

Slutrapport för projektet:

## **Är strukturkalkning lönsam för både lantbrukaren och miljön? Studier av de långsiktiga effekterna av strukturkalkning på markstruktur och risken för fosforförluster (SLF Projnr H1233136)**

*Projektledare:* Docent Kerstin Berglund, Institutionen för mark och miljö, SLU

*Övriga projektdeltagare:* Ararso Etana, Magnus Simonsson, Jens Blomquist och Gunnar Börjesson, Institutionen för mark och miljö, SLU

### **Bakgrund**

Inom regeringens satsning på Lokala vattenvårdsprojekt (LOVA) har man i vissa län fått bidrag till strukturkalkning och kalkfilterdiken för att genom en förbättrad markstruktur minska riskerna för fosforförluster från åkermark. Enligt Havs- och vattenmyndigheten har 84 miljoner i LOVA-bidrag fram till nu lagts på strukturkalkningsprojekt. Strukturkalkning har även fått mycket positiv respons bland lantbrukare, tack vare positiva effekter för både produktion och miljö.

I en sammanställning av resultaten från de mångåriga kalkförsöken på Lanna (Ohlsson, 1979) påpekas att en del av kalkens effekt på skörden bör vara en struktureffekt och att denna skulle komma att studeras, men någon sådan undersökning blev aldrig gjord. I kalkfosforförsöken på Lanna användes strukturkalk (bränd och släckt kalk) vid starten och vid omkalkningen på 70-talet (Fredriksson, 1958; Ohlsson, 1979; Mattsson, 2001). Att man använde strukturkalk och inte kalkstensmjöl gör att det i just dessa försök finns en unik möjlighet att studera de långsiktiga effekterna på såväl skörd som markstruktur och därmed risken för fosforförluster. Strukturkalkning är en dyr åtgärd men om effekterna är mycket långsiktiga kan den ändå vara kostnadseffektiv. Lönsamheten i åtgärden är givetvis kopplad både till det företagsekonomiska utbytet men också till de miljömässiga effekterna.

Kalk påverkar markens kemiska, biologiska och fysikaliska egenskaper. Vid kalkning höjs markens pH och växtnäringensämnenas växttillgänglighet påverkas. De fysikaliska förändringarna är framför allt kopplade till kalkningsmedlets innehåll av löslig bränd eller släckt kalk, som har stor betydelse för strukturutvecklingen i lerjordar (Berglund, 1971; Berglund & Eriksson, 1982; Haynes & Naidu, 1998; Berglund & Blomquist, 2002). Med bränd eller släckt kalk uppnår man att kalciumjonhalten i marken snabbt blir mycket hög. På kort sikt medför två-värda joner, kalcium och magnesium, att lerpartiklarna flockar ut, vilket är första steget i bildningen av aggregat (Shanmuganathan & Oades, 1983; Churchman & Tate, 1986). Om kalkningsmedlet innehåller kalciumhydroxid ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), som finns i släckt kalk får man även en stabilisering av aggregaten genom s.k. puzzolanreaktioner och murbrukbildning (Berglund 1971). Effekten på markstrukturen kan vara mycket långsiktig. Ju högre Ca-koncentration och ju högre pH marklösningen har, desto snabbare och effektivare sker förloppet. Med bränd och släckt kalk ( $\text{CaO}$  respektive  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) kan en mycket hög Ca-jonkoncentration uppnås, och temporärt också ett mycket högt pH, jämfört med det man uppnår med kalkstensmjöl ( $\text{CaCO}_3$ ). Bränd och släckt kalk ger därför en struktureffekt på både kort och lång sikt. Kalkstensmjöl,  $\text{CaCO}_3$ , är mindre lösligt och ger vanligen en mer begränsad struktureffekt. Fosfors bindning i marken är komplicerad och långt ifrån fullständigt utredd (Ulén, 2002; Eriksson et al., 2011). Klart är emellertid att fosforutlakning motverkas, dels av reaktioner som begränsar fosfatjonernas löslighet i markvattnet, dels av åtgärder som gynnar markens strukturstabilitet. Eftersom en stor del av fosforläckaget på lerjordarna sker

genom partikulärt bunden fosfor som följer med yt- och dräneringsvattnet bör markstrukturförbättrande åtgärder minska fosforläckaget avsevärt på dessa jordar.

I projektet har vi studerat om inblandning av bränd eller släckt kalk i matjorden på lerjord har en långsiktig effekt på jordens struktur och varaktigt minskar risken för fosforförluster.

