



Länsstyrelsen i Jönköpings län

Effekten av Grovkalk och Granuler som kalkningsmedel på våtmarker

Arton års vattenkemiska resultat från våtmarker kalkade med grovkalk och granuler





■ Effekten av Grovkalk och Granuler som kalkningsmedel på våtmarker

Arton års vattenkemiska resultat från våtmarker kalkade med grovkalk och granuler.

Meddelande	nr 2009:21
Författare	Anders Svahnberg, Ingemar Abrahamsson, Värnamo, 2009
Referens	Tobias Haag, Naturavdelningen Vattenfunktionen, Maj 2009
Kontaktperson	Tobias Haag, Länsstyrelsen i Jönköpings län, Direkttelefon 036-39 50 51, e-post tobias.haag@lansstyrelsen.se
Webbplats	www.lansstyrelsen.se/jonkoping
Fotografier	Omslagsbild: Grovkalkning. Foto: Anders Svahnberg, Myrica AB.
ISSN	1101-9425
ISRN	LSTY-F-M—09/21--SE
Upplaga	100 ex.
Tryckt på	Länsstyrelsen, Jönköping 2009
Miljö och återvinning	Rapporten är tryckt på miljömärkt papper och omslaget består av PET-plast, kartong, bomullsväv och miljömärkt lim. Vid återvinning tas omslaget bort och sorteras som brännbart avfall, rapportsidorna sorteras som papper.

© Länsstyrelsen i Jönköpings län 2009

Innehållsförteckning

Förord.....	6
Sammanfattning	7
1. Inledning	8
1.1 Bakgrund.....	8
1.2 Syfte.....	8
2. Material och metoder	9
3. Resultat och diskussion	14
3.1 pH och alkalinitet	14
3.2 Uttransporterad och upplöst kalk	19
4. Slutsatser	29
Erkännanden.....	30
Referenser.....	31

Förord

Försurning orsakad av luftföroreningar är ett av Jönköpings läns största miljöproblem. För att motverka försurningen sker sedan 30 år en omfattande kalkning av sjöar och vattendrag. En stor del av kalkningen i Sverige sker idag på våtmarker. Våtmarkskalkning är ett effektivt sätt att åtgärda försurade vattendrag och sjöar med korta omsättningstider.

När våtmarkskalkningen startade användes kalkstensmjöl som kalkningsmedel. Mjölet hade mindre önskvärda egenskaper som; omfattande damning, en del av kalken drev bort och för vissa våtmarker en för snabb upplösning och uttransport. För att testa nya kalkprodukter för våtmarker startade 1990 det så kallade grovkalksprojektet. Resultaten från projektet har bland annat lett till att idag används bara mindre dammande produkter som grovkalker och granuler vid kalkning av våtmarker. Nya kalkprodukter har under projektets gång kommit till och de långsiktiga effekterna av återkommande kalkning med grovkalker och granuler följs. Försöken är värdefulla för att våtmarkskalkningen, även i fortsättningen, skall kunna ske med så hög kvalitet som möjligt.

Utvärderingen är gjord av Anders Svanberg, Myrica AB och Ingemar Abrahamsson, Medins Biologi AB och finansierats med medel från Naturvårdsverket. Författarna svarar själva för rapportens innehåll varför detta inte kan åberopas som Länsstyrelsens åsikt. Uppföljning och spridning har genom åren haft många finansiärer, se erkännanden. Projektledare har ända sedan starten varit Anders Svanberg, Myrica AB. Ett stort tack till alla!

Tobias Haag
Samordnare kalkningsverksamheten
Länsstyrelsen i Jönköpings län

Sammanfattning

Sedan 1990 och på initiativ av Myrica kalkningskonsult Anders Svahnberg har en försöksverksamhet bedrivits i trakterna runt Värnamo i syfte att utveckla en för kalkning på våtmarker mera lämpad produkt än kalkstensmjöl. Försöksverksamheten har utvecklats i olika omgångar och bedrivits inom de så kallade FL– BO– och GK-ytorna. De produkter som undersökts är olika kvalitéer av grovkalk, granuler och så kallade vomber (kalkfällningsprodukt). Rapporten beskriver resultaten av uppföljningen från försökskärr kalkade med grovkalk och granulerad kalk fram till november 2008 vilket innebär tidsserier på upp till 18 års uppföljning efter kalkstart. Syftet var bland annat att beskriva upplösnings- och uttransportförloppen och ge rekommendationer för dosering och spridningsintervall samt dra slutsatser om våtmarkernas uthållighet som kalkningsobjekt.

Fjorton våtmarker kalkades vid ett eller flera tillfällen. Därutöver kalkades 12-16 våtmarker inom Sandabäcken vars samlade effekt provtas i stationen FL.03. Kalkprodukterna spreds över öppna genomsilningskärr (fast- och mjukmattor) med hjälp av helikopter. Vattenprover togs på avrinningsvattnet från kärren cirka 12 gånger per år och analyserades med avseende på pH, alkalinitet och kalciumhalt.

Resultaten visar på en slutlig kalkupplösning på 70-100 % i de kärrmarker som kalkades med grovkalk eller granuler. Grovkalken hade en något långsammare kalkupplösning än granuler. Grovkalken uppvisade en tendens att lösa sig snabbare i våtmarker med hög vattengenomströmning. Det finns inga tecken på att våtmarkernas förmåga att lösa och uttransportera kalk har försämrats sedan kalkningarna påbörjades. Vid kalkning med så kallade GX-kalk var upplösnings- och uttransportförloppen mycket likartade med de som har beräknats för våtmarker kalkade med övrig grovkalk. Resultaten avviker inte från de förväntade och tills vidare rekommenderas fortsatt tillämpning av tidigare anvisningar för dosering vid kalkning med grovkalk och granuler (Svahnberg & Abrahamsson, 2001b).

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Sedan 1990 och på initiativ av Myrica kalkningskonsult Anders Svahnberg har en försöksverksamhet bedrivits i trakterna runt Värnamo i syfte att utveckla en för kalkning på våtmarker mera lämpad produkt än kalkstensmjöl. Försöksverksamheten har utvecklats i olika omgångar och bedrivits inom de så kallade FL– BO– och GK-ytorna. De produkter som undersökts är olika kvalitéer av grovkalk, granuler och så kallade vomber (kalkfällningsprodukt). Verksamheten och valet av försöksprodukter har styrts av framförallt följande målsättningar:

- Ingen eller obetydlig förlust genom damning och/eller vindavdrift.
- Jämnare kalkningseffekt avseende pH och alkalinitet mellan kalkningstillfällena jämfört med kalkmjöl.
- Längre varaktighet av kalkningseffekten.
- Ge så små estetiska negativa effekter som möjligt för markägare, rörligt friluftsliv m fl.

Resultaten har efterhand lett fram till att våtmarker idag huvudsakligen kalkas med grövre kalkprodukter som dammar obetydligt eller inte alls. Tre rapporter har tidigare skrivits som beskriver upplösnings– och uttransportförlopp vid kalkning på våtmarker med grovkalk och granuler samt rekommendationer för kalkdosering (Svahnberg & Abrahamsson, 2000, 2001a,b).

Föreliggande rapport beskriver resultaten av uppföljningen från försökskärr kalkade med grovkalk och granulerad kalk fram till november 2008 vilket innebär tidsserier på upp till 18 års uppföljning efter kalkstart.

1.2 Syfte

Syftet med föreliggande utvärdering var att belysa följande frågeställningar:

- Beskriva upplösnings– och uttransportförloppen samt beräkna totala kalkutnyttjandet.
- Ge rekommendationer för de olika produkternas användbarhet för våtmarkskalkning samt dosering och spridningsintervall.
- Dra slutsatser om våtmarkernas uthållighet som kalkningsobjekt samt belysa eventuella avvikelser från den förväntade långsiktiga kalkningseffekten.



Bild 1. Våtmarken GK.12 kalkad med grovkalk.



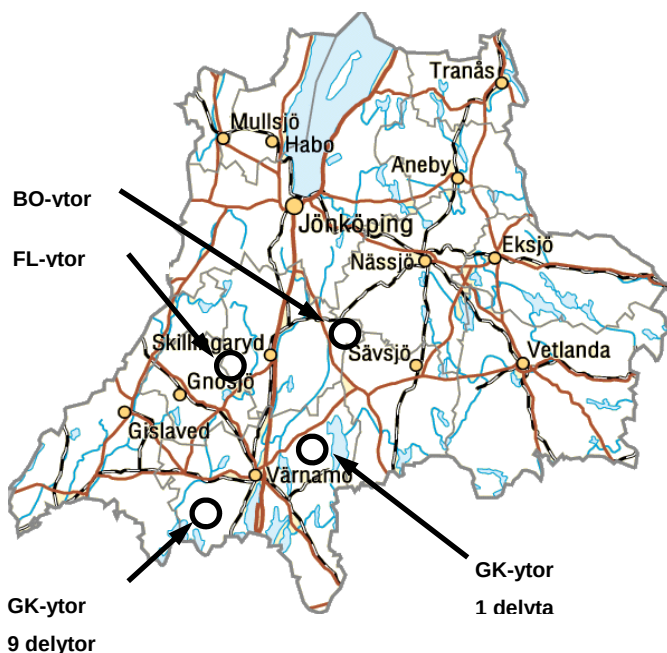
Bild 2. Grovkalk i förna efter spridning.

2. Material och metoder

Fjorton våtmarker kalkades vid ett eller flera tillfällen. Därutöver kalkades 12-16 våtmarker inom Sandabäcken vars samlade effekt provtas i stationen FL.03. Kalkprodukterna spreds över öppna genomsilningskärr (fast- och mjukmattor) med hjälp av helikopter. Våtmarkernas geografiska belägenhet framgår av figur 1 och bilaga 1. Två av våtmarkerna, GK.02 och GK.04, kalkades med mjöl 1996 inom ramen för nämnda försöksverksamhet (Svahnberg & Abrahamsson, 2001a). Effekten av de kalkningarna hade vid omkalkningen emellertid klingat av och redovisas inte i föreliggande rapport. Övriga våtmarker var inte kalkade före försöksstart. Kalkdoser, spridningstillfällen, mängder samt hydrografiska uppgifter framgår av tabell 1.

Figur 1. Försöksytornas geografiska läge. Länskarta över Jönköpings län.

(© Lantmäteriverket MS2009/08295).



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

Objekt	Kalkad yta (ha)			Kalkad yttandel (%) 1	Kalkmängd (ton) 2	Kalkgiva (ton/ha) 2 kärr	Kalkdos (kg/ha avr.-omr. 1, 2)	Kalk-ning	Produkt
FL.03	9,4 ³⁾	610	195	4,8	366	39	1877	901210	Grovkalk
	8,0 ⁴⁾		169	4,7	189	24	1118	050408	
	8,0 ⁴⁾		169	4,7	49,9	6	295	060510	
FL.31	0,5	16	16	3,1	8,1	16	506	901220	Grovkalk
					8,3	17	519	940120	
					7,8	16	488	970310	
					8,2	16	512	000330	
					8,0	16	500	030318	
					7,9	16	494	060510	

Objekt	Kalkad yta (ha)			Kalkad yttandel (%) ¹	Kalkmängd (ton) ²	Kalkgiva (ton/ha) ²	Kalkdos (kg/ha avr.-omr) ^{1, 2}	Kalk-ning	Produkt
FL.32	1,1	17	17	6,5	16,7	15	982	901220	Grovkalk
					17,6	16	1035	940120	
					17,5	16	1029	970310	
					17,5	16	1029	000330	
					18,0	16	1059	030318	
					15,8	14	929	060510	
GK.01	0,2	4	4	5,0	1,6	8	400	970405	Grovkalk
					4,1	21	1025	051122	
GK.03	0,4	74	74	0,5	7,5	19	101	970405	Grovkalk
					6,1	15	82	051122	
GK.11	0,8	75	74	1,1	21,0	26	284	970405	Grovkalk
					16,1	20	218	051122	
BO.62	1,8	23	22	8,2	26,5	15	1205	940126	Granuler
					27,0	15	1227	050410	
BO.63	0,5	29	27	1,9	15,5	31	574	940126	Granuler
					13,5	27	500	050410	
GK.08	1,1	28	15	7,3	18,0	16	1200	970405	Granuler
					12,7	12	847	050410	
GK.10	0,5	12	12	4,2	10,5	21	875	970405	Granuler
	0,2	10	10	2,0	7,8	39	780	050410	
GK.15	0,9	40	40	2,2	10,5	12	263	970405	Granuler
					8,7	10	218	050410	
GK.02	0,7	13	11	6,2	17,4	26	1580	051024	GX-kalk
GK.04	1,1	27	24	4,6	31,6	29	1317	051024	GX-kalk
GK.12	0,8	52	46	1,8	25,2	31	548	051024	GX-kalk
GK.14	0,2	3	3	7,3	4,5	20	1500	051024	GX-kalk

¹⁾ Beräknat på våtmarkernas avrinningsområde.

