dvs. den uppmätta glödförlusten beror på avgång av CO₂. Viktminskningen beroende på CO₂-avgång räknades därefter om till vikt% CaCO₃ och MgCO₃ under antagande att karbonatkvoten CaCO₃/MgCO₃ var densamma som kvoten Ca/Mg. Med karbonathalt menas alltså i fortsättningen summan av kalciumkarbonat och magnesiumkarbonat.

Halten karbonater i sedimenten beräknades även från uppmätta koncentrationer av Ca och Mg, analyserade med ICP, under antagande att allt Ca och Mg i sedimenten förekom bundna som karbonater och att det inte fanns signifikanta mängder av andra karbonater. De beräknade

karbonathalterna (i % av torrvikten) plottades sedan mot den karbonathalt som uppmätts med glödförlust till 950°C (Figur 2 och 3).

Bulkdensiteten för varje prov beräknades genom att räkna ut andelen vatten (från frystorkning och TS), organiskt material (från glödförlust 550°C) och oorganiskt material (resten). Vatten antogs ha densiteten 1,0 g/cm³, organiskt material densiteten 1,2 g/cm³ och oorganiskt material 2,6 g/cm³ (Håkanson and Jansson, 1983).

Vid provtagningen togs inte alla skikt. För att kunna räkna på den totala kalkmängden i varje profil behöver man dock värden för samtliga skikt. Värden för de skikt som uteslöts vid provtagningen interpolerades därför fram genom att anta att bulkdensiteten, torrsbstanshalten och koncentrationerna (mg/g tv) av Ca och Mg var lika med medelvärdet av skikten närmast ovanför och nedanför det uteslutna skiktet.

Kalkmängden i varje skikt kunde sedan beräknas från bulkdensiteten (g/cm³), torrsbstanshalten (vikts-%) och karbonathalten (mg/g torrt sediment). Kalkrest i varje sedimentskikt beräknades genom att dra av bakgrundshalten, vilket definierades som ett medelvärde av de 2-4 nedersta skikten i vardera profil, se figurer i Appendix 2.

För att beräkna den totala kalkresten i profilen multiplicerades kalkresten (g m⁻² cm⁻¹) med skiktets tjocklek i cm och alla halter summerades, se Tabell 3.

Resultat och Diskussion

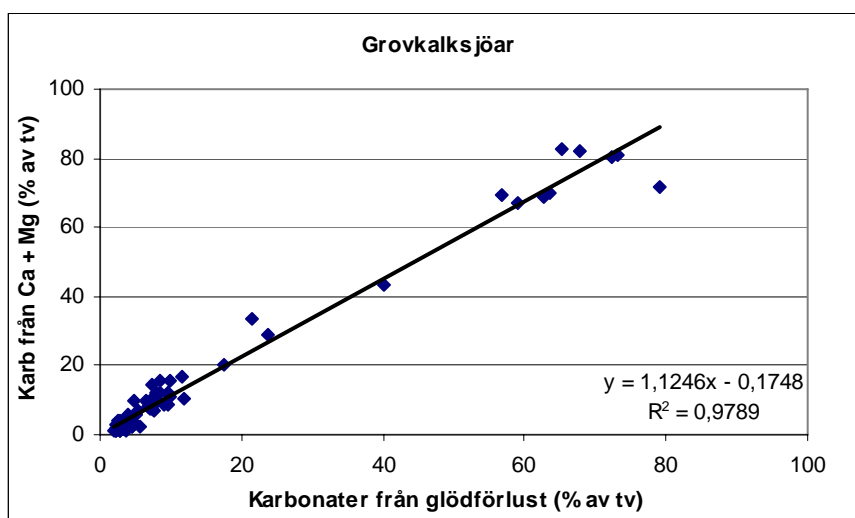
Karbonatanalyser

Korrelationen mellan karbonathalter uppmätta genom glödförlust vid 950°C och halter uträknade från Ca- och Mg-koncentrationer är hög, med r²-värde 0,98 för sjöarna som kalkats med grovkalk och 0,96 för de överkalkade sjöarna (Figur 2 och 3). Förhållandet mellan de två koncentrationerna är nära 1:1, halterna uträknade från Ca och Mg var 1,1 till 1,25 ggr högre än de halter som uppmättes med glödförlustmetoden. Detta tyder på att utbytet vid glödförlustanalysen var gott.

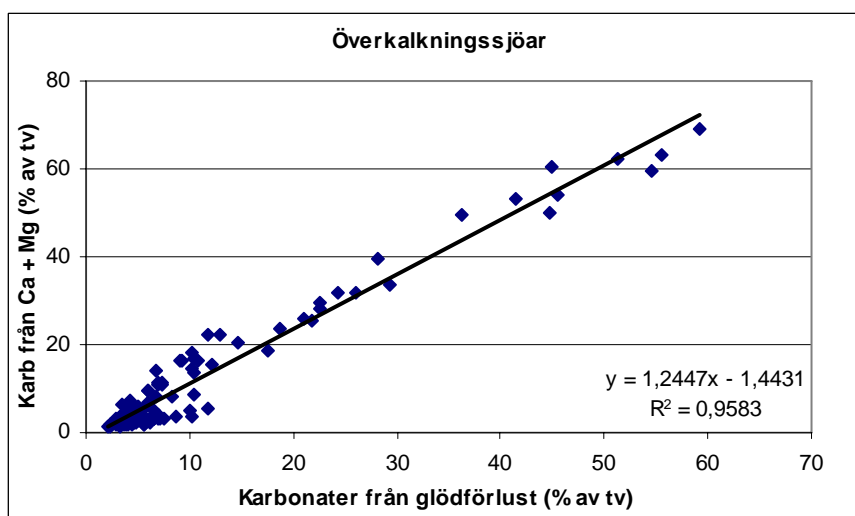
Den lilla skillnaden kan ha flera olika förklaringar. Dels kan det bero på att redan glödförlust till 550°C kan bränna av en del karbonater, som alltså inte kommer med i den följande glödningen till 950°C. Dels kan det förekomma andra karbonater än CaCO₃ och MgCO₃ eller andra föreningar av Ca och Mg än just karbonater. Det sistnämnda skulle kunna vara en förklaring till att de beräknade halterna blir något större än de uppmätta. Det har bla föreslagits att CaSO₄ skulle kunna fällas ut i samband med kalkning. En enkel jämviktskemisk modellering (MEDUSA, Version 18, februari 2004. <http://www.kemi.kth.se/medusa>) tyder dock på att endast någon procent av det Ca som går i lösning vid kalkning kan fällas som CaSO₄. De extremt höga koncentrationer av Ca och Mg som finns i ytliga sediment tyder på en kraftig kalkpåverkan. Jämviktskemiska modeller visar att sannolikheten för att få utfällning av CaCO₃, MgCO₃ eller CaSO₄ från lösta fraktioner är mycket liten. De fraktioner som återfinns i sedimenten utgörs alltså till allra största delen av kalk som inte löst upp sig i vattenmassan utan sedimenterat direkt i samband med kalkningen.

Trots att båda analyserna fungerar bra utgår vi utifrån diskussionen ovan att koncentrationerna av Ca och Mg ger det bästa måttet på mängden Ca- och Mg-karbonater i sedimenten, åtminstone i ytliga lager. I djupare sediment med låga karbonathalter är osäkerheten något större, men eftersom syftet med denna studie är att titta på kalkrester i sedimenten och de djupare skikten utgör en

förhållandevis liten andel av kalklagret anses denna osäkerhet vara försumbar. Karbonathalten, eller kalkresten i sedimenten kommer därför härefter att definieras som den halt som räknas ut från Ca- och Mg-koncentrationer, under antagande att allt Ca och Mg föreligger som karbonater.



Figur 2. Korrelation mellan karbonathalt analyserad genom glödförlust vid 950 °C och karbonathalt uträknad med koncentrationer av Ca och Mg uppmätt med ICP för sjöar kalkade med grovkalk.



Figur 3. Korrelation mellan karbonathalt analyserad genom glödförlust vid 950 °C och karbonathalt uträknad med koncentrationer av Ca och Mg uppmätt med ICP för IKEU's överkalkade sjöar.

Kalkrester i sedimenten

Efter att bakgrundshalten av karbonater dragits av, kan man se att karbonathalten i de flesta sjöar börjar stiga omkring 20 cm ner i sedimenten. Detta är troligen inte ett resultat av kalkpåverkan, utan snarare en effekt av ökad uttransport av katjoner från mark pga försurning (Reuss and Johnson, 1986). Mellan 10 och 5 cm djup går karbonathalterna i de flesta sjöar upp kraftigt, vilket tolkas som en tydlig kalkpåverkan (Appendix 1 och 2, Figur 1-15). I flera av sjöarna når karbonathalten extremt höga nivåer, upp till 80% av torrvikten består av karbonater i ytliga sedimentlager i Arbrovatten och Bodasjön, som efter många års "vanlig kalkning" kalkades med en hög dos

grovkalk 2006. Båda dessa sjöar har kalkdepåer i ytliga lager på upp till 4-5 kg per kvadratmeter i ett 1 cm djupt skikt (Appendix 2, Figur 14, 15). Även flera av IKEU's överkalkningssjöar har mycket stora kalkdepåer i sedimenten (Tabell 3, Appendix 2).