### Material och metoder

#### Försöksplatser

Studierna har genomförts i två långliggande fältförsök i serien R3-1001 på Lanna försöksgård i Västergötland:

R-27-1941 Långliggande kalkfosforförsök anlagt 1941. *Jordart mmh ML*. Vid starten användes *bränd kalk* (6 ton CaO/ha) som spreds och inbrukades omedelbart på en helträda. Vissa kalkade rutor omkalkades våren 1974 med bränd kalk (6 ton CaO/ha).

R-29-1936 Långliggande kalkfosforförsök anlagt 1936. *Jordart mmh SL*. Vid starten användes *släckt kalk* (motsvarande 6 ton CaO/ha) som spreds och inbrukades omedelbart på en helträda. Vissa kalkade rutor omkalkades hösten 1977 med bränd kalk (6 ton CaO/ha).

All provtagning gjordes hösten 2014. I försöken testas både kalkning och fosforgödslning men i studien provtogs endast det fosforgödslingsled som gödslas varje år med 17,5 kg P/ha som superfosfat (rutorna nr 2, 7, 12, 17, 25, 30, 35 och 40). Det är endast två randomiserade block i varje försök. Följande kalkningsled ingick i studien:

Försöksled	Startkalkad 30/40-talet	Kalkad på 70-talet	Total kalkgiva (som ton CaO/ha)
A. Ej kalkad	-	-	0
B. Startkalkad	X	-	6
C. Omkalkad	-	X	6
D. Start- och omkalkad	X	X	12

#### Skörd och grödans upptag av näringsämnen

Grödan i försöken var provtagningsåret 2014 höstraps av sorten Compass (förfrukt havre i R-27 och höstvetete i R-29). Försöken grundgödslades med ca 100 kg/ha NS 27-4 på hösten 2013 och 600 kg/ha på våren 2014. Skörden skedde 2014-07-09 i R-27 och 2014-07-13 i R-29. Förutom skörden av frö bestämdes halten råfett och Mg, P, Zn, Mn, Cu samt B i fröet.

#### Markfysikaliska analyser

De vattenhållande egenskaperna bestämdes på cylinderprov (diameter 7,2 cm, höjd 10 cm) med jord i ostörd lagring (Andersson, 1955). Förutom den totala porvolymen bestämdes aktuell vattenhalt vid provtagning, skrymdensitet, markvattnets tillgänglighet för växterna genom att mäta den vattenhållande förmågan vid olika undertryck, krympning samt hydraulisk konduktivitet (vattenledande förmåga). Texturanalys med lasermetoden genomfördes på nollrutor från båda försöken. Med lasermetoden kan man dela upp lerfraktionen på underklasser som grovler, finler och ultraler. Laseranalysen ger generellt en lägre lerhalt än den traditionella pipettmetoden.

#### Mätning av strukturstabilitet och risken för fosforutlakning i en dräneringsstudie

I projektet har strukturkalkens förmåga att stabilisera lerjordarnas struktur analyserats genom att lysimetrar (rör med diameter 20 cm, höjd 20 cm) med jord i ostörd lagring tagits ut från matjorden i fältförsöken (två lysimetrar per ruta) och utsatts för regnsimulering. Två regnsi-

mulingar (bevattningar) genomfördes med ett dygns mellanrum. Regnintensiteten var ca 11-16 mm/h och varje regnsimulering pågick i 3 timmar. Genom att mäta grumligheten (turbiditeten) på vattnet som passerar genom den ostörda jorden i lysimetrarna värderas strukturstabiliteten. Grumligheten beror på att partiklar lossnat från aggregaten vid regnsimuleringen. Det grumliga vattnet skakades i en skakapparat i 10 min och fick sedan stå för att sedimentera i 4 timmar och 30 min. Efter sedimentering, togs ett vätskeprov ut på 5,6 cm djup och turbiditeten i vattenprovet mättes vilket blir ett mått på lerkoncentrationen i vattnet. I studien analyserades dräneringsvattnet med avseende på totalfosfor, löst fosfor (PO<sub>4</sub>-P) och partikulär fosfor. Dräneringsvattnet analyserades också med avseende på elektrisk konduktivitet (EC) för att se eventuella kvardröjande effekter på markvattnets jonstyrka till följd av kalkningarna (EC höjs när kalkprodukten går i lösning).