²⁾ Kalkmängder avser ekvivalent 50% CaO-värde.

³⁾ 16 delytor

⁴⁾ 12 delytor

Under 1990-97 spreds fyra olika kvalitéer grovkalk från Uddagården och Ignaberga. Fraktionerna var 0-1 mm med 10-55% <0,2 mm. Inga påvisbara skillnader i upplösning- och uttransportförloppen mellan de olika kvalitéerna har framkommit vid tidigare utvärderingar (Svahnberg & Abrahamsson, 2001a) och de benäms därför i det följande enbart som 'grovkalk'. År 2005 spreds på fyra ytor ytterligare en kvalité grovkalk, GX-kalk från SMA Mineral fabrik i Persberg (Gåsgruvan). GX är en kristallin urbergskalk i fraktionen 0-1 mm med 45% mjöl <0,2 mm. GX-kalken hade således en fraktion motsvarande tidigare testade grovkalkar men då produkten är ny i försöksverksamheten har för enkelhetens skull getts

en egen beteckning, 'GX-kalk', i det följande. GX-kalken är även spridd på försöksytor i Värmland (Svahnberg & Abrahamsson, 2009).

Den granulerade kalken som spreds 1994 och 1997 var tillverkad av P-märkt urbergskalk från Köping medan granulerna som spreds 2005 kom från Omya's fabrik i Lägersdorf väster om Hamburg. Kornstorleken i Omya-granulerna var sådan att 87 % var mindre än 0,25 mm vilket innebär att granulkalken var en aning grövre än malt P-märkt kalkstensmjöl.

Vattenprov togs i utloppet från våtmarkerna vid två (BO.62, BO.63, GK.02, GK.12, GK.14), sex (FL.03, FL.31, FL.32) och tolv (GK.01, GK.03, GK.08, GK.10, GK.11, GK.15) tillfällen före kalkning. Efter påbörjad kalkning togs vattenprov vid tolv tillfällen per år utom under första halvåret 2001 då provtagning inte utfördes i merparten av provpunkterna. Förutom de femton kalkade våtmarkerna provtogs även två okalkade referenser (FL.39, GK.16). Sedan år 2002 har halterna av kalcium analyserats av Alcontrol AB enligt metoden SS-EN ISO 11885-1. Före 2002 gjordes analyserna enligt SS 028119.

Vid transportberäkningarna av kalcium subtraherades skattade bakgrundshalter från de uppmätta halterna. Bakgrundshalterna beräknades utifrån halterna i en av de okalkade referenserna. 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 ($n=2-12$) och $[Ca]_{ri}$ är haltmedelvärdet i referensen före kalkning ($n=2-12$). Som referens användes GK.16 för GK-objekten och FL.39 för FL-och BO-objekten.

Från de beräknade halttillskotten av kalcium beräknades uttransporterna av kalk genom att multiplicera medeltillskotten med vattenföringen mellan varje provtillfälle. Vattenföringen vid varje mätpunkt beräknades från den specifika avrinningen vid Myrica mätstation i Tjutarydsbäcken (GK-objekten), SMHI mätstation vid Frye i Härån (BO-objekten) och Myrica mätstation i Modalaån (FL-objekten). Den specifika avrinningen vid dessa stationer multiplicerades med beräknad avrinningsområdesareal för varje mätpunkt. Avrinningsområdenas storlek togs fram på fastighetskartan (skala 1:10 000) med hjälp av kartans höjdkurvor och fältkartering av vattendelare. Ytvattendelarna har i vissa fall varit svåra att avgränsa. Särskilt avrinningsområdet för FL.31 är behäftade med osäkerheter på grund av terrängens låga relief.

Mätdammen i Modalaån rasade vid de höga vattenflödena i juli 2004. Från och med juli 2004 har dygnsmedelflödena i Modalaån beräknats utifrån de uppmätta flödena i Härån och Tjutarydsbäcken enligt ekvationen:

$$Q(\text{Modalaån}) = 0,0416 \times Q(\text{Härån}) + 1,60 \times Q(\text{Tjutaryd}) + 14,7 \quad (R^2 = 0,82).$$

Sambandet har beräknats från uppmätta dygnsmedelvärden under tidsperioden 1996-01-01 till 2004-06-30 genom multipel regression i Systat.

Kalkens kalciumhalt beräknades utifrån uppgifter på den spridda kalkens syraneutraliserande verkan. De tillförda kalkmängderna, omräknat till en syraneutraliserande verkan på 50 %, antogs innehålla 35,0 % kalcium.

Upplösningen av tillförd kalk har modellberäknats utifrån två ekvationer, där den ena antas beskriva kalkupplösningen och den andra utlakningen av kalciumjoner. 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 kumulativt upplöst kalk respektive tillförd partikulär kalk. A och B är numeriska koefficienter medan t är tid (år) från kalkningstillfället.

Utlakningen har antagits följa en ekvation där utlakningshastigheten utgör en funktion av den kalkade ytans hydragiska belastning enligt

$$m_{dt0} - m_{dt1} = 1 - e^{-kQ\Delta t/Az},$$

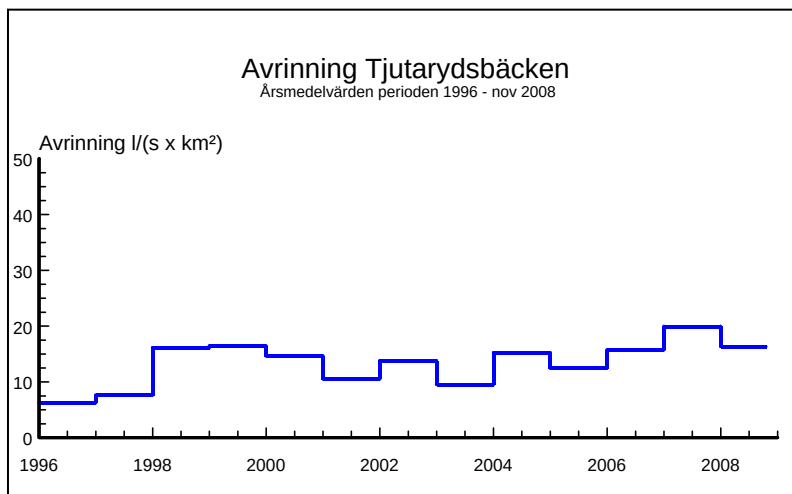
där m_d är massan av upplöst kalkprodukt i våtmarken vid tiden t_0 och t_1 , Q den genomsnittliga vattenföringen (m^3/s) under tiden Δt (t_1-t_0), A den kalkade ytans areal (m^2) och z den kalkade ytans påverkade djup (m). Värdet på utlakningskonstanten k har antagits vara 0,007 medan z har antagits vara 0,1 m.

Värdena för de numeriska upplösningsskoefficienterna A och B har beräknats genom iterativ simulering av de beräknade andelarna uttransporterad kalk enligt minsta kvadratmetoden i Systats nonlin model.

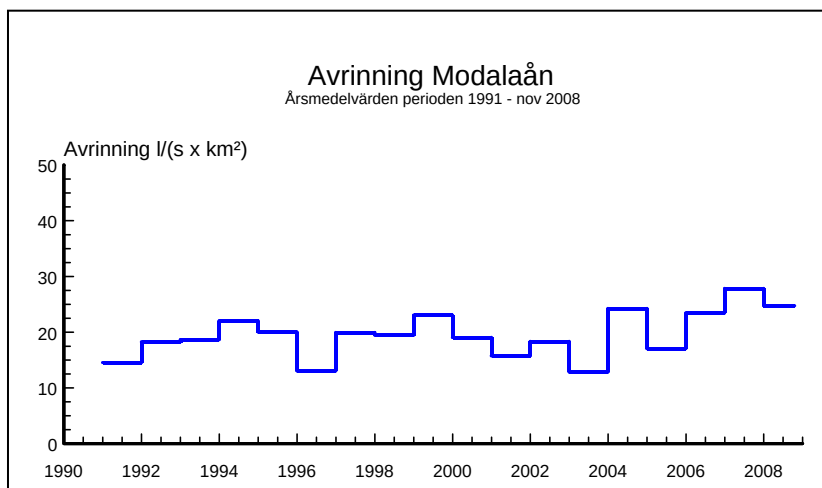
Modellberäkningarna av upplösningsskoefficienterna kan ge missvisande resultat om uttransporterna av kalcium inte påbörjas i samband med kalkspridningen. En fördröjning kan uppstå om kalkspridningen utförs under en torrperiod eller om det finns ett okalkat kärparti mellan den kalkade ytan och provpunkten. I GK.08 och GK.10 inträffade en sådan fördröjning under det första halvåret efter spridningstillfället. För att undvika missvisande resultat på grund av fördröjningen har variabeln t justerats för de två våtmarkerna så tillvida att kalkupplösningen antogs ha påbörjats vid den tidpunkt då tydliga och stadigvarande förhöjda kalciumhalter registrerades i provpunkterna. Modellberäkningarna ger även missvisande resultat om den kalkade ytan har en heterogen vattengenomströmning. När delar av ytan genomsilas av mycket vatten medan den övriga delen är betydligt torrare utlakas den upplösta kalken med olika hastigheter från de olika delytorna. I dessa fall är det främst upplösningsskoefficienten B som erhåller felaktiga värden.

De modellsimulerade halter som redovisas har beräknats utifrån de ovanstående två ekvationerna. Vid simuleringarna har de modellberäknade värdena för utlakningskonstanterna A och B använts som indata för upplösningförloppet.

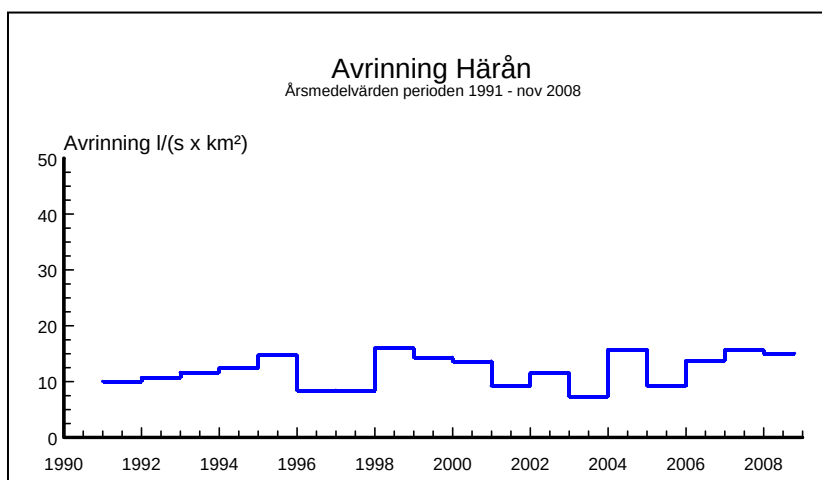
Figur 2. Årsmedelvärden av den specifika avrinningen vid Myrica mätstation i Tjutarydsbäcken under perioden januari 1996 - november 2008.



Figur 3. Årsmedelvärden av den specifika avrinningen vid Myrica mätstation i Modalaån under perioden oktober 1990 - november 2008.