Tabell 3. Kalkrester i sedimenten, karbonathalter beräknade från koncentrationer av Ca och Mg analyserade med ICP

| Sjö | Total kalkrest i djuphålan (g/m ²) |
|---------------------|---|
| Lillasjön | 66,7 |
| Västra Hultasjön | 257 |
| Stora Ålagylet | 194 |
| Härbillingen | 793 |
| Hagsjön | 1050 |
| Gärsjön | 661 |
| Stora Silevatten | 972 |
| Stora Vrångstjärnet | 5390 |
| Motjärn | 865 |
| Kånkåstjärnen | 8,55 (16,7) ^a |
| Långasjö | 981 |
| Holmsjön | 97 (699) ^b |
| Stensjön | 370 |
| Bodasjön | 12050 |
| Arbrovatten | 10990 |

^a räknat med alternativ skiktning, se under rubriken provtagning

^b extra profil, ej från djuphålan, se under rubriken provtagning

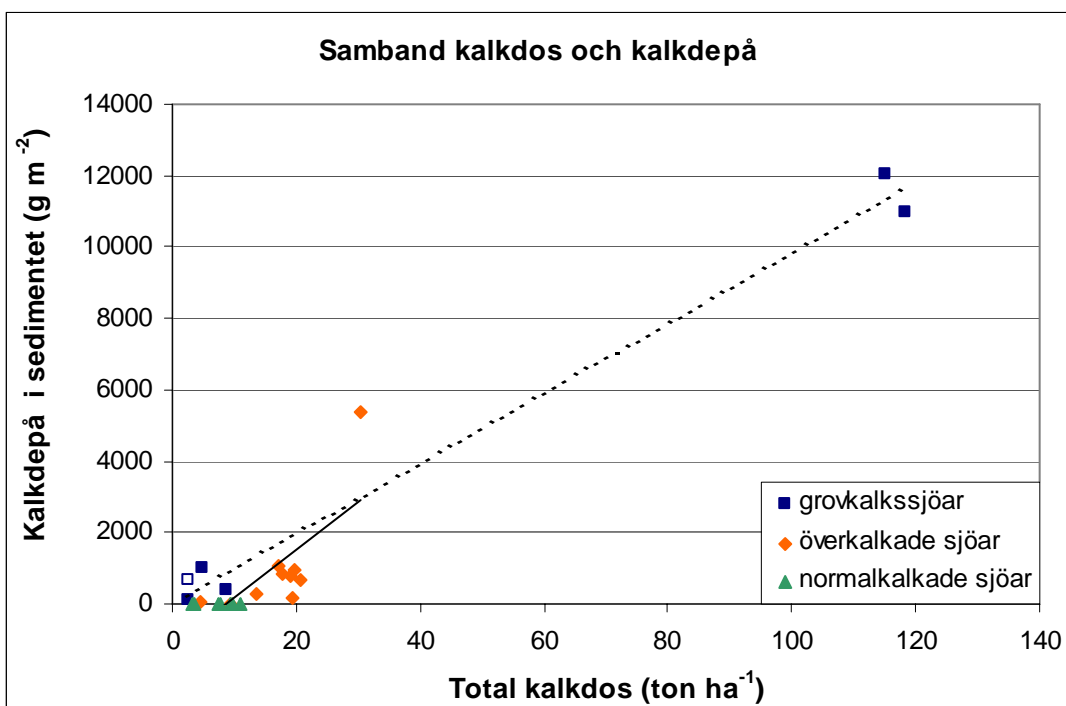
Intressant är att notera att i både Långasjö och Holmsjön (Appendix 2, Figur 11 och 13) syns tydlig kalkpåverkan 10 cm ner i sedimenten. Båda dessa sjöar är kalkade 2004 i försöket med grovkalk och har inte kalkats tidigare. Även Stensjön (Appendix 2, Figur 12) kalkades för första gången 2004, också den i försöket med grovkalk. I Stensjön syns tydlig kalkverkan åtminstone 4-5 cm ner i sedimentet. Kalk som hamnar längre ner i sedimenten än ett par cm blir sannolikt immobiliserade och ger därmed ingen framtida kalkverkan.

Även i vissa av IKEU's överkalkningssjöar finns stora kalkdepåer i sedimenten, speciellt Hagsjön och Stora Vrångstjärnet, medan vissa sjöar, t ex Lillasjön och Kånkåstjärnen har små depåer (Tabell 3). Intressant är att jämföra tex Lillasjön med Stora Vrångstjärnet. Dessa två sjöar är jämförbara storleksmässigt, både när det gäller sjöarea och avrinningsområdets area. Stora Vrångstjärnet kalkas med en dos som är 6,5 ggr högre än den som används i Lillasjön (Tabell 1) men kalkdepån i sedimentprofilen från Stora Vrångstjärnet är 80 ggr högre än depån i profilen från Lillasjön. Detta kan till viss del bero på osäkerheter i provtagningen, det är möjligt att provtagningen i Stora Vrångstjärnet träffade de sediment som hade högst kalkhalter, medan profilen i Lillasjön togs utanför det område där kalken huvudsakligen hade spridits, men det antyder också att en hög kalkdos ger en stor kalkdepå i sedimentet. I Figur 4 syns ett tydligt samband mellan dos och kalkdepå i de analyserade sedimentprofilerna.

Tidigare studier har visat att kalkens upplösningseffekt minskar med ökande kalkdos och ökande pH-värde före kalkning (Sverdrup och Warfvinge, 1988). Samtliga IKEU's överkalkningssjöar har pH-värden på över 7 (Persson m. fl., 2007) och det är rimligt att anta att upplösningen vid kalkning är relativt låg. Det är dessutom rimligt att anta att upplösningen blir mindre ju högre dos man

använder, vilket förstås leder till hög sedimentation av den tillsatta kalken och därmed höga kalkdepåer i sedimenten.

En jämförelse med data från andra sjöar inom IKEU, som provtogs 1998-1999 för att studera metallinnehållet i sedimenten i kalkade sjöar (Wällstedt och Borg, 2005) visar också på mycket högt karbonatinnehåll i sedimenten i de nu provtagna överkalkade sjöarna. Karbonathalter uträknade från Ca- och Mg-koncentrationer i IKEU's övriga sjöar ligger i många fall under 5 % av torrvikten (jämför Appendix 1). I Stora Härsjön, som är mycket kraftigt kalkad och har definierats som överkalkad av Persson m. fl. (2007) återfinns en maximal karbonatkoncentration på ca 25 % av torrvikten och i Gyltigesjön, som tidigare uteslutits från utvärderingen av metallhalter i sediment pga. de extrema kalkdoserna (Wällstedt och Borg, 2005) ligger den maximala karbonatkoncentrationen i sedimentet på ca 28 % av torrvikten, att jämföras med koncentrationer på upp till 80% som återfanns i den här studien.



Figur 4. Samband mellan total kalkdos i sjön under alla år (ton ha⁻¹) och kalkdepå i den analyserade sedimentprofilen (kg m⁻²) för samtliga överkalkningsjöar och grovkalkssjöar i projektet, samt för 7 "normalt kalkade" sjöar inom IKEU, undersökta 1998-1999 (Wällstedt, 2005). Regressionslinjen för grovkalkade sjöar (streckad) har $R^2 = 0,99$; $y = 98,8x - 31,9$. Regressionslinjen för samtliga sjöar kalkade med kalkstensmjöl (heldragen) har $R^2 = 0,59$; $y = 133,7x - 1153$.

För sjöar kalkade med kalkstensmjöl korsar regressionslinjen i Figur 4 x-axeln vid 8,6 ton ha⁻¹ då $y = 0$, vilket tyder på att låga doser av kalkstensmjöl inte orsakar kalkdepåer i sedimentet. Sjöarna som kalkats med kalkstensmjöl hade i genomsnitt kalkats i 19 år innan sedimentproverna togs och "brytpunkten" då doserna i genomsnitt börjar ge upphov till kalkrester i sedimentet ligger alltså på i snitt ca 0,45 ton kalk per hektar sjöyta och år i denna studie.

Intressant att notera är att resultaten tyder på att kalkning med grovkalk ger upphov till kalkdepåer i sedimentet vid lägre doser jämfört med kalkning med kalkmjöl (Figur 4). Man ska dock komma ihåg att denna bedömning baserar sig på ett fåtal observationer. I realiteten kan endast de 3 sjöar som kalkats enbart med grovkalk användas för denna bedömning. För att kunna dra säkrare slutsatser angående effekterna av grovkalk behöver flera sjöar undersökas.

Slutsatser

Höga kalkdoser leder till stora kalkdepåer i sedimenten. Höga kalkhalter återfinns ofta flera cm ner i sedimenten, där de troligen immobiliseras och därmed inte ger någon framtida kalkverkan. Detta gäller särskilt vid kalkning med grovkalk, där kalken kan sjunka så långt ner som 10 cm i samband med kalkning.

Det finns därför anledning att se över kalkningsstrategierna i de sjöar som kalkas med högst doser. En försiktigare kalkning ger troligen en mindre påverkan på sedimenten och därmed den biologi som finns där samtidigt som den är mer kostnadseffektiv, utan att ge lägre pH.

Tack

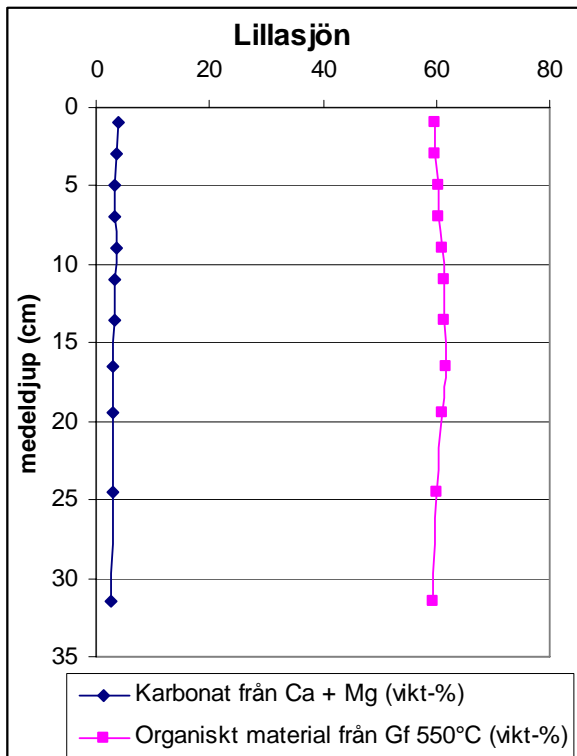
Stort tack till Jörgen Ek (ITM), Lotta Rubio-Lindh och Bengt Boström (Länsstyrelsen i Västernorrlands Län) för hjälp med provtagningen. ICP-analyserna utfördes på Institutionen för Geologi och Geokemi, Stockholms Universitet av Heike Siegmund och Carl-Magnus Mörth. Studien finansierades av Naturvårdsverket, IKEU-programmet.