### Övriga jordanalyser

På lösprov från matjorden i försöken analyserades pH (H<sub>2</sub>O), ledningsförmåga (elektrisk konduktivitet, EC) och glödningsförlust. Normalt bestäms pH efter att proverna får stå i 2 timmar efter skakning för att komma i jämvikt. På kalkade eller katbonathaltiga jordar är det möjligt att inte jämvikt uppnås efter denna tid. Värdena kan bli både för låga och för höga. Mätningarna kompletterades därför med ytterligare en mätning 24 timmar efter skakning och det är dessa värden som redovisas. P-AL och P-HCl analyserades 2012 enligt standardmetod (Egnér m.fl., 1960). Även pH (H<sub>2</sub>O) har analyserats 2012 men då mättes pH endast efter att proven fått stå i 2 timmar efter skakning. Ca-AL analyserades 2009 i R-27-1941 och 2007 i R-29-1936. Provtagningen gjordes endast i ett block per försök och redovisas separat för varje försök.

### Statistisk analys

Försöken analyserades som randomiserade blockförsök med två block i varje försök. Variansanalysen (ANOVA) gjordes i SAS med proceduren MIXED (REML/Kenward-Roger). Vid analysen användes huvudfaktorerna *led* och *försök* samt eventuellt signifikant samspel mellan dessa faktorer. Eftersom den inledande analysen med data från båda försöken inte visade på några samspel mellan led och försök redovisas alla resultat sammanslagna för båda försöken. För alla data utom EC, turbiditet och fosfor i utlakningsvattnet, användes ej transformerade värden. Redovisade sannolikhetsvärden (p) avser faktorn *led*. Parvisa jämförelser är relevanta endast när sannolikhetsvärdet visar att det finns signifikanta skillnader mellan leden (\*, p < 0,05; \*\*, p < 0,01, \*\*\*, p < 0,001); men i resultatdelens tabeller finns ändå i något fall markerat med fet stil, att ett värde var signifikant skilt från obehandlat led vid parvis jämförelse, p < 0,05. Alla behandlingsmedelvärden är justerade medelvärden (LSmeans). När dataseten är fullständiga (inga saknade värden) är LSmeans detsamma som det aritmetiska medelvärdet.

För EC, turbiditet och fosfor i utlakningsvattnet, gjordes variansanalysen med logariterade värden (naturliga logaritmen) för att åstadkomma en mer homogen varians och därmed förbättra signifikanstestet. Medelvärden beräknades per led. Före redovisningen transformerades dessa medelvärden tillbaka till ursprunglig skala med hjälp av exponentialfunktionen, d.v.s. geometriska medelvärden beräknades. De geometriska medelvärdena är genomgående något lägre än de aritmetiska medelvärdena. Vid de parvisa jämförelserna användes samma signifikansnivåer som för övriga data.

## **Resultat**

### Karakterisering av försöksjordarna.

Texturanalysen med lasermetoden (tabell 1) visade på mycket mindre jordartsskillnad mellan försöksplatserna än vad tidigare mätningar visat som klassificerat R-27-1941 som en mellan-

lera och R-29-1936 som en styv lera. Även om skillnaderna är mycket små, så är de snarare större inom försöken än mellan försöken. Den kemiska analysen av matjorden 2012 (tabell 2) visade på signifikant lite högre pH i kalkade led (B-D) men ingen skillnad mellan de kalkade leden. Även P-AL var högre i kalkade led men behandlingseffekterna var inte signifikanta. Inga skillnader i P-HCl mellan försöksleden. Vid provtagningen 2014 (tabell 3) uppmättes inga skillnader i vare sig pH, EC eller glödningsförlust mellan leden.

**Tabell 1.** Kornstorleksfördelning (procent av finjorden, <2 mm) på försöksplatserna (ruta 2 och ruta 35 på båda platserna). Kornstorleksanalysen är gjord med laserscanning, vilket generellt ger en lägre lerhalt än traditionell mekanisk analys enligt pipettmetoden. Den totala lerhalten är även uppdelad på olika lerklasser

Fältförsök	Sand >200-2000 µm	Mo >20-200 µm	Mjåla >2-20 µm	Lerhalt <2 µm	Grovler >0,2-2 µm	Finler >0,1-0,2 µm	Ultraler <0,1 µm
R-27-1941	0,2	13,3	46,9	39,7	33,1	6,0	0,6
	0,1	13,6	43,8	42,5	36,1	5,9	0,5
R-29-1936	0,2	13,0	48,4	38,4	32,0	5,8	0,6
	0,1	12,8	48,7	38,4	31,9	5,8	0,6

**Tabell 2.** Matjordens pH (H<sub>2</sub>O, jämvikt 2 timmar) samt P-AL och P-HCl vid provtagning hösten 2012. Medeltal för försöken R-27-1941 och R-29-1936. Resultaten redovisas som aritmetriska medelvärden. Behandlingseffekterna är signifikanta för pH (p < 0,0050). Ca-AL analyserades (ett prov per led) 2009 i R-27-1941 respektive 2007 i R-29-1936