Figur 4. Årsmedelvärden av den specifika avrinningen vid SMHI mätstation i Härån under perioden oktober 1990 - november 2008.



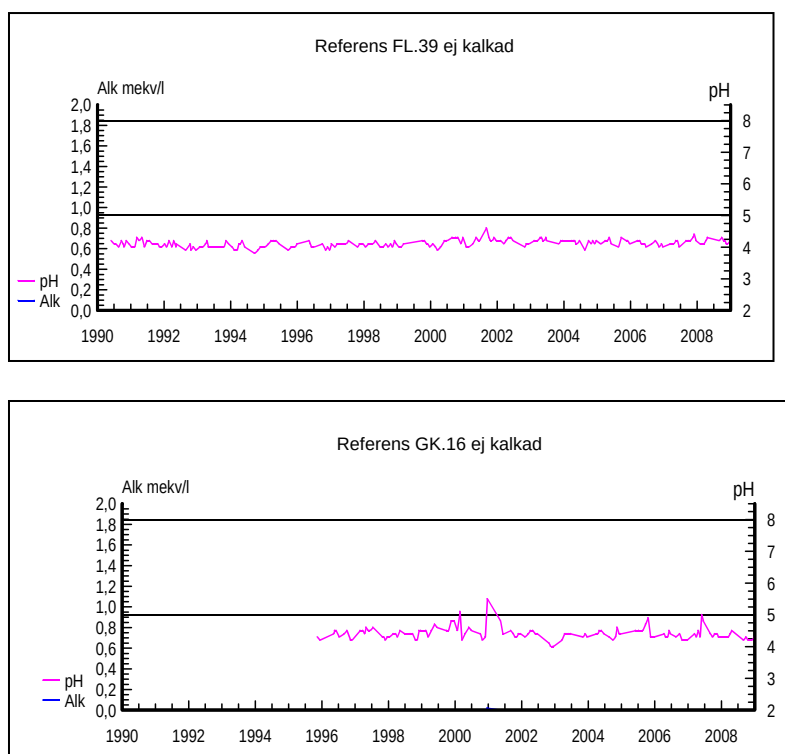
3. Resultat och diskussion

3.1 pH och alkalinitet

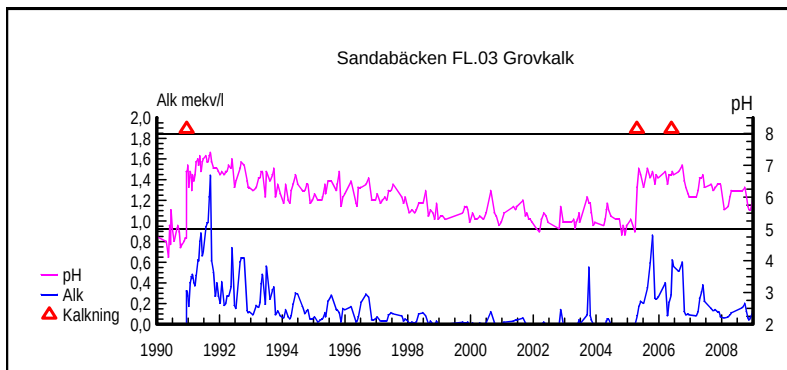
Kalkernas effekt med avseende på pH och alkalinitet i avrinningsvattnet redovisas i figur 6-9. Effekten uppvisar generellt för både grovkalk, granuler och GX-kalk en viss fördröjning efter kalkning och når i kärr med hydraulisk belastning över 10 m/år (tabell 2) optima cirka 6-12 månader efter kalkning för att därefter successivt avta. I kärr med lägre hydraulisk belastning uppträder effektoptimum betydligt senare. I kärr som kalkats vid två tillfällen är effektförloppet likartat efter båda kalkningarna. I FL.31 och FL.32, som kalkats med treårsintervall, finns en tendens till periodicitet där pH och alkalinitet är lägre under tredje året efter kalkning än under de två första åren efter kalkning. Resultatet tyder på att kalkning med grovkalk ska ske med åtminstone två-årsintervall för att erhålla jämn effekt. Även så efter lång tids återkommande kalkning.

Effekten med avseende på pH och alkalinitet i avrinningsvattnet från kärr kalkade med GX-kalk (figur 9) ligger helt i paritet med effekten av övriga grovkalkar.

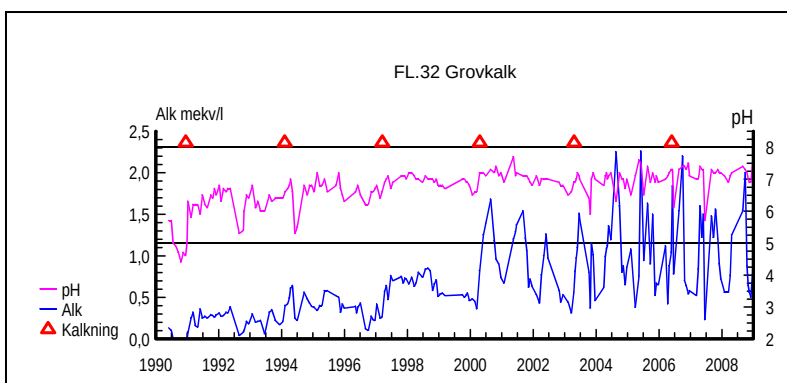
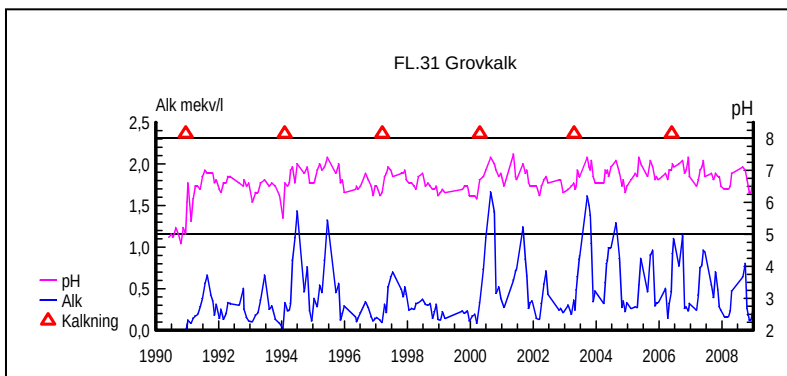
Figur 5. pH och alkalinitet i avrinningsvattnet från två okalkade referenser.

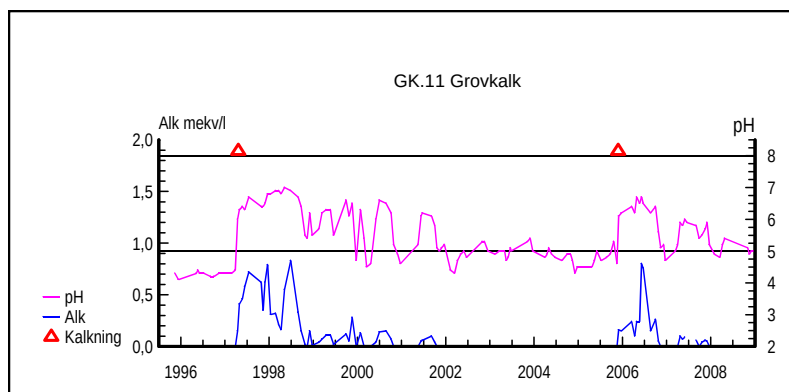
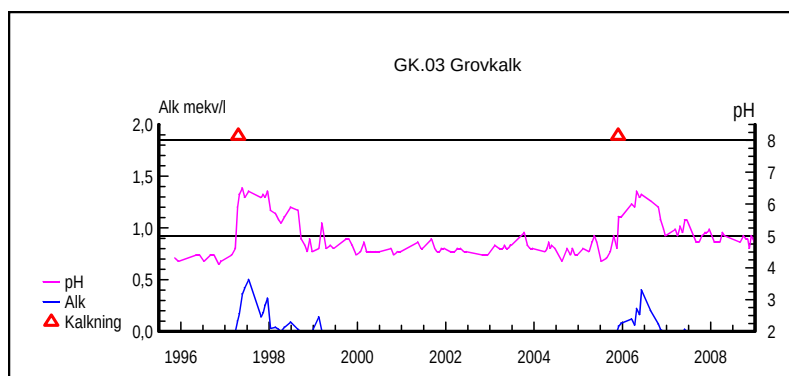
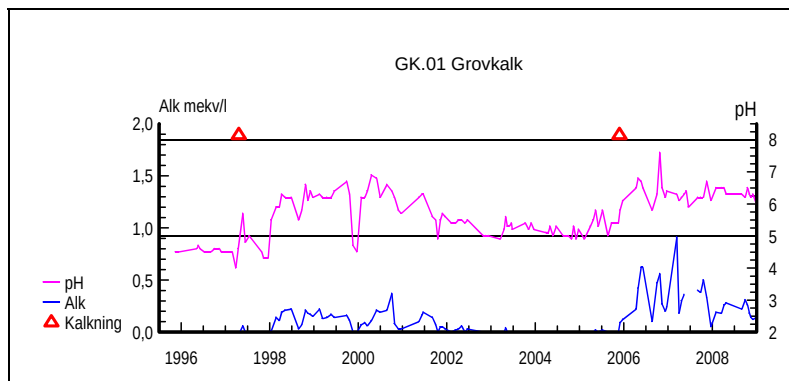


Figur 6. pH och alkalinitet i FL.03 Sandabäcken kalkad med grovkalk på 16 våtmarker i december 1990 och 12 våtmarker i april 2005 resp maj 2006.