Referenser

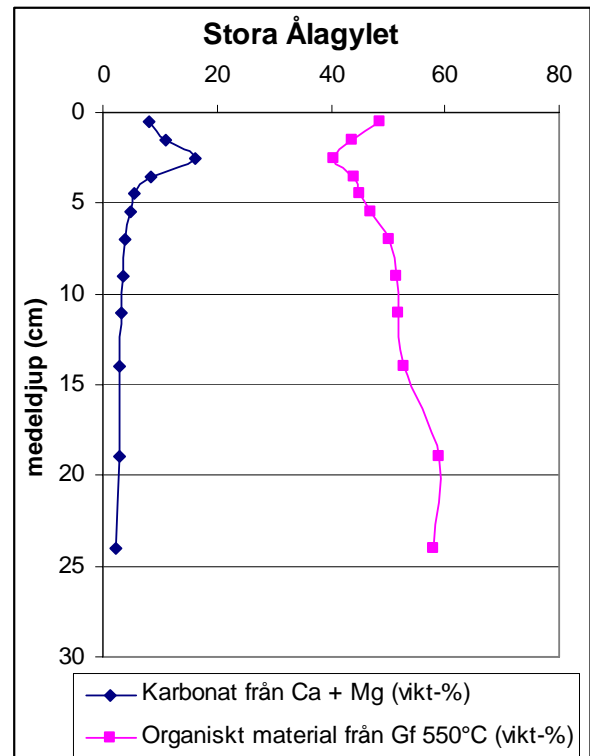
- Gahnström, G., 1995. The effects of liming on microbial activity and the decomposition of organic material. In: Henrikson, L. and Brodin, Y. W. (Ed.), *Liming of Acidified Surface Waters*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 179-191.
- Håkanson, L., Jansson, M., 1983. *Principles of Lake Sedimentology*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Persson, G., Wilander, A., Willén, E., Wällstedt, T., 2007. Överdoser av kalk; Underlag till revision av Naturvårdsverkets handbok för kalkning av sjöar och vattendrag. Institutionen för miljöanalys, SLU, Uppsala. Report 2007:3.
- Reuss, J.O., Johnson, D.W., 1986. *Acid Deposition and the Acidification of Soils and Waters*. Springer-Verlag.
- Sverdrup, H., Warfvinge, P., 1988. Lake Liming in Different Types of Acid Lakes Using Various Types of Calcite Powders and Methods. *Water Air and Soil Pollution* 41, 189-222.
- Wilander, A., Andersson, P., Borg, H., Broberg, O., 1995. The effects of liming on water chemistry. In: Henrikson, L. and Brodin, Y. W. (Ed.), *Liming of Acidified Surface Waters*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 125-178.
- Wällstedt, T., 2005. Influence of acidification and liming on metals in lake sediments, Doctoral thesis. Thesis, Department of Applied Environmental Science, Stockholm University
- Wällstedt, T., Borg, H., 2005. Metal burdens in surface sediments of limed and nonlimed lakes. *Science of the Total Environment* 336, 135-154.

Appendix 1

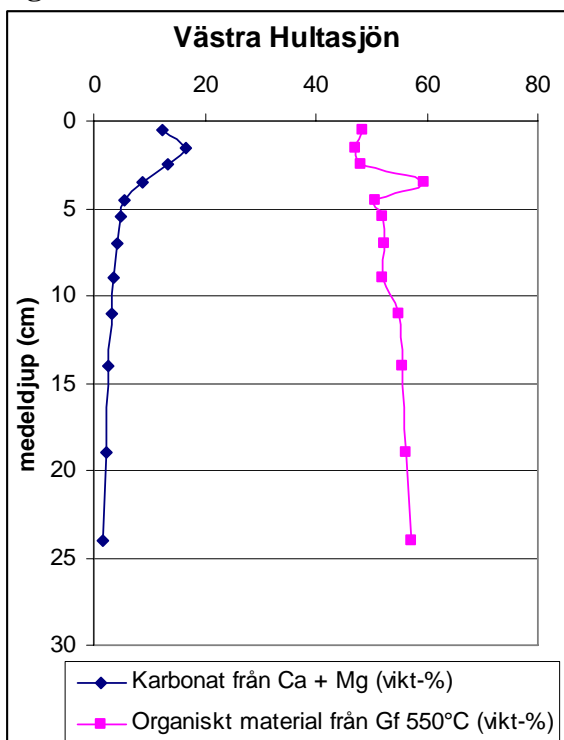
Figur 1-15. Karbonathalt (vikt-%) beräknad från Ca- och Mg-koncentrationer och organiskt material (vikt-%) analyserat som glödförlust vid 550°C i sedimentprofiler tagna i djuphålan i 10 överkalkade sjöar och 5 sjöar kalkade med grovkalk. Notera att skalan på x-axeln skiljer sig mellan de olika figurerna.