Försöksled	pH	P-AL (mg/100 g)	P-AL relativtal	P-HCl (mg/100 g)	P-HCl relativtal	Ca-AL R-27-1941 (mg/100 g)	Ca-AL R-29-1936 (mg/100 g)
A	6,6	2,85	100	45,2	100	222	252
B	6,7*	<b>3,64</b>	128	45,5	101	237	275
C	6,8**	3,27	115	43,3	96	242	288
D	6,8**	<b>3,63</b>	127	45,7	101	274	304

\*\*\* Signifikansnivå i jämförelse med obehandlat led

**Fetstilt** = Värdet signifikant skilt från obehandlat led endast vid parvisa jämförelser, p < 0,05

**Tabell 3.** Matjordens pH (H<sub>2</sub>O, jämvikt 24 timmar), elektrisk konduktivitet (EC) och glödförlust vid provtagning hösten 2014. Medeltal för försöken R-27-1941 och R-29-1936. Resultaten för pH och glödförlust redovisas som aritmetriska medelvärden och EC som geometriska medelvärden. Behandlingseffekterna var ej signifikanta

Försöksled	pH	EC (µS/cm)	EC relativtal	Glödningsförlust %	Gl.f. relativtal
A ej kalk	6,0	43,8	100	5,0	100
B startkalk	6,0	46,3	106	4,9	97
C omkalk	6,0	46,4	106	5,0	98
D 2 x kalk	6,0	47,8	109	5,2	102

#### Skörd 2014 och grödans upptag av vissa näringsämnen

Den statistiska analysen visade inte på någon signifikant högre skörd 2014 i kalkade led (tabell 4) eller några skillnader i upptag av Mg, P, Zn, Mn, Cu samt B (tabell 5).

**Tabell 4.** Sammanställning av avkastningsresultaten 2014. Medeltal för försöken R-27-1941 och R-29-1936. Gröda höstraps (renvikt frö, vattenhalt 9 %) i båda försöken. Resultaten redovisas som aritmetiska medelvärden. Behandlingseffekterna är ej signifikanta (skörd,  $p = 0,1082$  och råfett,  $p = 0,0906$ )

Försöksled	Skörd (kg/ha)	Skörd relativtal	Råfett (kg/ha)	Råfett relativtal
A ej kalk	3540	100	1685	100
B startkalk	3370	95	1593	95
C omkalk	3678	104	1748	104
D 2 x kalk	4025	114	1920	114

**Tabell 5.** Sammanställning av halten i fröet av Mg, P, Zn, Mn, Cu samt B i höstrapsgrödan 2014. Medeltal för försöken R-27-1941 och R-29-1936. Resultaten redovisas som aritmetiska medelvärden. Behandlingseffekterna är ej signifikanta ( $p$ -värde mellan 0,4809 och 0,9552)

Försöksled	Halter (mg/kg) i fröet av respektive ämne					
	Tot-Mg	Tot-P	Tot-Zn	Tot-Mn	Tot-Cu	Tot-B
A ej kalk	3300	6541	29	37	3,6	10
B startkalk	3349	6588	30	37	3,5	10
C omkalk	3460	6785	31	37	3,6	11
D 2 x kalk	3410	6735	32	36	3,6	11

#### Strukturkalkningens effekt på markfysikaliska parametrar

Den statistiska analysen visade inte på några signifikanta effekter av strukturkalkningen på de markfysikaliska parametrarna (tabellerna 6 och 7) även om genomsläppligheten för vatten (K) ser ut att vara högre för D-ledet som kalkats vid två tillfällen.

**Tabell 6.** Sammanställning av några markfysikaliska parametrar. Medeltal för försöken R-27-1941 och R-29-1936. Porvolym (POR), aktuell vattenhalt vid provtagning (AKT), skrymdensitet (SKRYM), krympning vid torkning i 105 °C (KRYMP) och hydraulisk konduktivitet (K) mätt på ostörda jordprover. Resultaten redovisas som aritmetiska medelvärden. Behandlingseffekterna är ej signifikanta

Försöksled	POR vol-%	AKT vol-%	SKRYM g/cm <sup>3</sup>	KRYMP vol-%	K cm/tim
A ej kalk	48,3	36,9	1,35	14,2	15,0
B startkalk	46,6	36,1	1,39	14,0	15,5
C omkalk	48,0	36,1	1,35	14,0	19,3
D 2 x kalk	48,9	36,4	1,33	15,5	29,2
$p$ -värde	0,1382	0,7794	0,1985	0,1892	0,5018