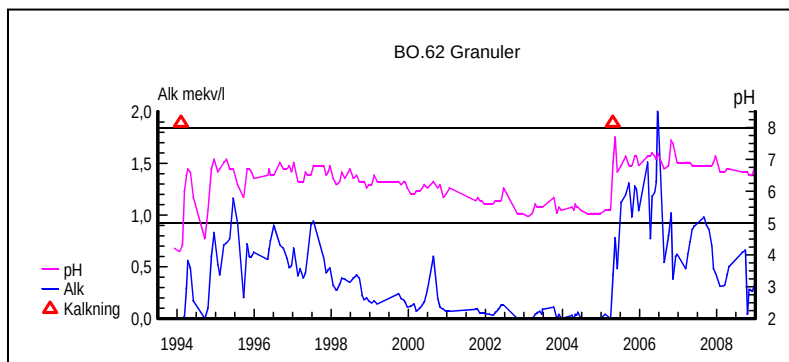


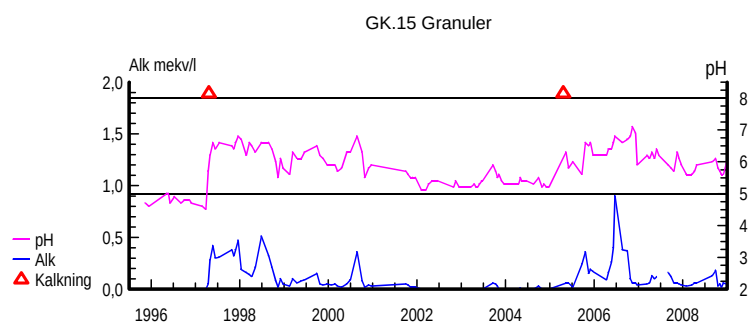
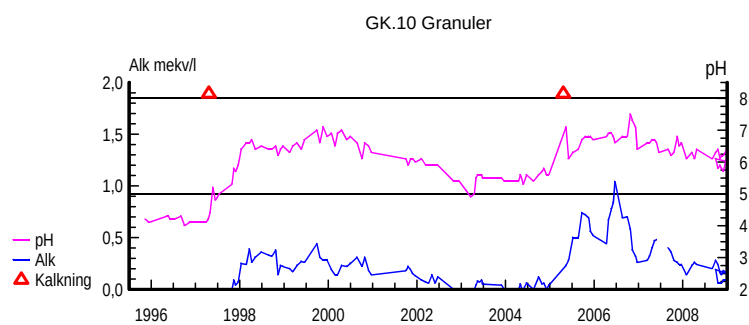
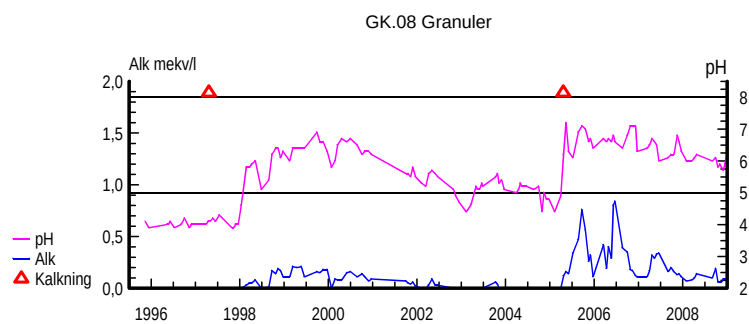
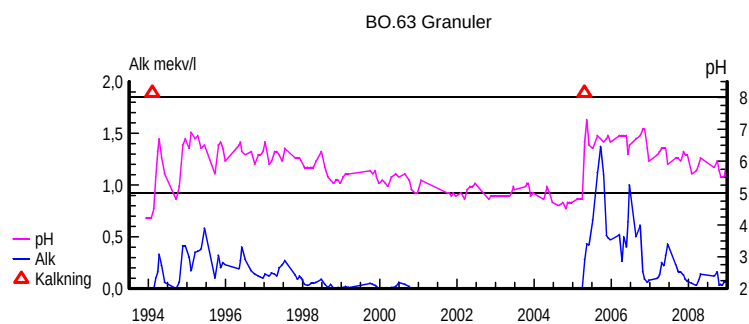
Figur 7. pH och alkalinitet i avrinningsvattnet från fem våtmarker kalkade med grovkalk. Våtmarkerna FL.31 och FL.32 har kalkats med tre-åriga intervall sedan december 1990 medan GK.01, GK.03 och GK.11 kalkades i april 1997 och i november 2005.



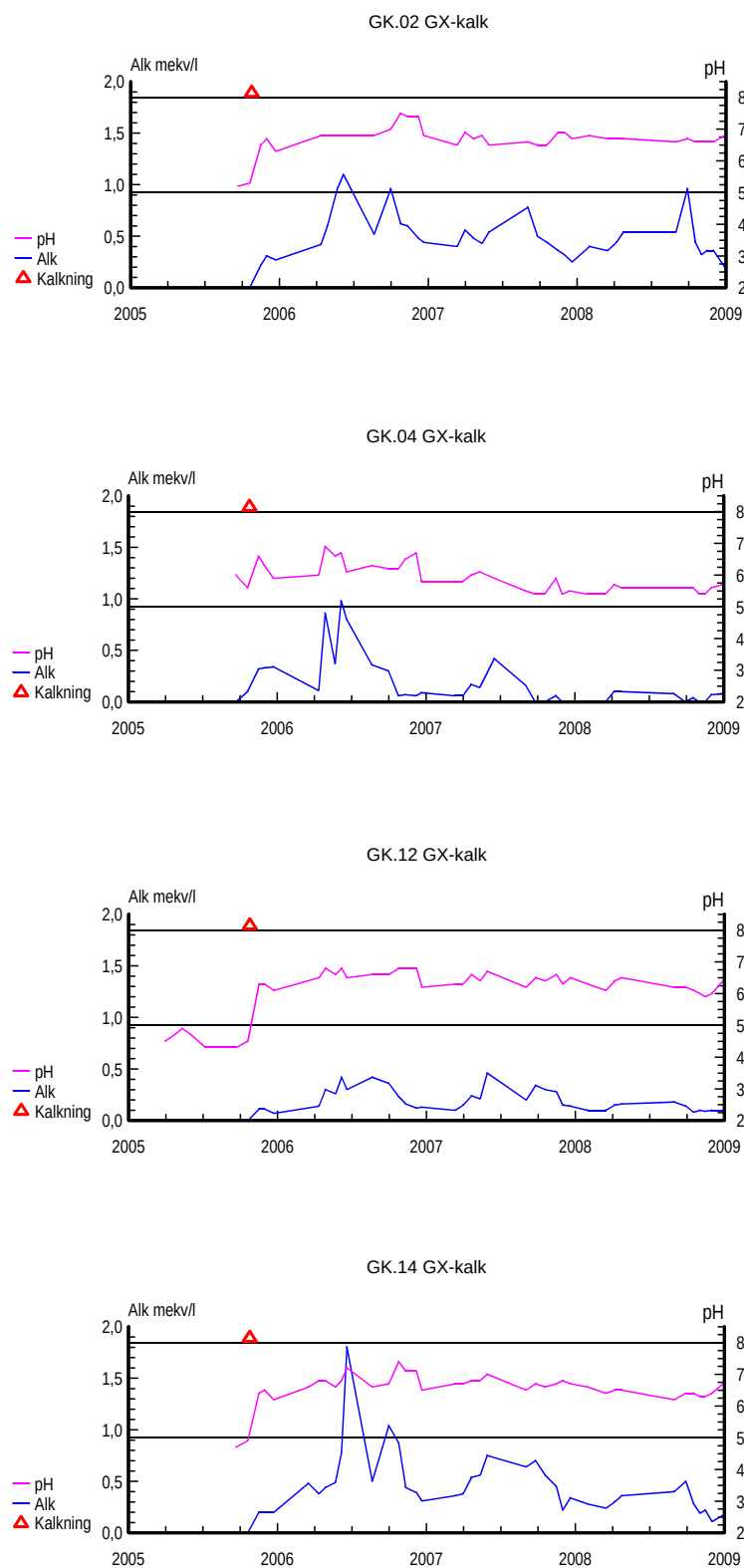


Figur 8. pH och alkalinitet i avrinningsvattnet från fem våtmarker kalkade vid två tillfällen med granuler. Våtmarkerna BO.62 och BO.63 kalkades i januari 1994 och i april 2005 medan GK.08, GK.10 och GK.15 kalkades i april 1997 och i april 2005.





Figur 9. pH och alkalinitet i avrinningsvattnet från fyra våtmarker kalkade med GX-kalk i oktober 2005.



3.2 Uttransporterad och upplöst kalk

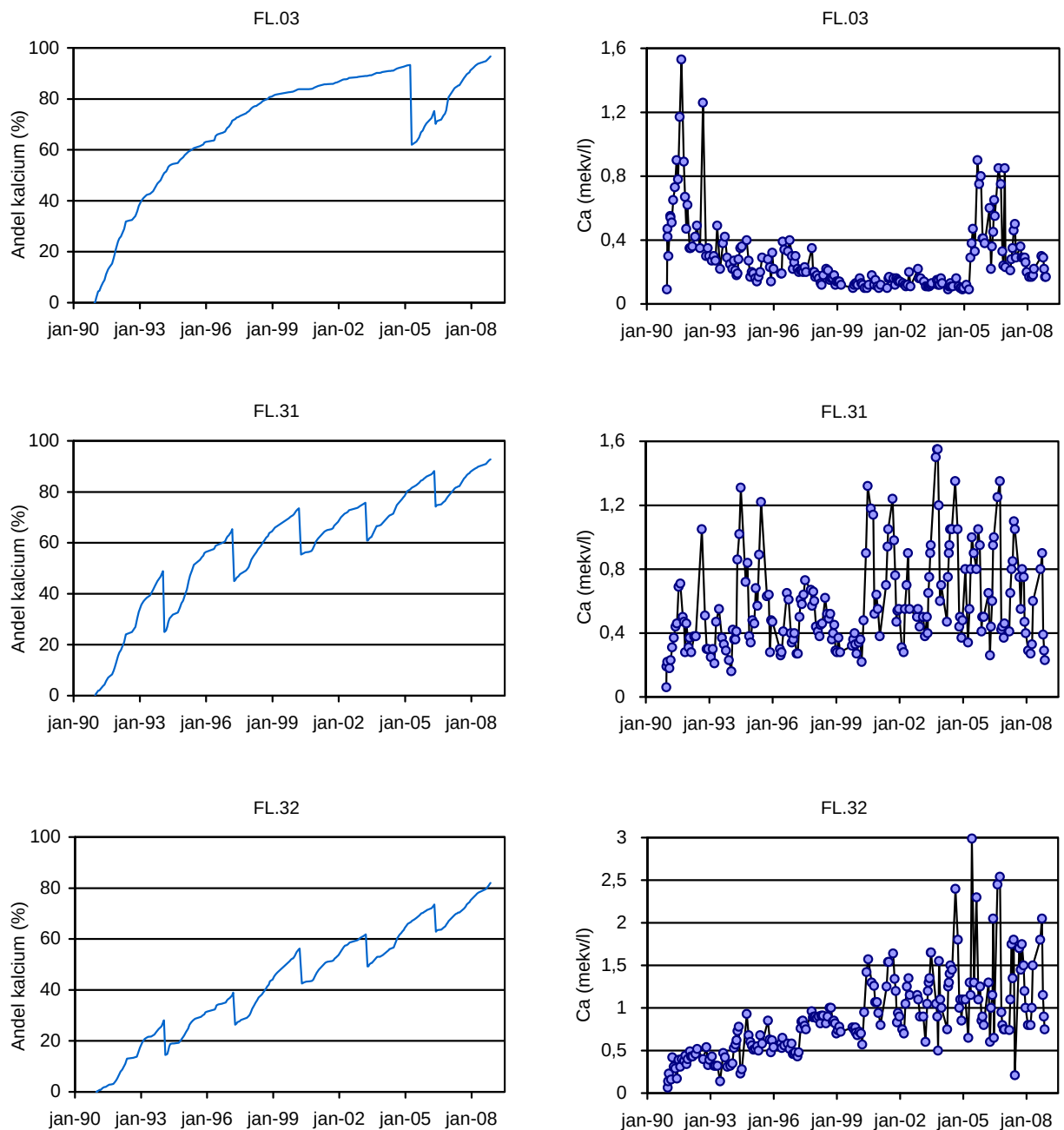
Uppströms provpunkterna FL.03, FL.31 och FL.32 har våtmarker kalkats med grovkalk. Den första kalkspridningen utfördes i december 1990. FL.03 kalkades därefter vid ytterligare två tillfällen, i april 2005 och maj 2006. FL.31 och FL.32 har kalkats med treåriga intervall. Under de knappt 18 år som har gått sedan kalkningarna påbörjades beräknas 82-97 % av kalken ha uttransporterats från våtmarkerna (tabell 2). Transporterna har ett förväntat förlopp med en långsamt avtagande hastighet och en transport som mycket långsamt närmar sig det slutliga kalkutnyttjandet (figur 10). FL.32 har haft ett jämnare förlopp än FL.31 på grund av en lägre hydralisk belastning (vattengenomströmning). I FL.32 har kalkdoseringen varit högre än i FL.31, vilket har gett upphov till högre kalciumhalter i avrinningsvattnet under senare år (figur 10).