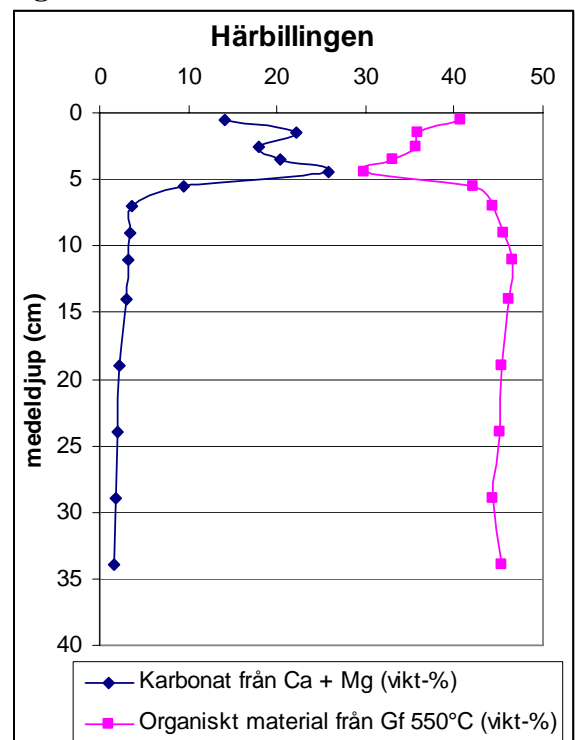
Figur 1



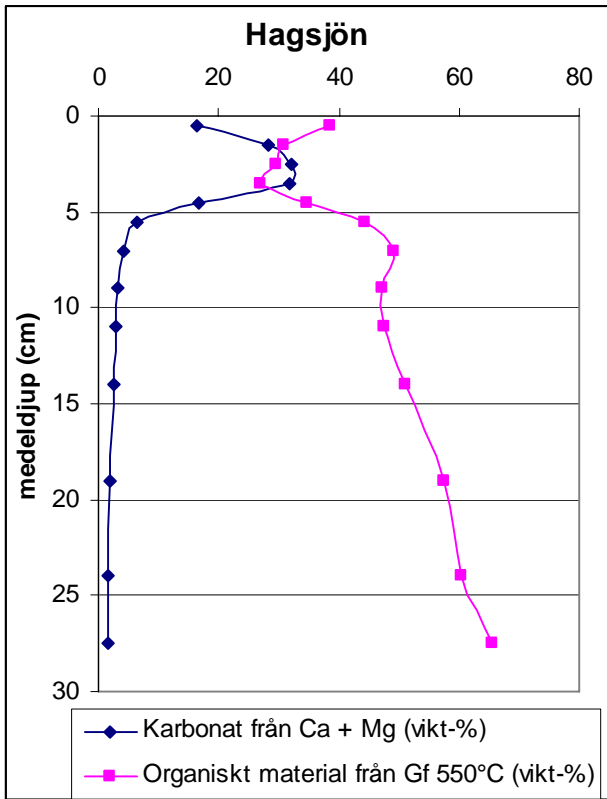
Figur 2



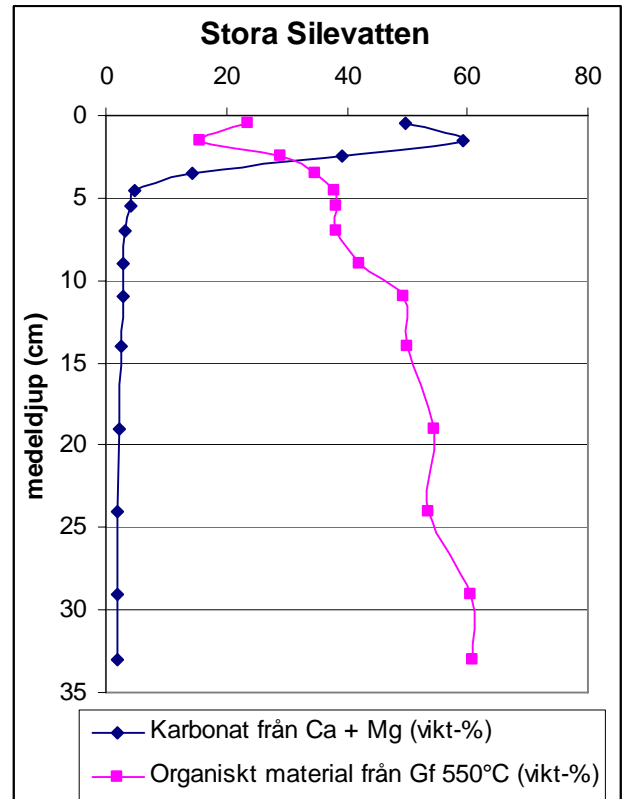
Figur 3



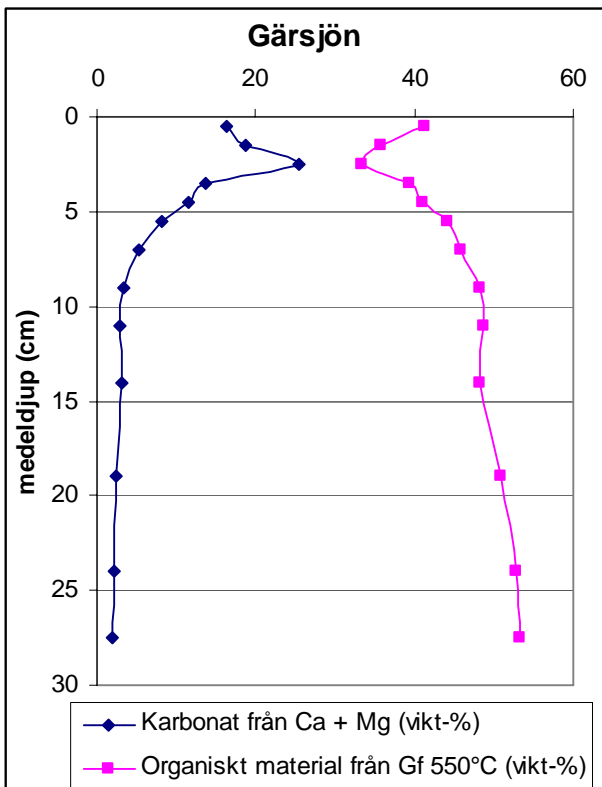
Figur 4



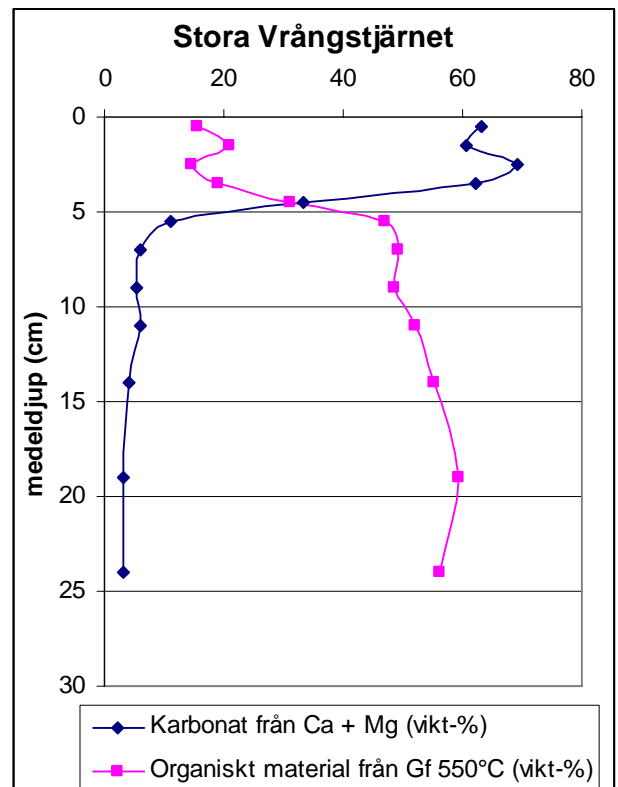
Figur 5



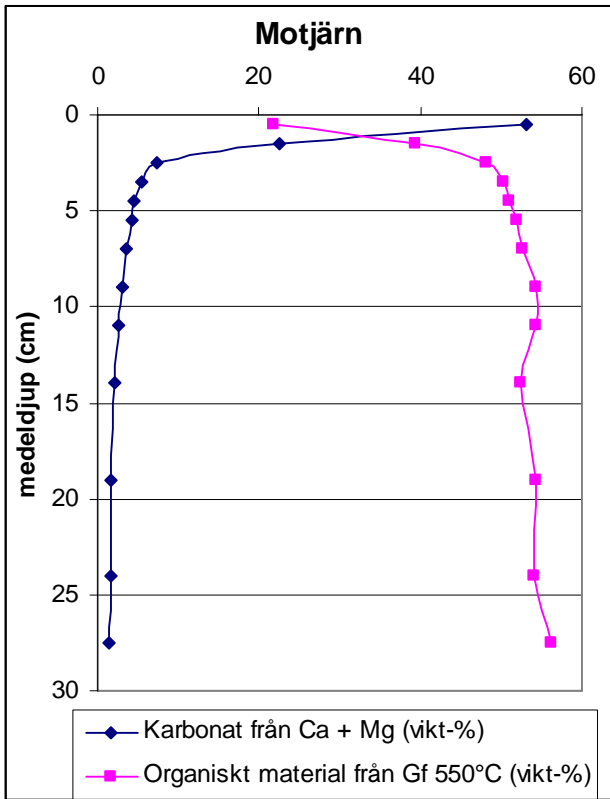
Figur 6



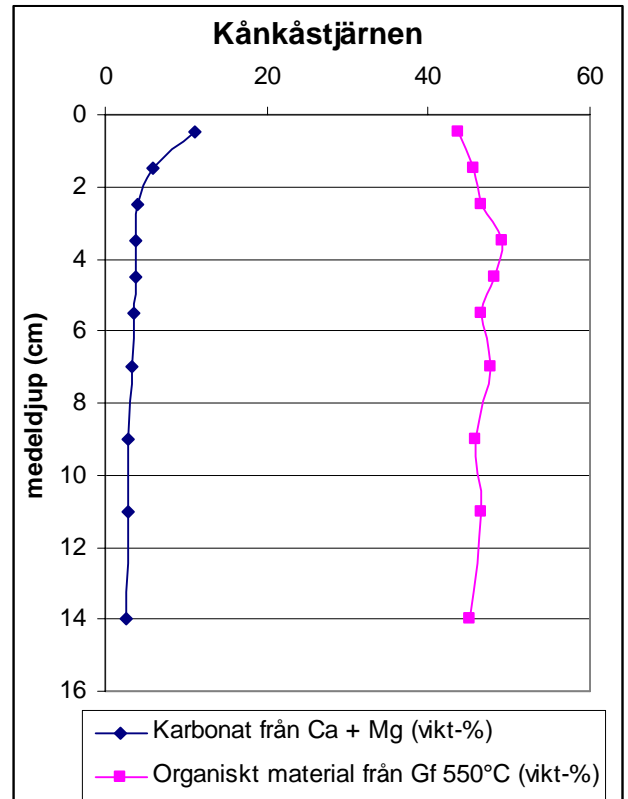
Figur 7



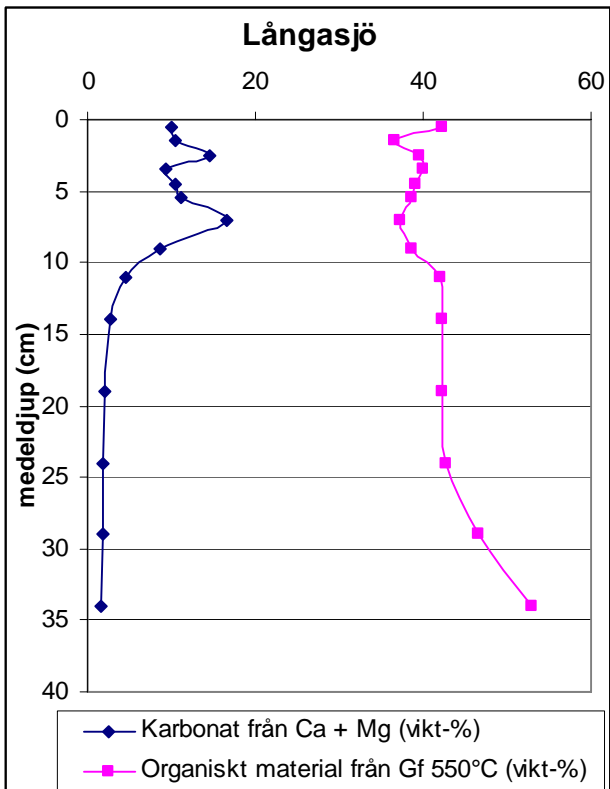