Variationen i genomsläpplighet för vatten i jord är vanligen stor, speciellt på aggregerade jordar och ett medianvärde tillsammans med variationsbredden (min-max) kan därför vara ett bättre sätt att redovisa resultaten (Dixon, 1986). I tabellerna 8 och 9 presenteras den hydrauliska konduktiviteten för respektive försök. Skillnaderna mellan behandlingarna i försök R-27-1941 var mycket små men något större i R-29-1936. Genomsläppligheten var genomgående högre för jorden i det äldsta försöket (tabell 9) och medianvärdet visar på en ökande genomsläpplighet efter strukturkalkning (ej statistiskt analyserat).

**Tabell 7.** Sammanställning av den vattenhållande förmågan i marken. Medeltal för försöken R-27-1941 och R-29-1936. Dränerbart vatten (DRAIN, porvolym – vattenhalt vid 1 mvp), för växterna lättillgängligt vatten (EAW, 1 mvp - 6 mvp), tillgängligt vatten (AW, 6 mvp - 50 mvp) och svårtillgängligt vatten (DAW, 50 mvp - 150 mvp) mätt på ostörda jordprover och redovisat som volymsprocent vatten. Resultaten redovisas som aritmetriska medelvärden. Behandlingseffekterna är ej signifikanta

Försöksled	DRAIN	EAW	AW	DAW
A ej kalk	10,8	3,4	3,5	9,0
B startkalk	10,2	3,1	2,8	9,0
C omkalk	11,5	3,2	3,5	8,2
D 2 x kalk	12,3	3,1	3,7	8,0
p-värde	0,4791	0,8836	0,6728	0,2797

**Tabell 8.** Genomsläpplighet för vatten (hydraulisk konduktivitet) i försök R-27-1941 mätt på cylindrar med jord i ostörd lagring. Medelvärde, min/max-värden och medianvärde för 8 värden (2 upprepningar, 4 cylindrar per ruta)

Försöksled	Genomsläpplighet (cm/tim)			
	medeltal	min	max	medianvärde
A ej kalk	9,4	0,002	36	5,3
B startkalk 1941	12,5	0,002	41	9,1
C kalk 1974	17,1	0,002	62	5,8
D kalk 1941 + 1974	10,7	0,002	41	7,8

**Tabell 9.** Genomsläpplighet för vatten (hydraulisk konduktivitet) i försök R-29-1936 mätt på cylindrar med jord i ostörd lagring. Medelvärde, min/max-värden och medianvärde för 8 värden (2 upprepningar, 4 cylindrar per ruta)

Försöksled	Genomsläpplighet (cm/tim)			
	medeltal	min	max	medianvärde
A ej kalk	20,5	0,34	96	9,2
B startkalk 1936	18,6	2,7	47	15,1
C kalk 1977	21,5	2,6	47	20,3
D kalk 1936 + 1977	47,8	0,47	138	35,9

#### Mätning av strukturstabilitet och risken för fosforutlakning

Lysimetrarna med jord i ostörd lagring utsattes för 2 regnsimuleringar med 1 dygns mellanrum. Tendensen är att turbiditeten i utlakningsvattnet (tabell 10) var mycket lägre i kalkade led efter både första (ca 60 % lägre) och andra regnsimulering (ca 40 % lägre) men resultaten är inte signifikanta ( $p = 0,1452$ ). Vid den parvisa jämförelsen var turbiditeten i utlakningsvattnet efter den första bevattningen (turbiditet 1:2) signifikant lägre i led D som strukturkalkats två gånger jämfört med okalkat led. Elektriska konduktiviteten i utlakningsvattnet (EC1 och EC2) var högre i kalkade led men inte signifikant skilt från obehandlat led. Vid den parvisa jämförelsen var EC2 i utlakningsvattnet efter den andra bevattningen signifikant högre i led D som strukturkalkats två gånger jämfört med obehandlat led. I lysimeterstudien analyserades dräneringsvattnet efter den första regnsimuleringen även med avseende på totalfosfor, partikulär fosfor och löst fosfor (tabell 11). Det var ca 40 % lägre halt partikulär fosfor i utlakningsvattnet i alla kalkade led ( $p = 0,0692$ ) men skillnaden var bara signifikant vid den parvisa analysen ( $p < 0,05$ ). Halten löst fosfor var vid parvis jämförelse högre i led B som endast kalkats vid starten.