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

Objekt	Mätperiod		Hydralisk belastning (m/år)	Uttransporterad andel kalk (%)	Modellberäkningar				Produkt
	Startdatum	Slutdatum			A	B	Upplöst (%)	Slutligt upplöst (%)	
FL03	1990-12-13	2008-11-15		97					Grovkalk
FL31	1990-12-20	2008-11-15	20	92					Grovkalk
FL32	1990-12-20	2008-11-15	9,8	82					Grovkalk
GK01	1997-04-05	2005-11-22	8,1	66	1,21	1,54	72	83	Grovkalk
	1997-04-05	2008-11-15		40					
GK03	1997-04-05	2004-06-21	73	72	1,22	0,54	74	82	Grovkalk
	1997-04-05	2008-11-15		112					
GK11	1997-04-05	2005-11-22	37	87	0,98	0,93	92	102	Grovkalk
	1997-04-05	2008-11-15		77					
BO62	1994-01-26	2005-04-10	4,6	75	1,22	0,78	77	82	Granuler
	1994-01-26	2008-11-15		68					
BO63	1994-01-26	2005-04-10	20	74	1,07	3,11	74	93	Granuler
	1994-01-26	2008-11-15		67					
GK08	1997-04-05	2005-04-10	5,6	52	1,55	,10	59	65	Granuler
	1997-04-05	2008-11-15		60					
GK10	1997-04-05	2005-04-10	9,9	62	1,23	2,14	66	81	Granuler
	1997-04-05	2008-11-15		70					
GK15	1997-04-05	2005-04-10	18	66	1,35	0,93	68	74	Granuler
	1997-04-05	2008-11-15		68					

Objekt	Mätperiod		Hydralisk	Uttransporterad	Modellberäkningar				
	Startdatum	Slutdatum	belastning (m/år)	andel kalk (%)	A	B	Upplöst (%)	Slutligt upplöst (%)	Produkt
GK02	2005-10-24	2008-11-15	10,0	42	0,94	2,2	60	106	GX-kalk
GK04	2005-10-24	2008-11-15	11,9	15					GX-kalk
GK12	2005-10-24	2008-11-15	25,1	49	0,90	2,8	55	111	GX-kalk
GK14	2005-10-24	2008-11-15	6,6	33	1,5	1,7	48	65	GX-kalk

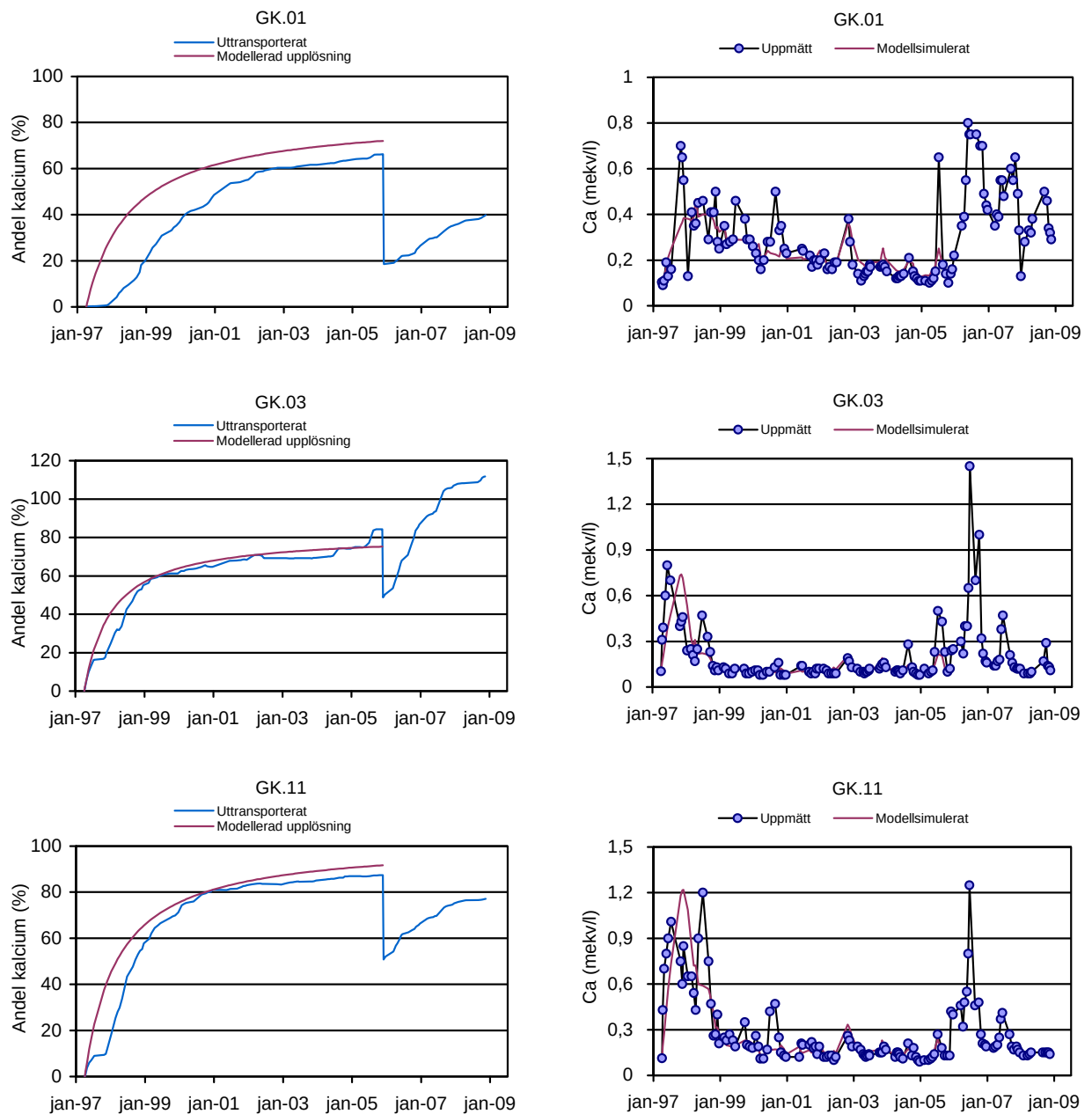
Figur 10. Kumulativ andel uttransporterat kalcium av tillförd mängd (vänster) samt uppmätta kalciumhalter (höger) i avrinningsvattnet från FL.03 (Sandabäcken) och två våtmarker kalkade med grovkalk. Uppströms FL.03 kalkades våtmarker i december 1990, april 2005 och maj 2006. Våtmarkerna FL.31 och FL.32 har kalkats med treåriga intervall sedan december 1990.



De tre våtmarkerna GK.01, GK.03 och GK.11 kalkades med grovkalk i april 1997 och i november 2005. Under de första drygt åtta åren, fram till sekundärspridningen, beräknas 66-87 % av kalken ha uttransporterats (tabell 2). Enligt modellberäkningar uppgår den slutliga kalkupplösningen till 82-102 % för den kalk som spreds våren 1997. Uttransporterna var betydligt snabbare i GK.03 och GK.11 än i GK.01 (figur 11) på grund av en avsevärt högre hydraulisk belastning (tabell 2). Även de modellberäknade upplösningshastigheterna var högre i de två förstnämnda kärren vilket indikerar att grovkalk löser sig snabbare i våt-

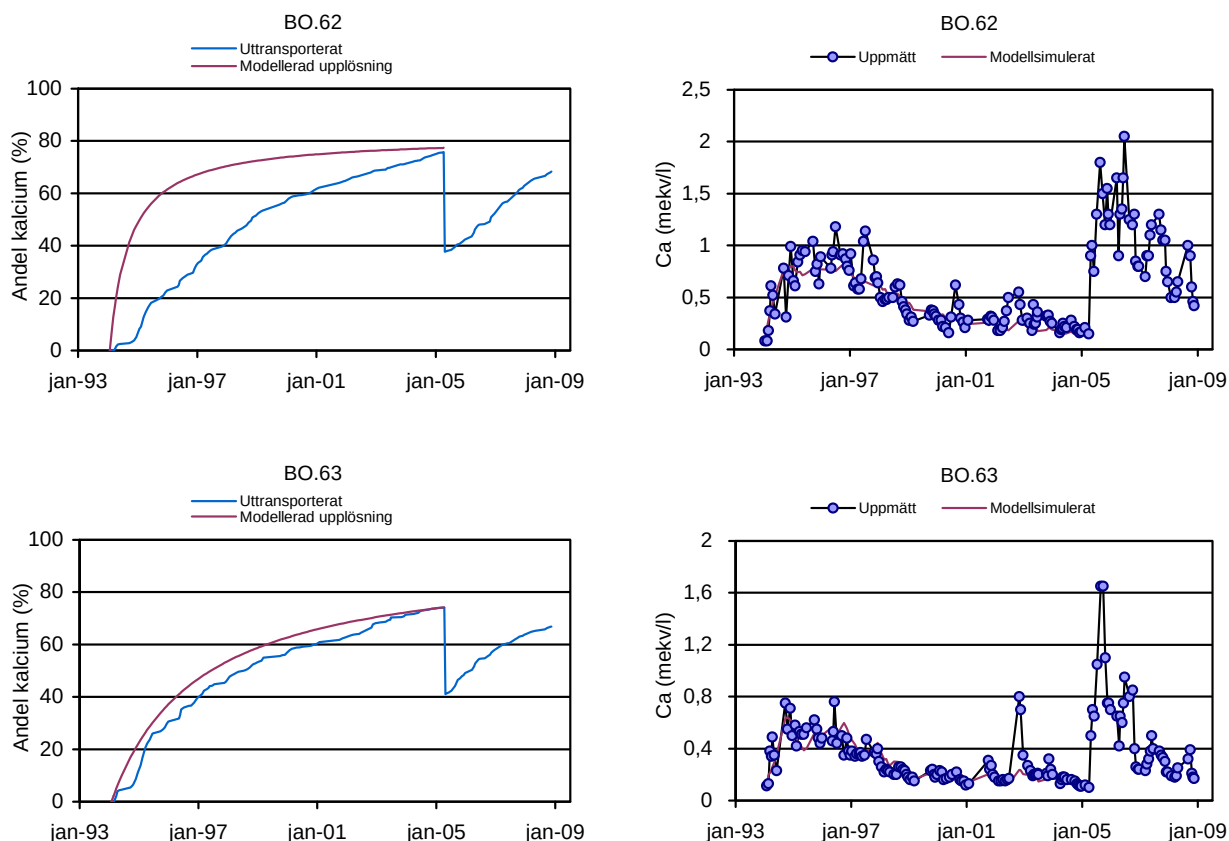
marker med hög vattengenomströmning. Den höga hydriska belastningen i GK.03 och GK.11 medförde att återförsurningen var snabb i avrinningsvattnet (figur 11). Redan två år efter kalkspridningen var kalciumhalterna endast svagt förhöjda. I GK.03 uppmättes förhöjda kalciumhalter i augusti 2004 och under sommaren 2005 vilket medförde att de beräknade uttransporterna abrupt steg (figur 11). Det är osäkert varför detta inträffade men med största sannolikhet härrörde de stigande halterna inte från den tillförda kalken. Eventuellt har liknande störningar uppträtt även efter sekundärkalkningen. De beräknade uttransporterna från och med augusti 2004 får därför anses mindre tillförlitliga.

Figur 11. Kumulativ andel upplöst och uttransporterat kalcium av tillförd mängd (vänster) samt uppmätta och modellsimulerade kalciumhalter (höger) i avrinningsvattnet från tre våtmarker kalkade med grovkalk i april 1997 och november 2005.



De två våtmarkerna BO.62 och BO.63 kalkades med granuler i januari 1994 och i april 2005. Fram till april 2005 beräknas cirka 75 % av den tillförda primärkalken ha uttransporterats (tabell 2). I november 2008 har cirka 68 % av totalt tillförd kalk uttransporterats. Det slutliga kalkutnyttjandet från primärkalkningen beräknas uppgå till 82 % respektive 93 %. I BO.63 var transportförloppet efter den första kalkspridningen betydligt snabbare än i BO.62, till följd av högre hydralkisk belastning (figur 12), medan den modellberäknade upplösningshastigheten var betydligt långsammare. Resultaten är motstridiga och inte förväntade. Det beräknade värdet för upplösningkoefficienten B bedöms vara missvisande för BO.63 på grund av heterogen vattengenomströmning i den kalkade ytan. Den västra delen av kärret har en hög hydralkisk belastning medan den östra delen har en långsam vattengenomströmning. Detta medför att uttransporterna från våtmarken följer två olika utlakningsfunktioner och eventuellt även två olika upplösningfunktioner. När de två delarna behandlas som en homogen yta ger modellberäkningarna upphov till missvisande resultat, främst med avseende på kalkupplösningens hastighet.