Figur 8



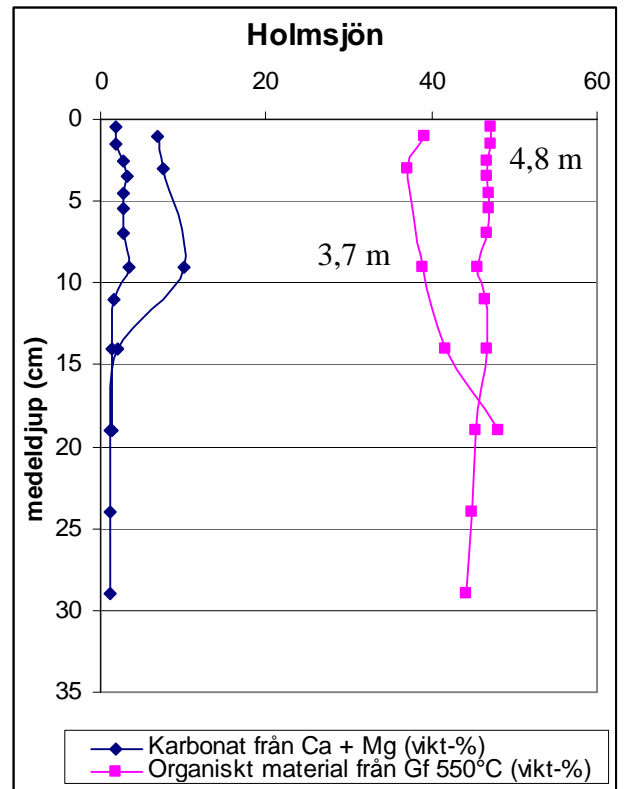
Figur 9



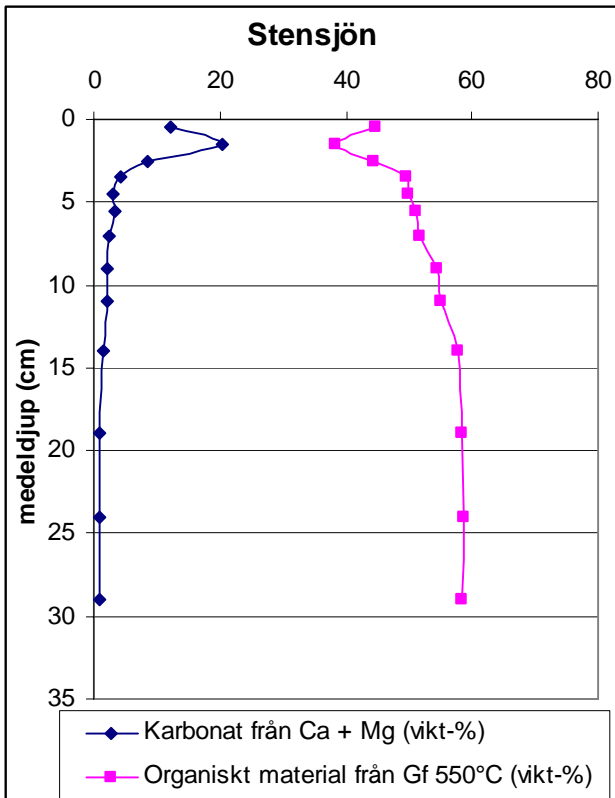
Figur 10



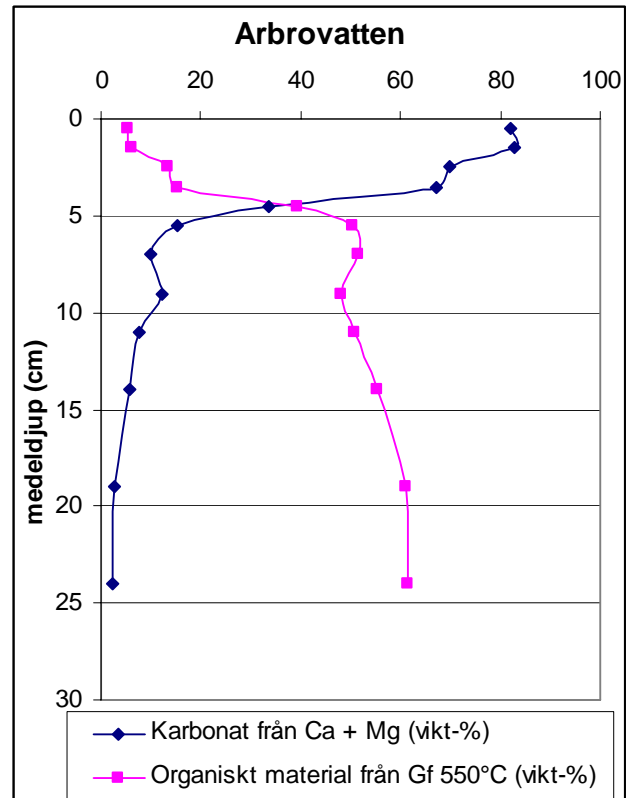
Figur 11



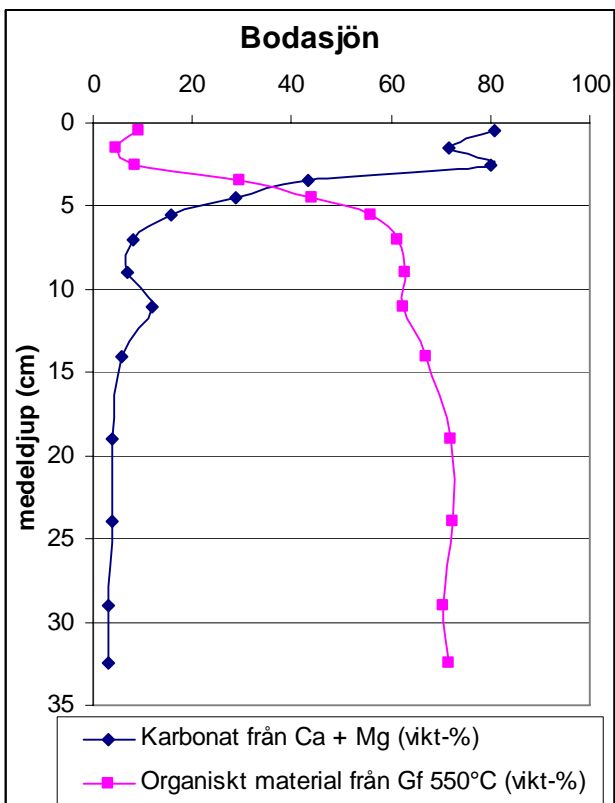
Figur 12



Figur 13



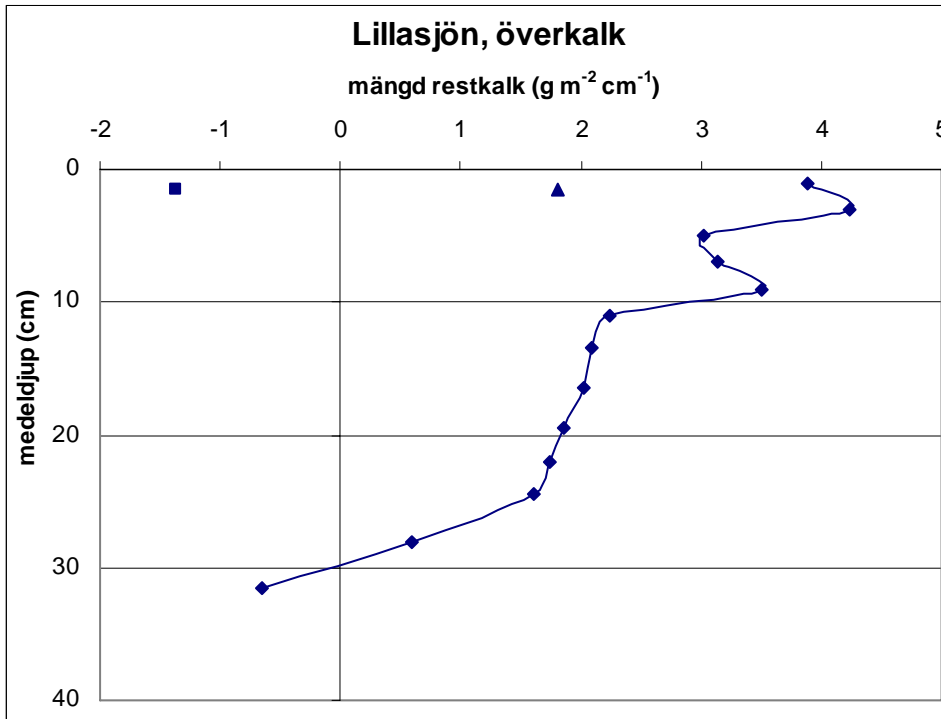
Figur 14



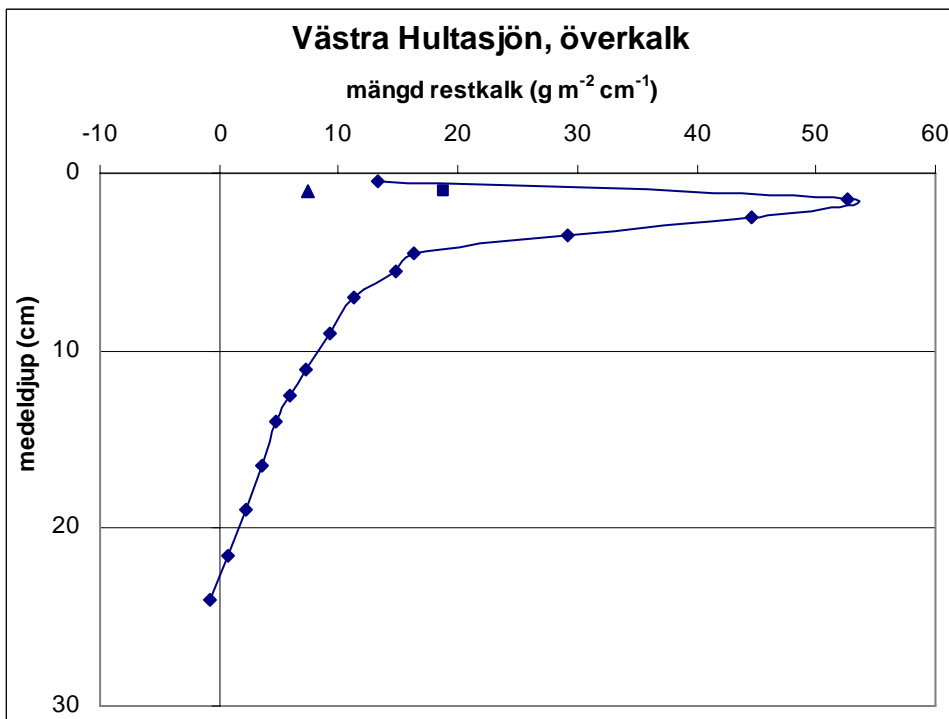
Figur 15

Appendix 2

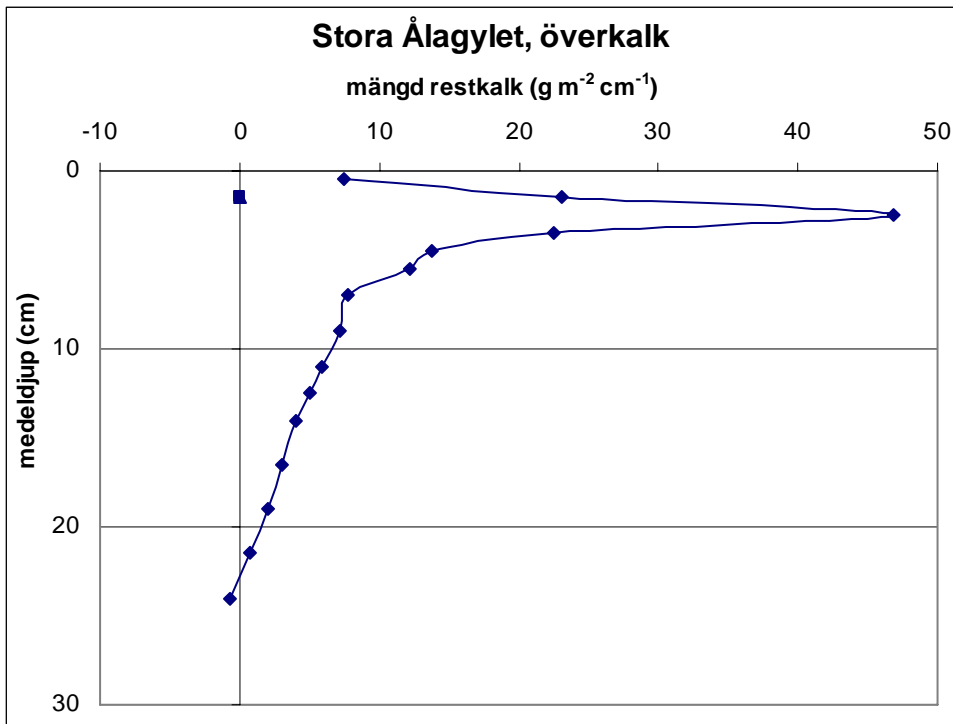