**Tabell 10.** Strukturstabilitet i utlakningsförsök med lysimetrar med ostörd jord. Medeltal för försöken R-27-1941 och R-29-1936. Provtagning hösten 2014. Turbiditet 1:2 och 2:2 och elektrisk konduktivitet (EC1 och EC 2) i utlakningsvattnet efter regnsimulering en respektive två gånger av lysimetrarna. Resultaten redovisas som geometriska medelvärden. Behandlingseffekterna är ej signifikanta

Försöksled	Turbiditet 1:2 (NFU)	Turb 1:2 relativtal	EC1 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	EC1 relativtal	Turbiditet 2:2 (NFU)	Turb 2:2 relativtal	EC2 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	EC2 relativtal
A ej kalk	441	100	191	100	280	100	119	100
B startkalk	187	42	238	125	179	64	145	122
C omkalk	166	38	232	122	166	59	143	120
D 2 x kalk	<b>159</b>	36	236	124	155	55	<b>154</b>	130
p-värde	0,1452		0,2679		0,3989		0,1608	

**Fetstilt** = Värdet signifikant skilt från obehandlat led endast vid parvisa jämförelser,  $p < 0,05$

**Tabell 11.** Fosforutlakning i lysimeterförsöken med ostörd jord. Medeltal för försöken R-27-1941 och R-29-1936. Provtagning hösten 2014. Totalfosfor (Tot-P), partikulär fosfor (Part-P) och löst fosfor (Löst-P) i utlakningsvattnet efter den första regnsimuleringen av lysimetrarna. Resultaten redovisas som geometriska medelvärden. Behandlingseffekterna är ej signifikanta

Försöksled	Tot-P $\mu\text{g}/\text{l}$	Tot-P relativtal	Part-P $\mu\text{g}/\text{l}$	Part-P relativtal	Löst-P $\mu\text{g}/\text{l}$	Löst-P relativtal
A ej kalk	228	100	187	100	34	100
B startkalk	206	90	<b>106</b>	57	<b>79</b>	235
C omkalk	194	85	<b>115</b>	61	61	180
D 2 x kalk	187	82	<b>120</b>	64	54	160
p-värde	0,5875		0,0692		0,1047	

**Fetstilt** = Värdet signifikant skilt från obehandlat led endast vid parvisa jämförelser,  $p < 0,05$

## Diskussion

Generellt så visar många av resultaten på tydliga tendenser att strukturkalkningen fortfarande påverkar både skörden och markegenskaperna men försökens upplägg med endast två block per försök ger stor varians i den statistiska analysen. Behandlingseffekterna i variansanalysen var inte signifikanta ( $p > 0,05$ ) men den parvisa jämförelsen mellan ett kalkled och obehandlat gav ibland signifikans ( $p < 0,05$ ).

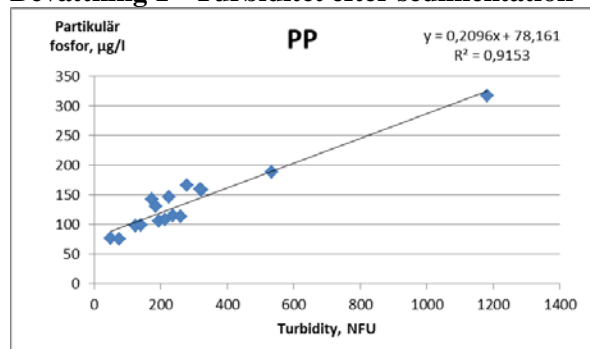
Texturanalysen med lasermetoden (tabell 1) visade på mycket mindre jordartsskillnad mellan försöksplatserna än vad tidigare mätningar gjort som klassat jordarna som mellanlera respektive styv lera. Lasermetoden ger generellt lägre lerhaltvärden och båda försöksplatserna klassificerades som mellanleror på gränsen till styv lera. Strukturkalkningens effekt på matjordens pH visade på en mycket liten eller ingen höjning (tabell 2 och 3) vilket så här många år efter kalkningen var väntat. P-AL var något högre i kalkade led (tabell 2) och Ca-AL visade en tendens till samma effekt vilket tyder på att det fortfarande finns lättlöslig kalk kvar efter kalkningen. Det var inga signifikanta skördeeffekter i försöken 2014 (tabell 4 och 5). Tidigare sammanställningar över längre perioder i samma försök har visat på skördeökningar för kalkningen under perioden mellan den första och andra kalkningen (Ohlsson, 1979) och ett SLF-projekt (projekt nr H1133140) visade på skördeökningar för hela försöksperioden fram till 2010, men inga skillnader i fosforupptag.