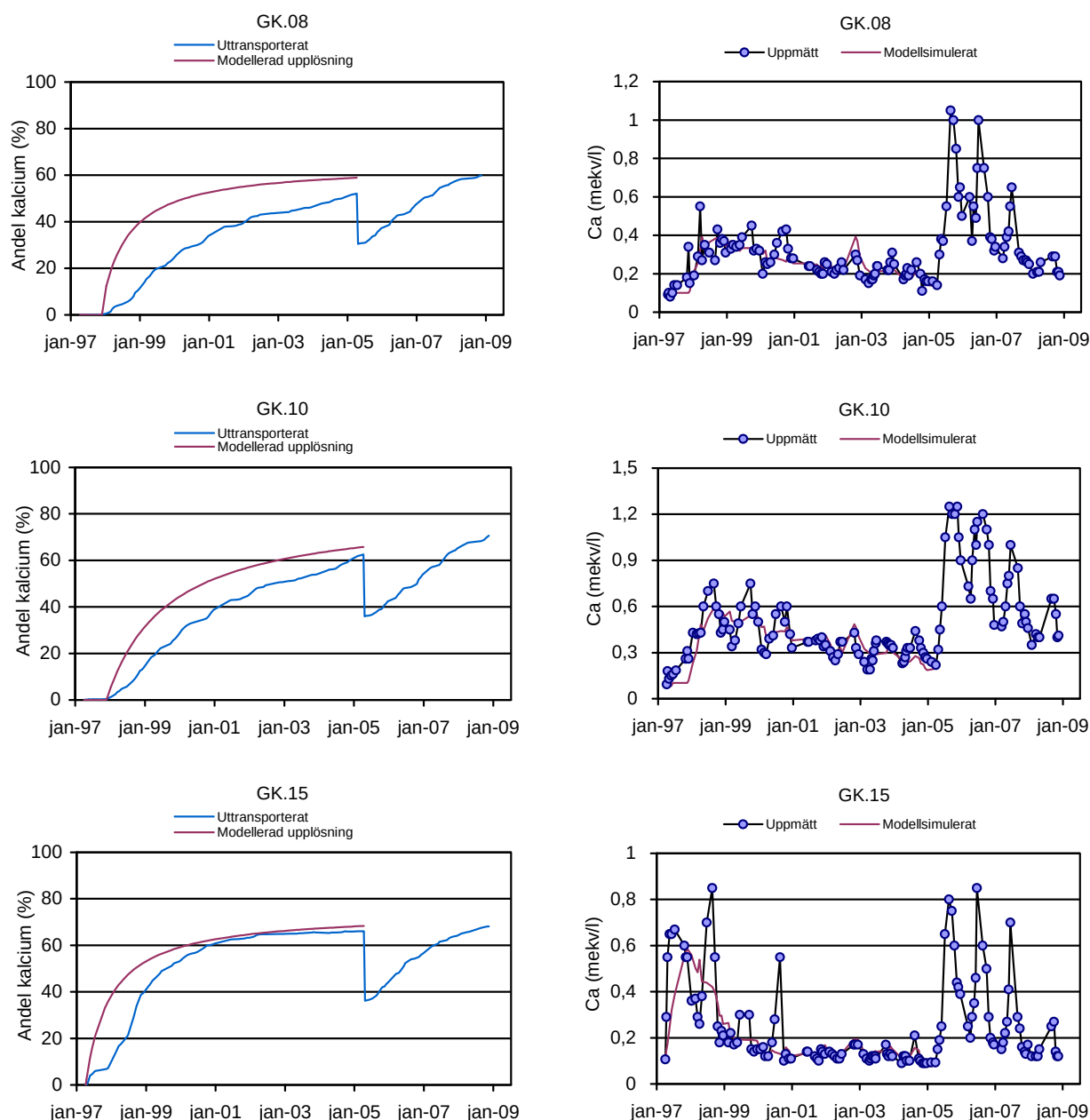
Figur 12. Kumulativ andel upplöst och uttransporterat kalcium av tillförd mängd (vänster) samt uppmätta och modellsimulerade kalciumhalter (höger) i avrinningsvattnet från två våtmarker kalkade med granuler i januari 1994 och april 2005.



I april 1997 och april 2005 kalkades GK.08, GK.10 och GK.15 med granuler. Uttransporterna under de första åtta åren beräknas till 52-66 % av tillförd kalk och efter drygt elva år till 60-70 % (tabell 2). Enligt modellberäkningar uppgår den slutliga kalkupplösningen till 65-81 % för den kalk som spreds våren 1997. I GK.15 har uttransporterna ett snabbare förlopp än i de övriga två våtmarkerna på grund av en högre hydralkisk belastning (figur 13). I GK.10 gav sekundärkalkningen en betydligt större haltförhöjning än primärkalkningen trots att kalkmängderna reducerades. Därmed ökade uttransporternas hastighet. Den snab-

bare responsen bedöms huvudsakligen ha orsakats av att en mindre våtmarksareal kalkades. På grund av stormfällda träd blev endast en tredjedel av den ursprungliga ytan behandlad. Liksom för BO.63 är den modellberäknade upplösningskoefficienten avvikande hög för GK.10. Detta antas bero på att även GK.10 har en heterogen hydraulisk belastning.

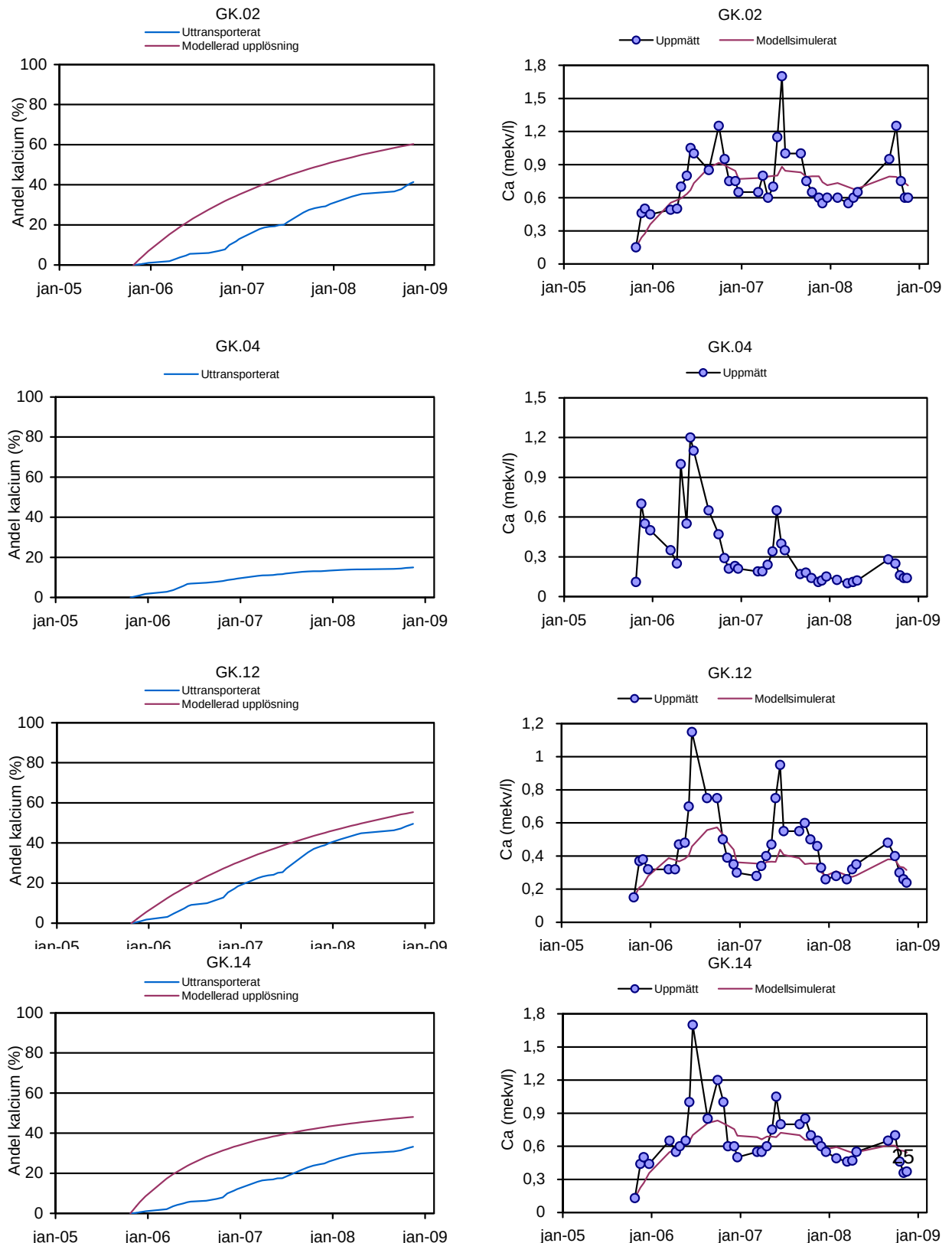
Figur 13. Kumulativ andel upplöst och uttransporterat kalcium av tillförd mängd (vänster) samt uppmätta och modellsimulerade kalciumhalter (höger) i avrinningsvattnet från tre våtmarker kalkade med granuler i april 1997 och april 2005.



I oktober 2005 kalkades GK.02, GK.12 och GK.14 med GX-kalk. I november 2008, tre år efter kalkning, beräknas 33-49 % av tillförd kalk ha uttransporterats från de tre våtmarkerna (tabell 2). Enligt modellberäkningarna uppgår andelen upplöst kalk till 48-60 % efter tre år och den slutliga utnyttjandegraden till 65-111 %. De modellberäknade värdena på upplösningskoefficienten B i de tre våtmarkerna varierade mellan 1,6 och 2,8 (tabell X). GK.04

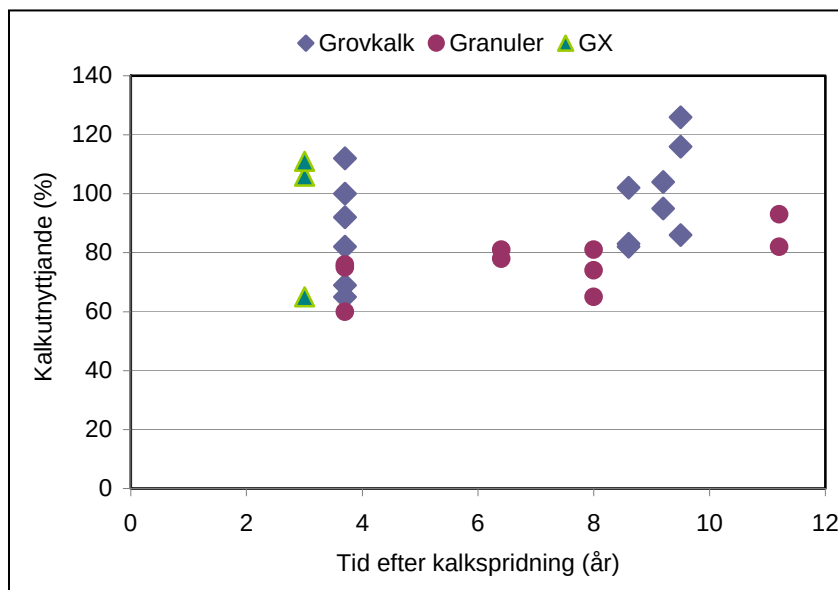
avvek från de övriga GX-kalkade våtmarkerna såtillvida att de beräknade uttransporterna var mycket låga. Uttransporterna beräknades till 15 % efter tre år (tabell 2). Rimliga värden på upplösningskoefficienterna A och B kunde inte erhållas. Det är inte klarlagt vad som orsakar avvikelserna i GK.04. Det kan dock konstateras att det troligen föreligger någon form av felaktiga indata vid beräkningarna. De beräknade uttransporterna av kalcium från GK.04 bedöms vara underskattade.

Figur 14. Kumulativ andel upplöst och uttransporterat kalcium av tillförd mängd (vänster) samt uppmätta och modellsimulerade kalciumhalter (höger) i avrinningsvattnet från fyra våtmarker kalkade med GX-kalk i oktober 2005.