Figur 1-15, kalkrester (g m^{-2} i 1 cm skikt) i sedimentprofiler från djuphålan i 10 överkalkade sjöar och 5 sjöar kalkade med grovkalk. Notera att skalan på x-axeln skiljer sig mellan de olika figurerna.



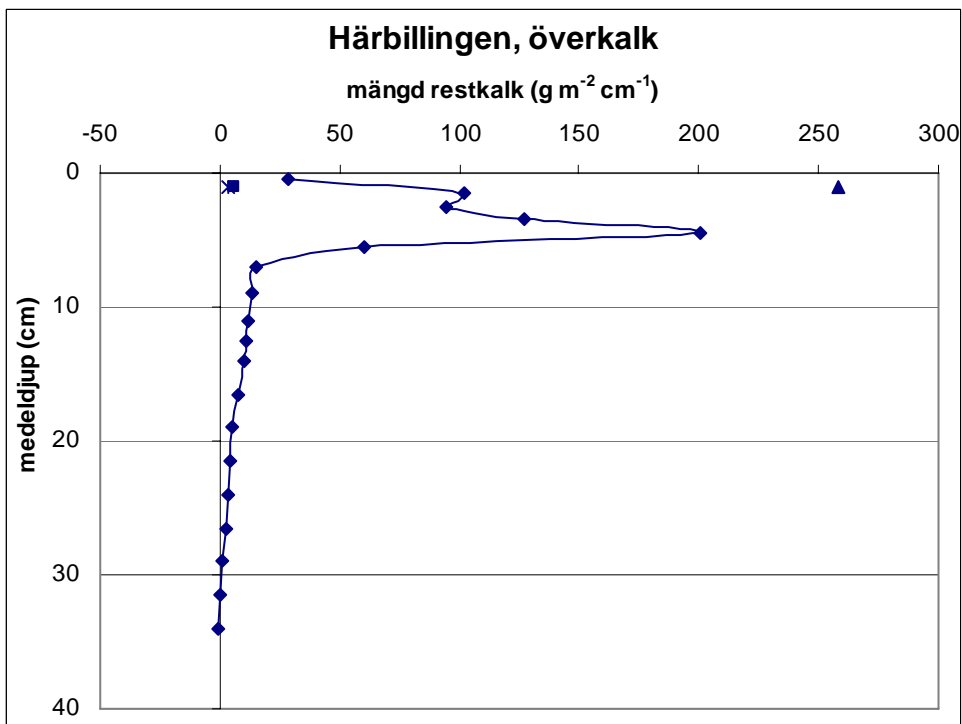
Figur 1.



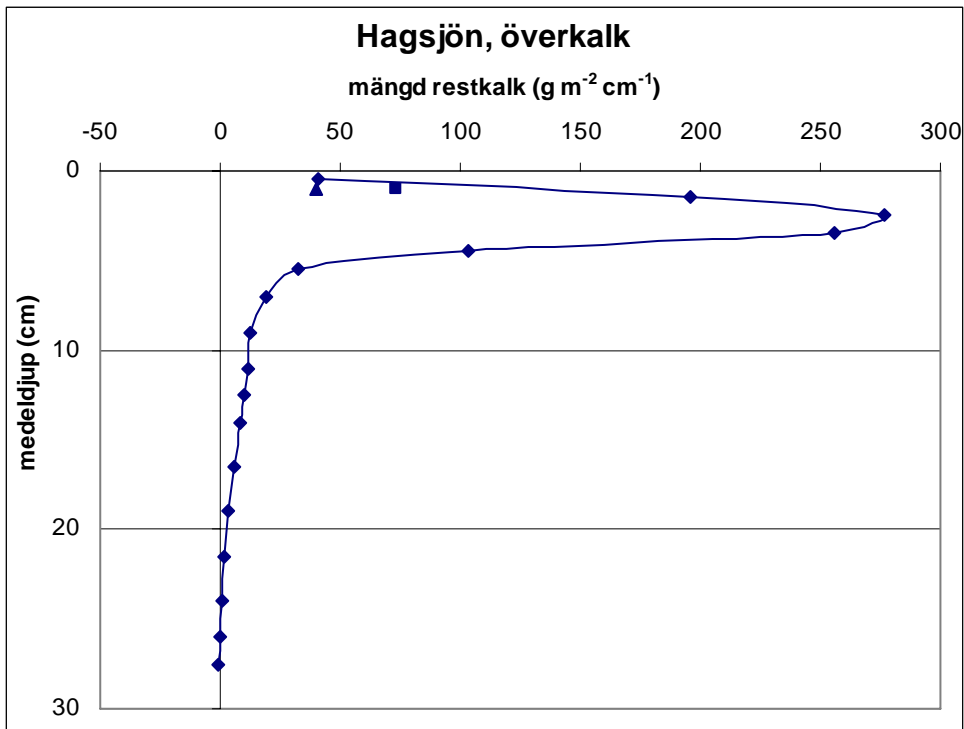
Figur 2.



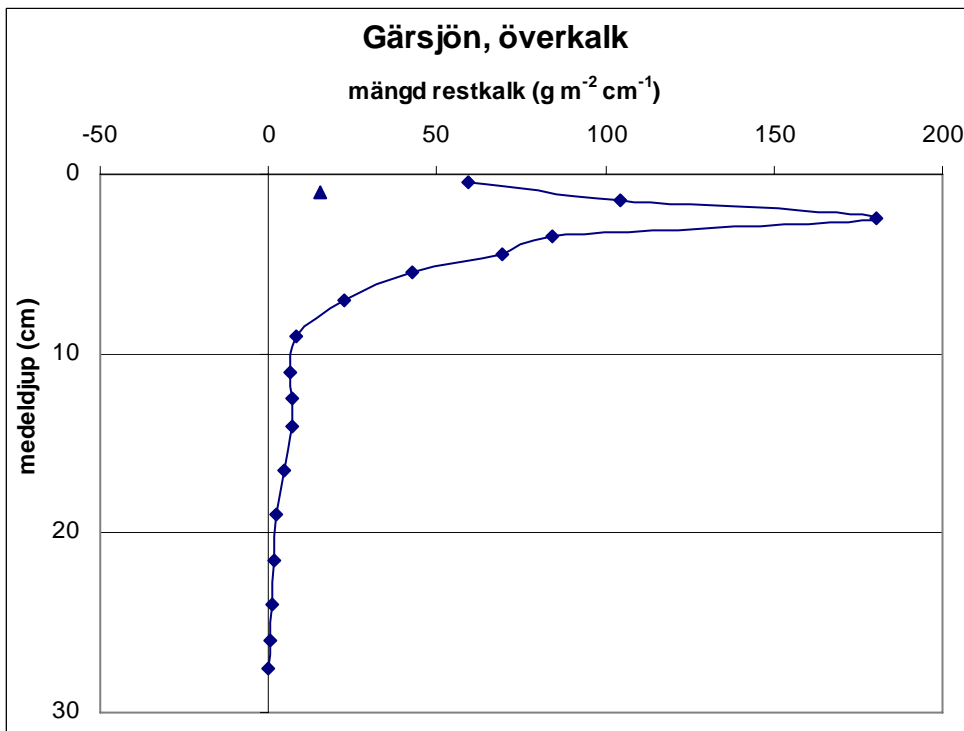
Figur 3.