Strukturkalkens effekter på markstrukturen och dess stabilitet mättes på flera olika sätt. Den statistiska analysen visade inte på några signifikanta effekter av strukturkalkningen på de

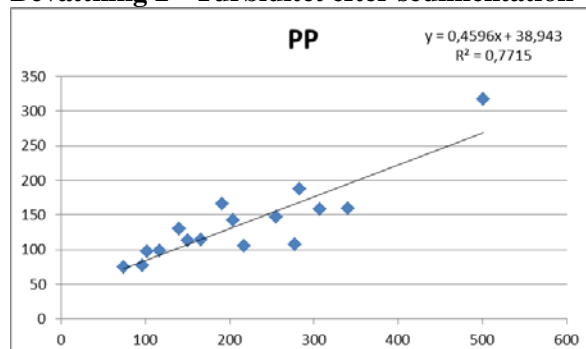
markfysikaliska parametrarna (tabellerna 6 - 9) även om genomsläppligheten för vatten (K) ser ut att vara högre för D-ledet som kalkats vid två tillfällen. Struktureffekten, uppmätt som minskad turbiditet i utlakningsvattnet efter regnsimuleringar i lysimeterprover med jord i ostörd lagring (tabell 10) visade på hela 60 % lägre turbiditet efter den första bevattningen och 40 % lägre turbiditet efter den andra bevattningen men resultaten var bara signifikanta vid den parvisa jämförelsen av led D (som strukturkalkats två gånger) jämfört med okalkat led. Turbiditeten i det obehandlade ledet var lägre efter den andra bevattningen än efter den första vilket tyder på att en stor andel av de löst bundna lerpartiklarna sköljdes ut vid den första bevattningen. I de strukturkalkade leden var aggregaten stabilare och turbiditeten i utlakningsvattnet var densamma efter båda bevattningarna. Detta visar på att strukturen stabiliserats av strukturkalkningen och därmed minskar även risken för fosforutlakning. I lysimeterstudien studerades endast vad som händer i matjorden men i fält kommer givetvis fler faktorer som tex strukturen i alven att påverka vad som verkligen transporteras ut från fältet.

I lysimeterstudien var utlakningen av partikulär fosfor ca 40 % lägre i strukturkalkade led (tabell 11) och även om resultatet inte är signifikant ( $p = 0,0692$ ), så överensstämmer resultatet väl med vad som tidigare rapporterats för bränd kalk i fältförsök med dränerade rutor på lerjordar i Mellansverige (Ulén & Etana, 2014). Turbiditeten i utlakningsvattnet vid aggregatstabilitetstestet bör vara väl korrelerad med P-förlusterna från lerjorden eftersom fosfor på lerjordar är bunden till lerpartiklarna (Ulén m.fl., 2012). I figur 5 visas den linjära korrelationen mellan turbiditeten i utlakningsvattnet från lysimetrarna och partikelbunden fosfor i utlakningsvattnet.

**Bevattning 1 - Turbiditet efter sedimentation**



**Bevattning 2 - Turbiditet efter sedimentation**



**Figur 1.** Sambandet mellan turbiditet (NTU) och partikulär fosfor (PP) i utlakningsvattnet ( $\mu\text{g/l}$ ) i lysimeterstudien. Data från både den första och den andra regnsimuleringen av lysimeterar. Medeltal från båda försöken. Turbiditeten mätt i vattnet efter sedimentering av alla partiklar större än ler.

Sambandet mellan partikulär fosfor och turbiditeten i utlakningsvattnet är uppenbar. Generellt var det linjära sambandet mer uttalat efter den första bevattningen än efter den andra. Något samband mellan turbiditet och löst fosfor fanns inte eftersom den lösta fosfor inte är kopplad till lerpartiklarna. Det bör med andra ord vara möjligt att utifrån en turbiditetsmätning i tex dräneringsvattnet kunna förutsäga risken för utlakning av partikulär fosfor från lerjordar.