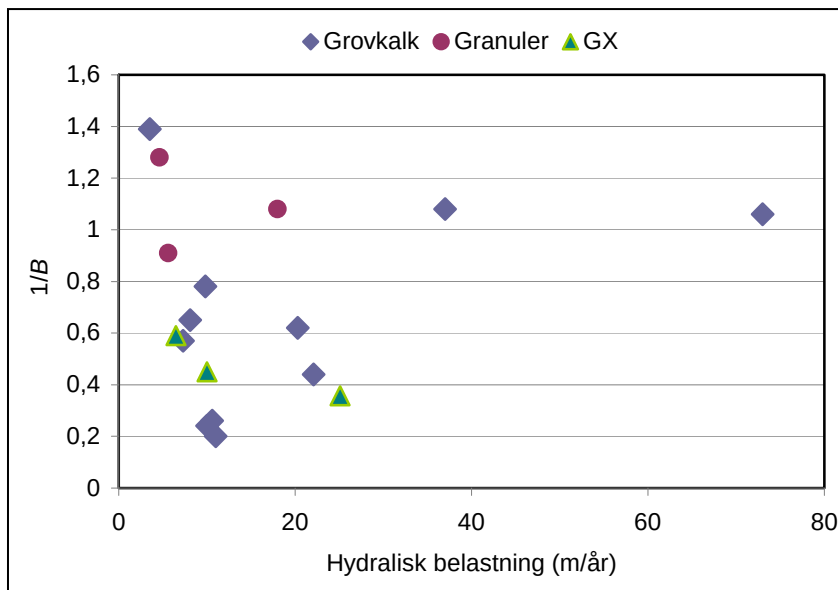


De modellberäknade resultaten för slutlig upplösningsgrad är behäftade med vissa osäkerheter. Bland annat har tidsfaktorn betydelse. Figur 15 indikerar att resultaten påverkas av hur länge den vattenkemiska provtagningen har pågått sedan kalkningstillfället. Det finns en tydlig tendens att kalkutnyttjandet ökar med tidsseriens längd. Långsamverkande kalkprodukter kräver relativt långa tidsserier för att ge säkra svar. Detta medför att resultaten från enstaka våtmarker eller från korta tidsserier är mindre tillförlitliga. De samlade resultaten bedöms dock ge ett bra underlag för slutsatser. Resultaten från denna och tidigare rapporter (Svahnberg & Abrahamsson 2000, 2001) tyder på att grovkalk och granuler som sprids på kärrmarker i södra Sverige har ett kalkutnyttjande på 80-90 % (figur 15). Sambandet mellan upplösningshastighet och hydralisk belastning i de kalkade våtmarkerna indikerar att granuler löser sig snabbare än grovgrovkalk (figur 16). Det finns också en tydlig indikation på ett positivt samband mellan upplösningshastigheten och den hydraliska belastningen för våtmarker kalkade med grovkalk. För GX-kalken är tidsserierna relativt korta och resultaten får anses relativt osäkra. Resultaten från tre av de fyra GX-kalkade våtmarkerna tyder dock på att GX-kalken fungerar som grovkalk i våtmarker.

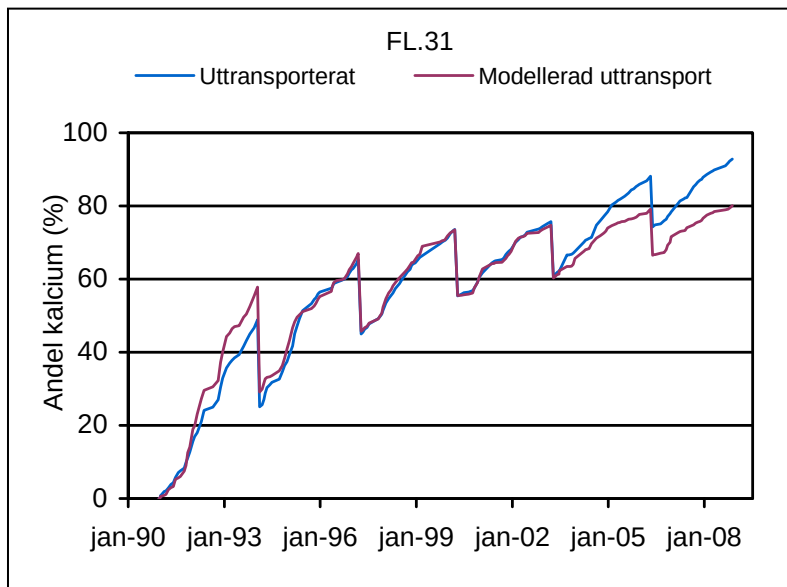
Figur 15. Samband mellan beräknad slutlig upplösningsgrad och uppföljningsperiodens längd (efter kalkning) för 19 våtmarker i Jönköpings län kalkade med grovkalk, granuler och GX-kalk. Data är hämtade från tabell 2 samt från Svahnberg & Abrahamsson (2000, 2001).



Figur 16. Samband mellan upplösningshastigheten ($1/B$) och den hydriska belastningen för 17 våtmarker i Jönköpings län kalkade med grovkalk, granuler och GX-kalk. Ju högre värden på $1/B$ desto snabbare är kalkupplösningen. Data är hämtade från tabell 2 (utom BO.63 och GK.10) samt från Svahnberg & Abrahamsson (2000, 2001).



Figur 17. Beräknade och modellsimulerade uttransporter från den kalkade våtmarken FL.31. FL.31 har kalkats med grovkalk vart tredje år. De modellsimulerade halterna har beräknats för ett kalkutnyttjande på 100 % ($A=1,0$) och en upplösningshastighet på 0,6 ($1/B = 0,6$).



För att testa våtmarkernas uthållighet vad gäller att lösa upp och uttransportera kalk har uttransporterna i FL.31 jämförts med modellsimulerade uttransporter där kalkutnyttjandet har antagits uppgå till 100 %. De simulerade uttransporterna uppvisar bra överensstämmelse med de uppmätta fram till sommaren 2003 (figur 17). Därefter ökar de uppmätta transporterna mer än de simulerade. Jämförelsen visar att det inte finns några tecken på att våtmarken FL.31 har blivit sämre på att lösa och uttransportera grovkalk sedan kalkningarna påbörjades. Jämförelsen visar emellertid också att de uppmätta uttransporterna i FL.31 är

på väg mot en slutlig uttransport som överstiger 100 %. Detta indikerar att uttransporterna är överskattade och då främst under de senaste åren. Det finns även en tendens att det samma gäller för FL.03 och FL.32 där transporterna ökade anmärkningsvärt mycket under åren 2003-2008 (figur 10). Om transporterna är överskattade för de tre provpunkterna så kan det bland annat bero på att avrinningen från de kalkade våtmarkerna har överskattats. Eventuellt kan den indirekt beräknade vattenföringen i Modalaån från juli 2004 utgöra en felkälla.

4. Slutsatser

Resultaten visar på en slutlig kalkupplösning på 70-100 % i de kärrmarker som kalkades med grovkalk eller granuler. Grovkalken hade en något långsammare kalkupplösning än granuler. Det fanns ett positivt samband mellan grovkalkens upplösningshastighet och den hydragiska belastningen i de kalkade våtmarkerna, vilket innebär att grovkalken uppvisade en tendens att lösa sig snabbare i våtmarker med hög vattengenomströmning. Det finns inga tecken på att våtmarkernas förmåga att lösa och uttransportera kalk har försämrats sedan kalkningarna påbörjades. I tre av fyra våtmarker kalkade med GX-kalk var upplösning- och uttransportförloppen mycket likartade med de som har beräknats för våtmarker kalkade med grovkalk.

Resultaten avviker inte från förväntade och tills vidare rekommenderas fortsatt tillämpning av tidigare anvisningar för dosering vid kalkning med grovkalk och granuler (Svahnberg & Abrahamsson, 2001b).

Erkännanden

Undersökningen har från 2001 bekostats av Naturvårdsverket, Länsstyrelsen i Jönköpings län, Laroyflyg, Movab, Omya, Svenska Kalkföreningen, SMA Logistik & Entreprenad AB och Myrica AB.

Referenser

Svahnberg, A. & I. Abrahamsson. 2000.

Vattenkemiska resultat från våtmarker kalkade med grovkalk och granuler inom försöksprojekt Flaten och Bodaån.

Länsstyrelsen i Jönköpings län, meddelande 2000:50.

Svahnberg, A. & I. Abrahamsson. 2001a.

Vattenkemiska resultat från våtmarker kalkade med grovkalk, granuler och kalkstensmjöl inom Värnamoytorna.

Länsstyrelsen i Jönköpings län, meddelande 2001:21.

Svahnberg, A. & I. Abrahamsson. 2001b.

Grovkalk, granuler och kalkstensmjöl. Effekter vid spridning på våtmarker.

Länsstyrelsen i Jönköpings län, meddelande 23/01.

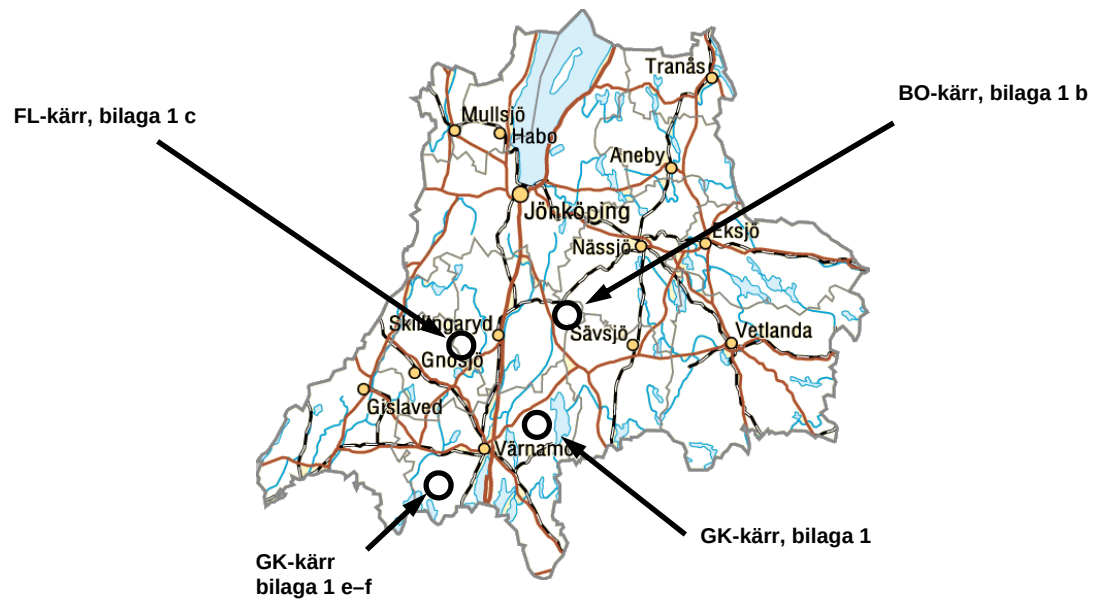
Svahnberg, A. & I. Abrahamsson. 2009.

Effekten av GX grovkalk som kalkningsmedel på våtmarker.

Myrica AB.