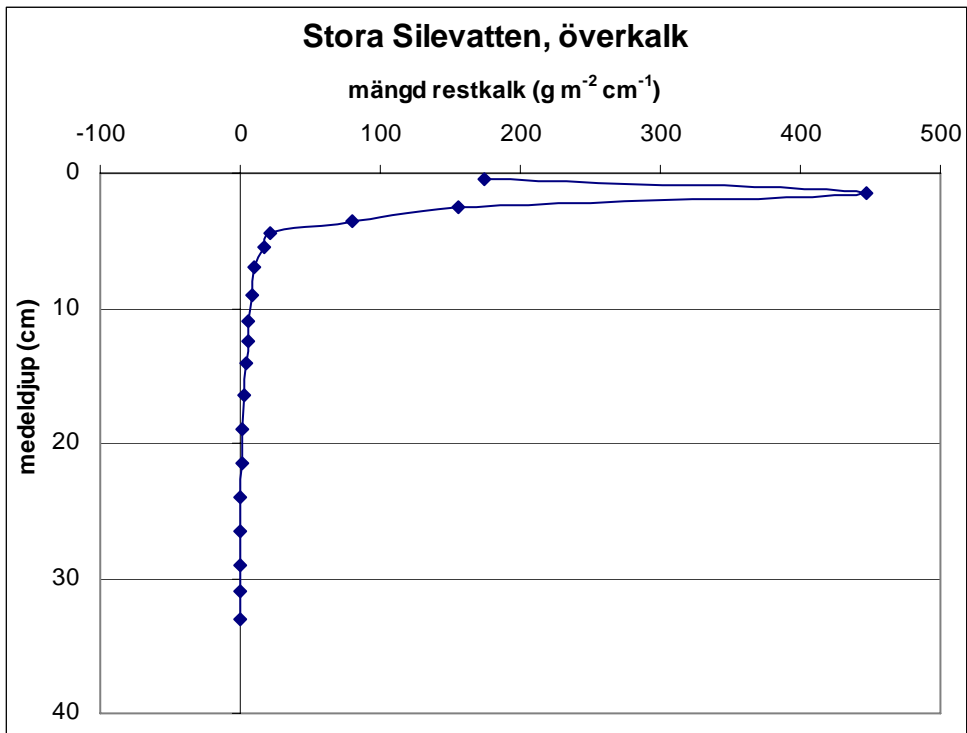
Figur 4.



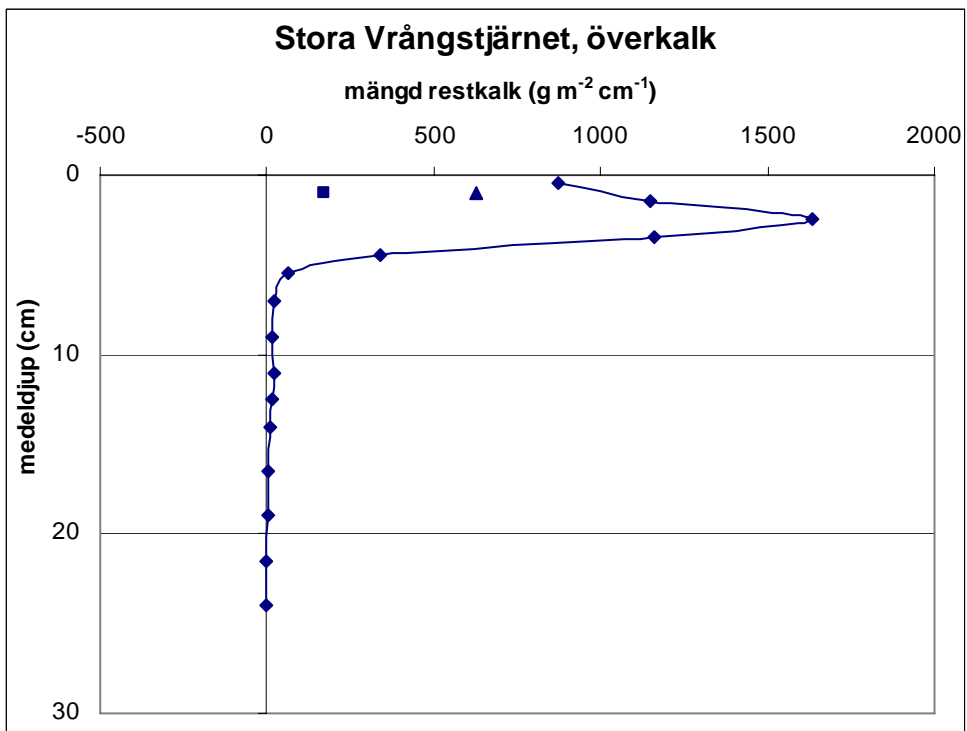
Figur 5.



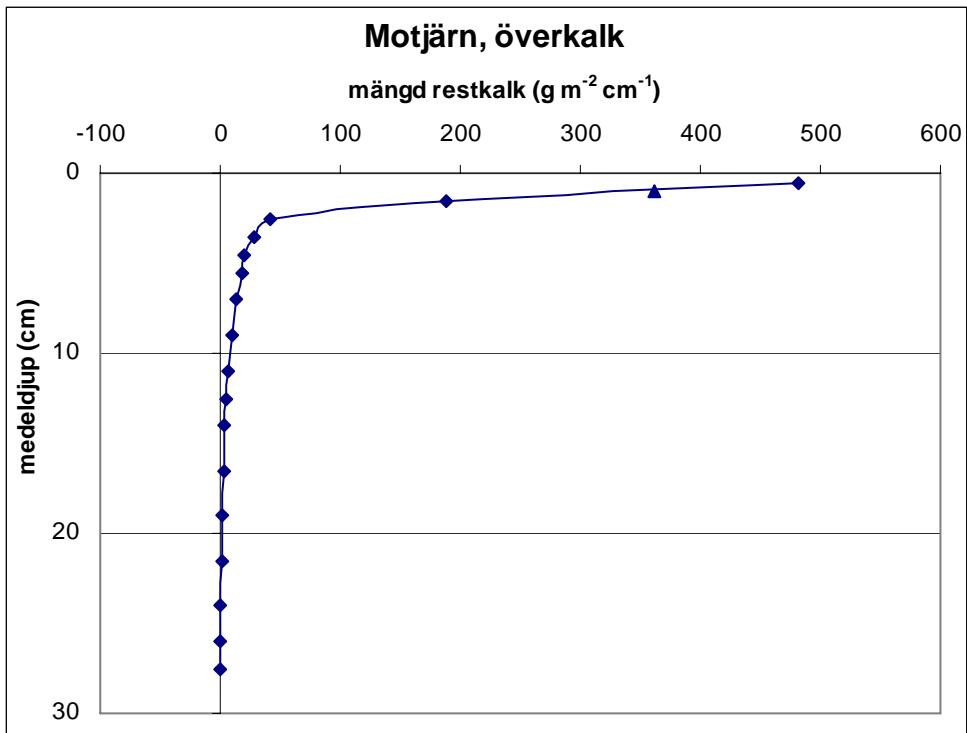
Figur 6.



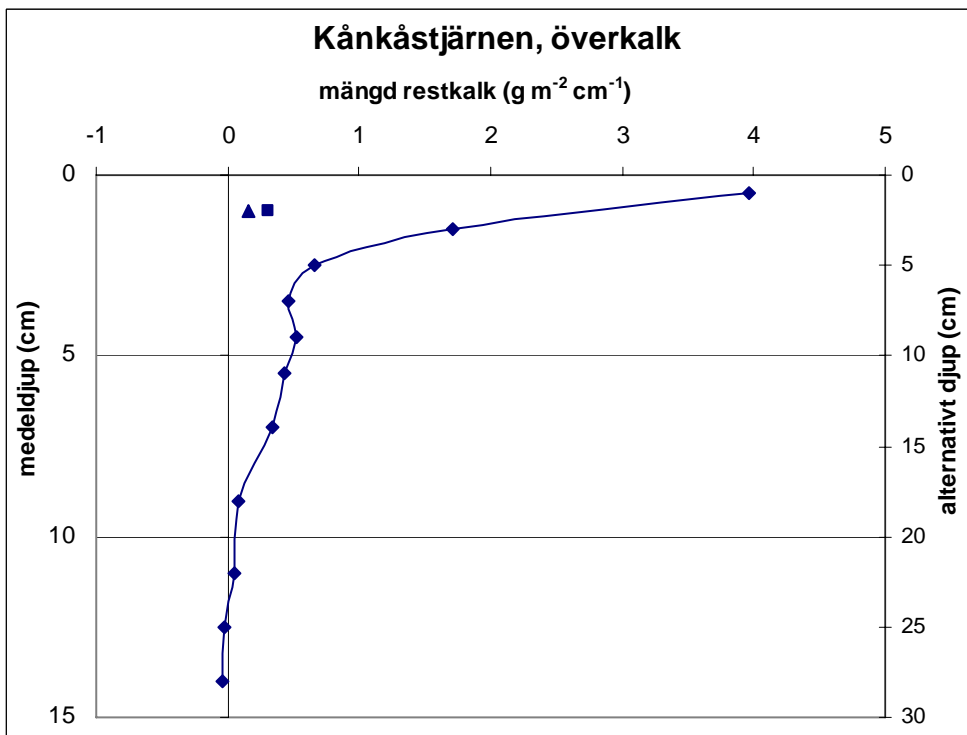
Figur 7.



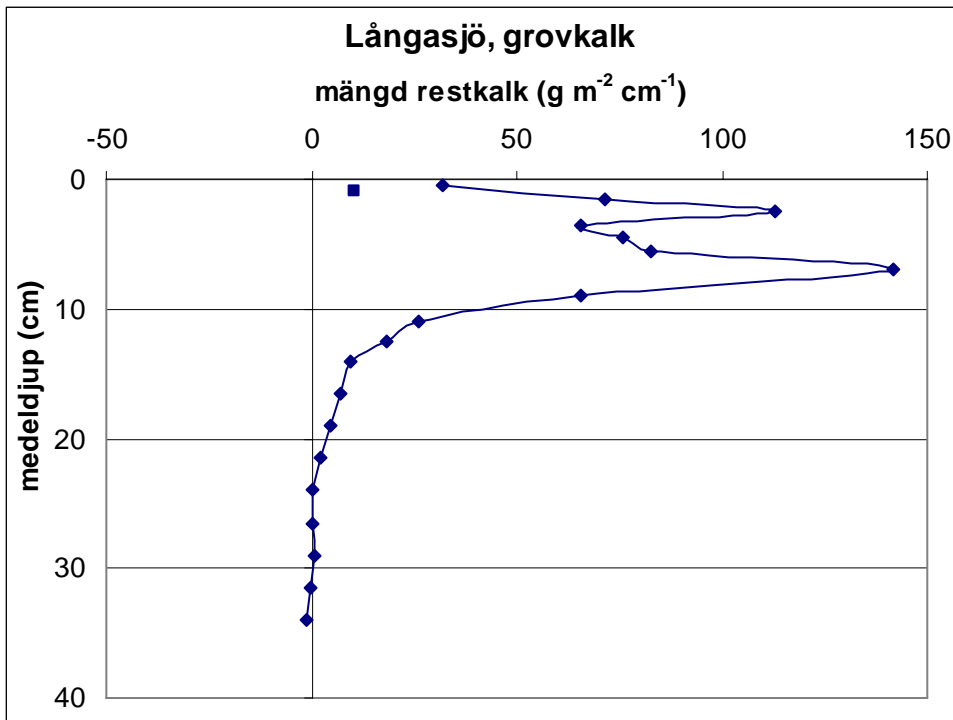
Figur 8.



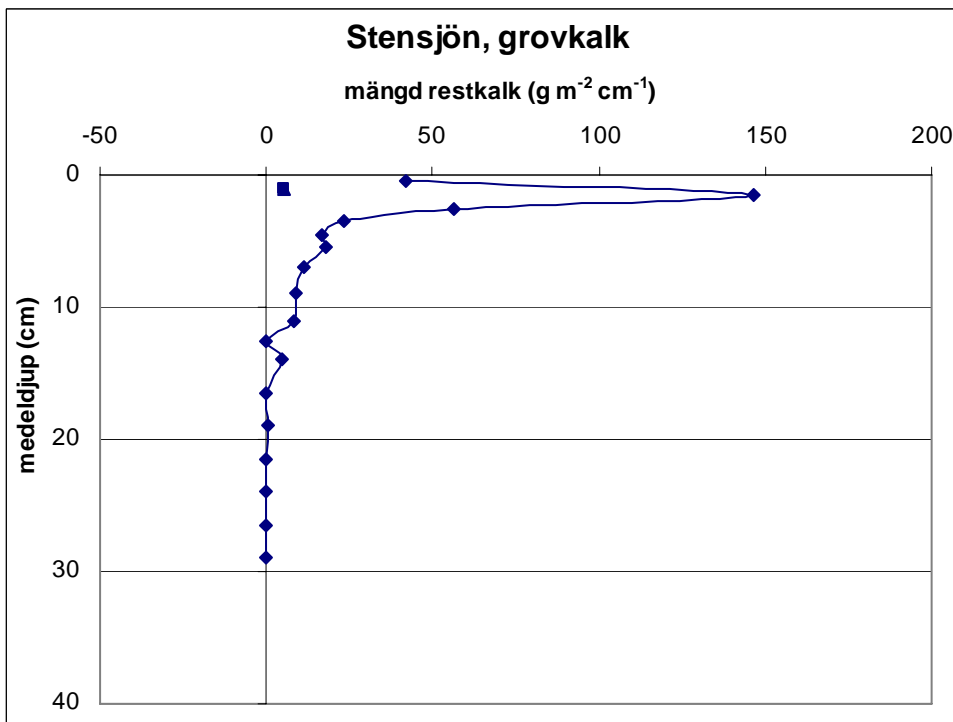
Figur 9.



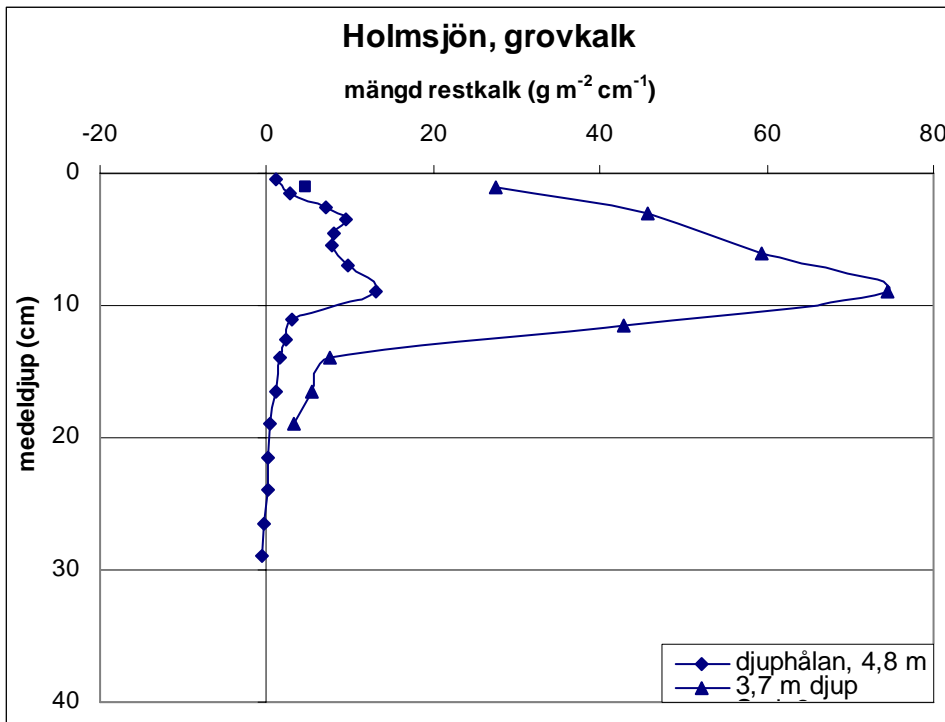
Figur 10.



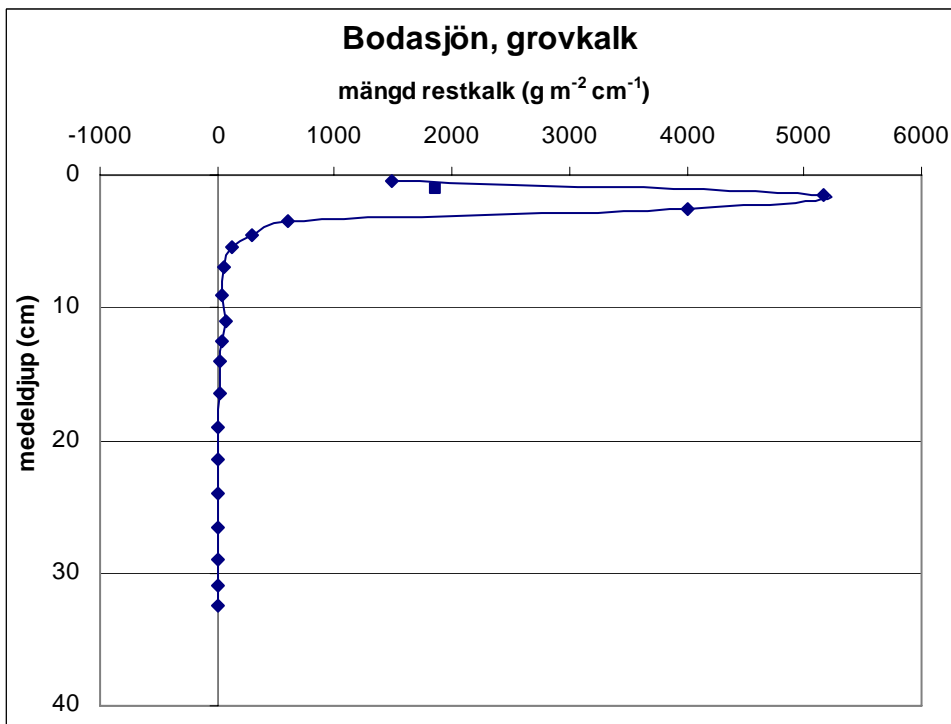
Figur 11.



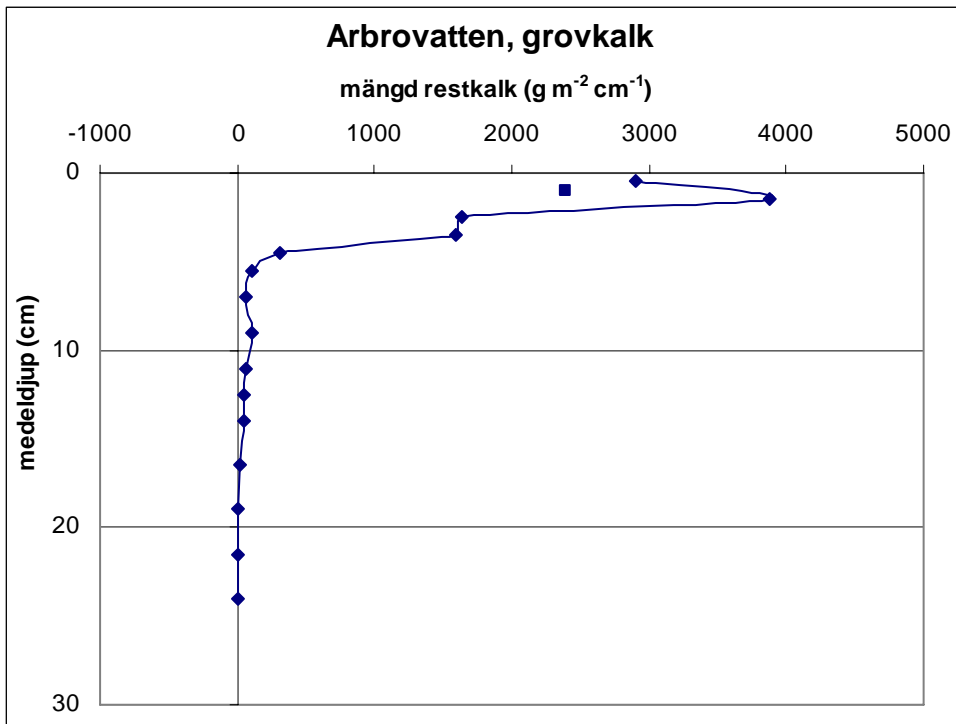
Figur 12.



Figur 13.



Figur 14.



Figur 15.