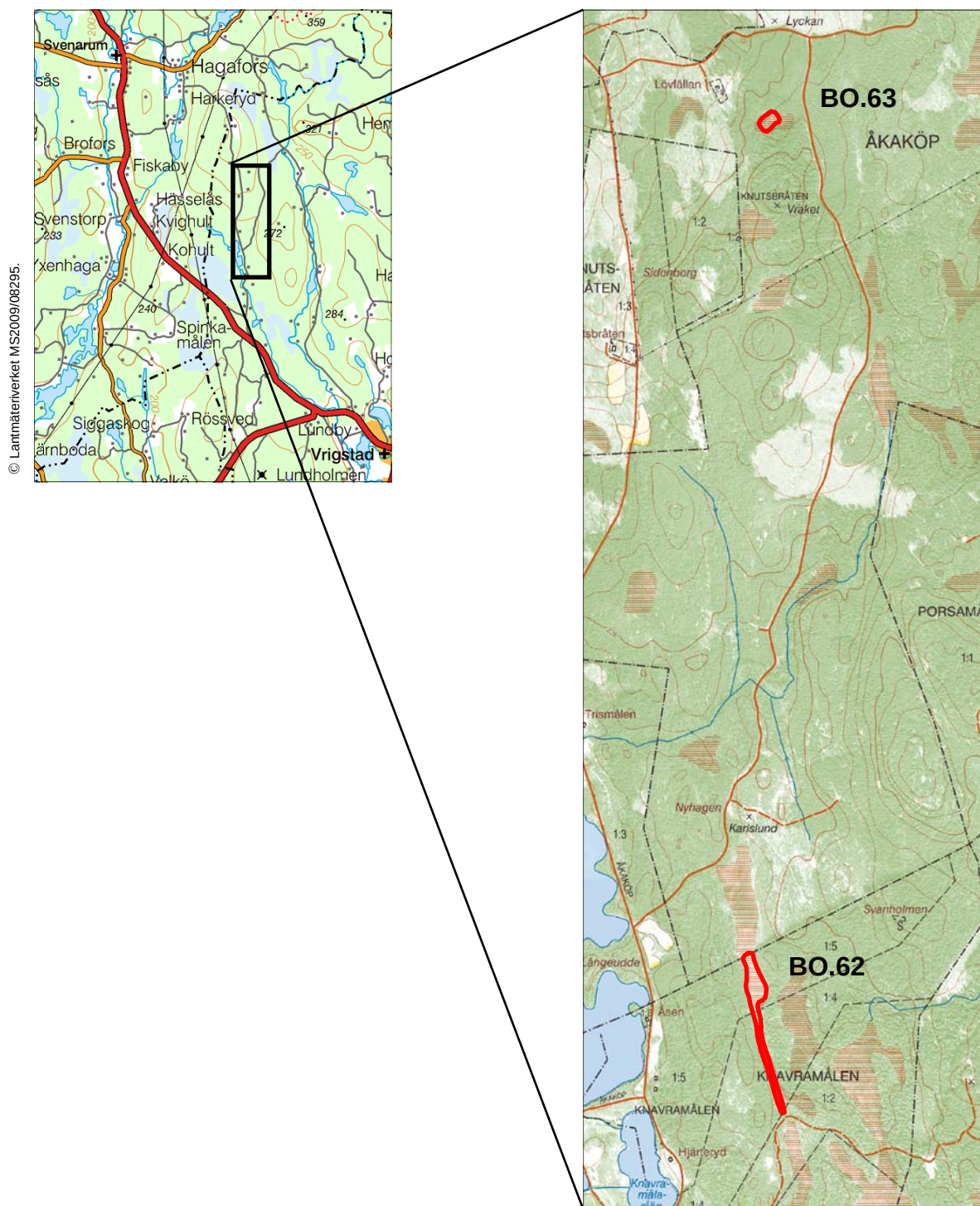
Bilaga 1 a

Kartöversikt försökskärrens geografiska läge. Länskarta över Jönköpings län.



Bilaga 1 b

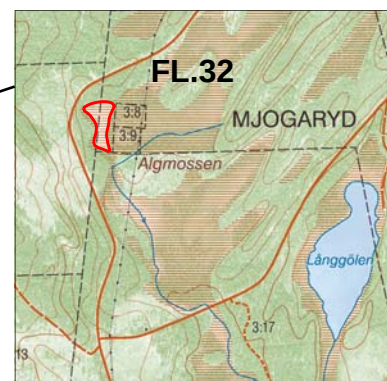
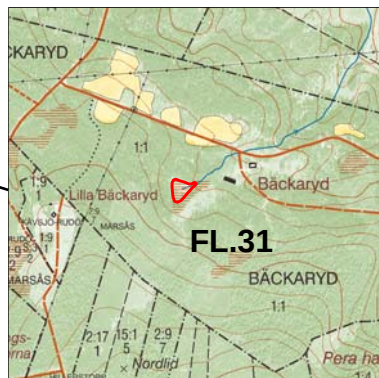
Kartöversikt med BO-kärrens geografiska läge.



500 m
Skala 1: 20 000

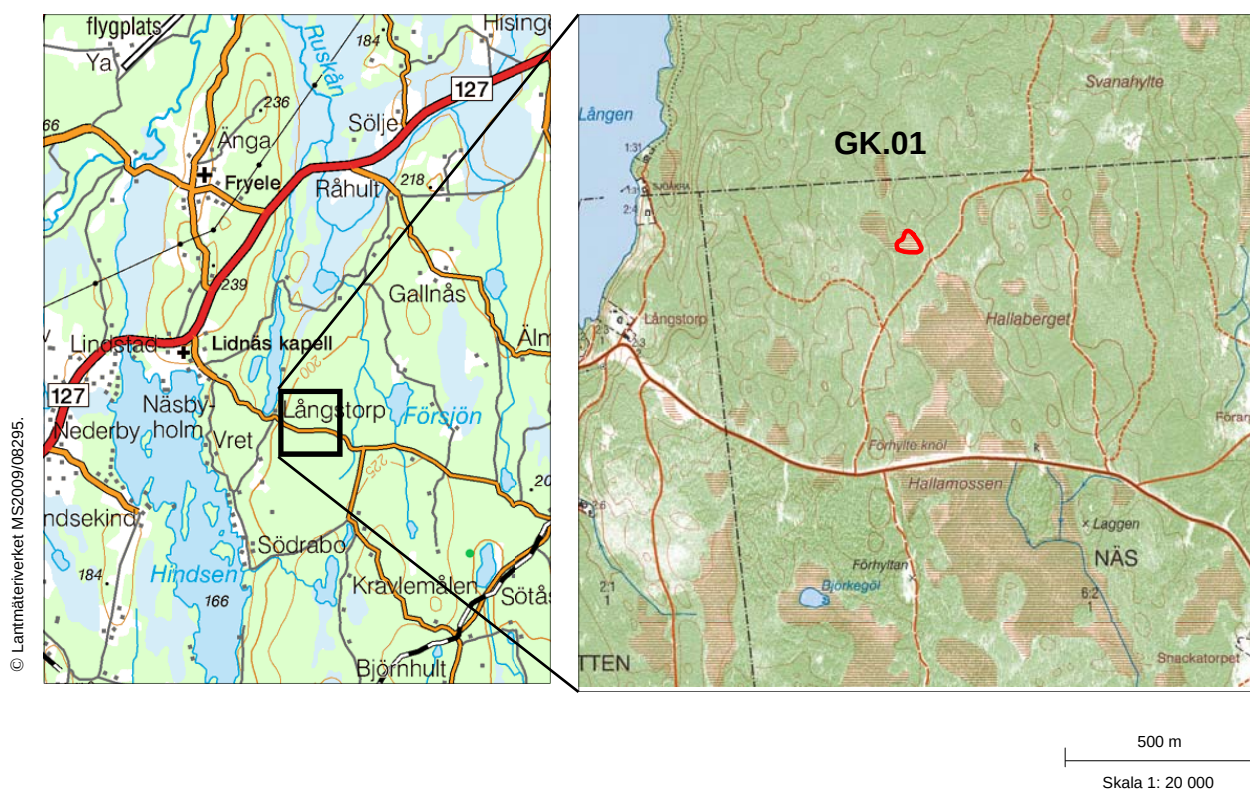
Bilaga 1c

Kartöversikt med FL-kärrens geografiska läge.



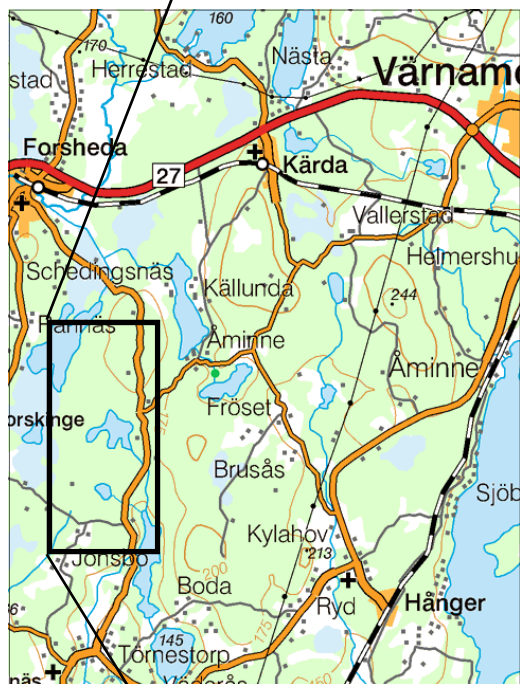
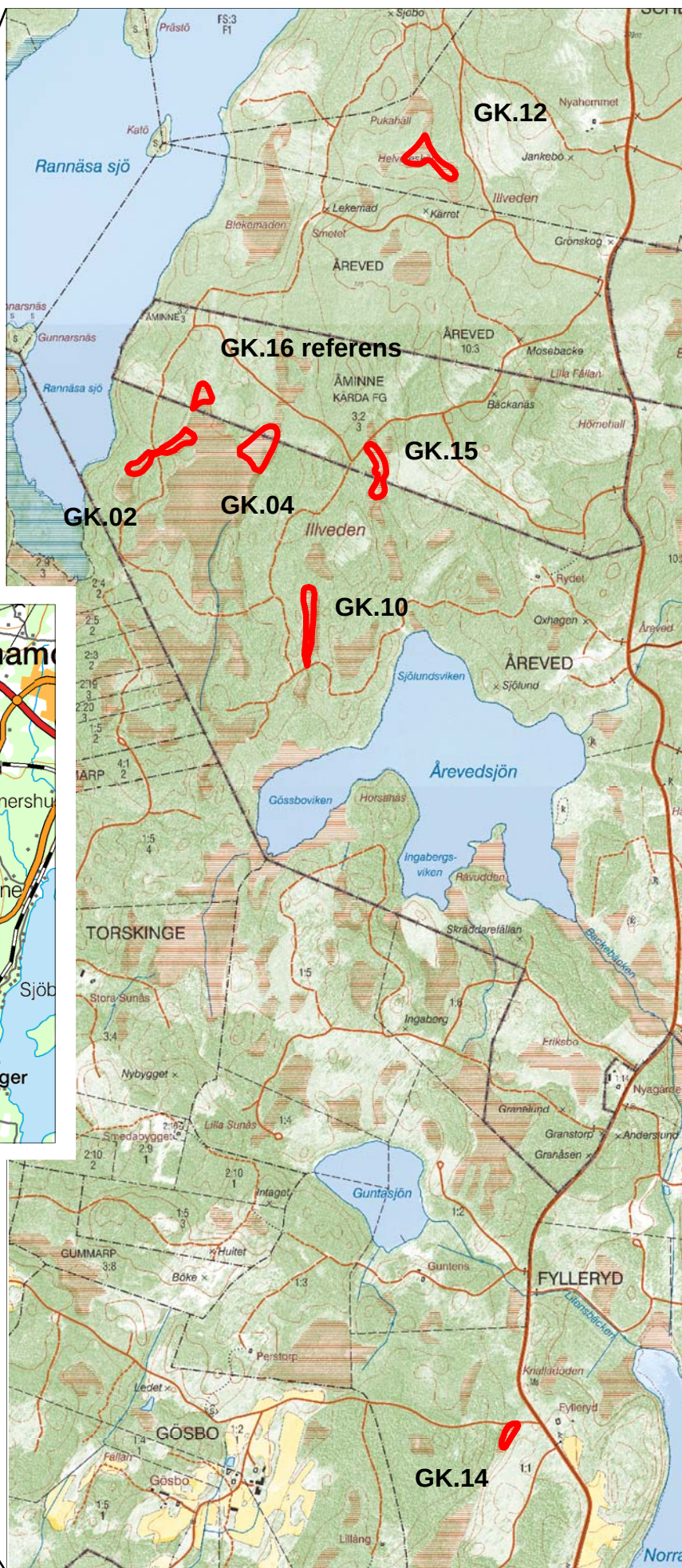
Bilaga 1 d

Kartöversikt med det geografiska läget för kärret GK.01.



Bilaga 1 e

Kartöversikt med det geografiska läget för sju GK-kärr.



Bilaga 1 f

Kartöversikt med det geografiska läget för tre GK-kärr.