### Lönar sig investeringen?

Mycket av ekonomin för lantbrukaren och motiven för strukturkalkning som miljöåtgärd beror på hur långsiktig effekten är. Den här studien har visat på mycket långsiktiga effekter av



strukturalkning på markstrukturen och därmed risken för fosforutlakning från lerjordar. De mycket långvariga effekterna på markstrukturen gör att åtgärden går att jämföra med andra grundförbättrande åtgärder med lång avskrivningstid som tex dränering. I försöken användes emellertid ren bränd och släckt kalk både vid startalkningen för dryga 70 år sedan och vid omkalkningen på 70-talet. De strukturalkningsmedel som används idag innehåller ca 15 % släckt kalk och resten är det mycket mindre reaktiva kalciumkarbonat. Tyvärr finns det inga svenska studier ännu på hur långsiktiga struktureffekterna är för dessa blandvaror. Tidigare studier i Sverige med tillförsel av kalkstensmjöl har givit mycket begränsade effekter på markstrukturen (Berglund, 1971; Berglund & Eriksson, 1982). Möjligtvis kan blandningen släckt kalk, som ger en snabb effekt på strukturen, och kalciumkarbonat som har låg löslighet och därför bidrar med kalciumjoner under en lång tid, vara en bra kombination.

Kostnaden för den strukturalk som används idag är ca 500 kr/ton spritt på fältet. Nedbrukningen kostar ca 1 000 - 1 500 kr/ha beroende på hur många gånger man behöver köra. Totalkostnad för en giva på 7 ton/ha blir ca 5 000 kr/ha. Kostnaderna för investeringen minus eventuella bidrag ska vägas mot intäkter och uteblivna kostnader. Än så länge finns det möjlighet att gå samman och söka LOVA-bidrag via länsstyrelserna motsvarande högst 50 procent av kostnaden. LOVA-stödet har rönt stort intresse och många län har därför tvingats prioritera bland ansökningarna. Från och med hösten 2015 går det också att söka investeringsstöd till bl.a. strukturalkning inom landsbygdsprogrammet. Utgifterna måste vara 100 000 kr eller mer och stödet är i de flesta fall högst 40 procent, se [www.jordbruksverket.se](http://www.jordbruksverket.se). Resten av kostnaderna kan i viss mån täckas av inbesparad bearbetning (plöjning + harvning) under spridningsåret, inbesparad pH-kalkning, färre bearbetningar inför sådd och i bästa fall en högre och jämnare skördenivå. Varierande skördeeffekter och risken för mikronäringsbrister gör dock intäktssidan osäker (Berglund m.fl., 2015).

De årliga fosforförlusterna från jordbruksmark i Nordeuropa ligger runt 0,1–2 kg P/ha (Ulén & Snäll, 2007). I en finsk studie har man uppskattat värdet på att minska lantbrukets fosforbelastning till Östersjön till 139-232 Euro per kg (Iho & Laukkanen, 2012) att jämföras med kostnaden för att sprida och blanda in 5-7 ton strukturalk (ca 15 % släckt kalk och resterande kalkstensmjöl) som idag uppgår till ca 4-5000 kr per hektar. Om man med strukturalkningen kan halvera fosforutsläppen från 2 till 1 kg/år från våra lerjordar så ter sig strukturalkningen som en mycket kostnadseffektiv åtgärd för att minska utsläppen till Östersjön, men om utlakningen redan ligger på en låg nivå så blir åtgärden mer tveksam. Om effekten av de nya blandvarorna visar sig lika långvarig som visats i Lannaförsöken så ökar lönsamheten avsevärt ur alla aspekter.

### Slutsatser

Strukturalkning är en lovande åtgärd som kan förbättra markstrukturen och minska fosforförlusterna från lerjordar. Resultaten från Lannaförsöken, som strukturalkades med bränd och släckt kalk vid starten för dryga 70 år sedan och omkalkades på 70-talet, visar att struktureffekten kan vara mycket långvarig med stabilare aggregat och bättre genomsläpplighet för vatten. Risken för fosforförluster testades i en dräneringsstudie och utlakningen av partikulär fosfor var ca 40 % lägre i strukturalkade led. På lerjordar med stor fosforutlakning och med nuvarande bidragsnivå kan åtgärden vara lönsam både för lantbrukaren och för miljön. Varierande skördeeffekter och risken för mikronäringsbrister gör dock intäktssidan osäker. Tyvärr finns det ännu inga studier på hur långsiktiga struktureffekterna är för de strukturalkningsmedel som idag används i lantbruket som är en blandning av ca 15 % släckt kalk och resten kalciumkarbonat.

### Publikationer och resultatförmedling till näringen

Denna slutrapport kommer att ligga till grund för en vetenskaplig artikel. De preliminära resultaten har presenterats vid rådgivarträffar och i kurser för markväxtagronomstudenter vid SLU. På vår hemsida för strukturkalkningsfrågor [www.slu.se/strukturkalk](http://www.slu.se/strukturkalk) ligger en länk till projektet och när slutrapporten är godkänd kommer den att läggas ut på hemsidan. Resultat från detta och andra strukturkalkningsprojekt har bidragit bakgrundsmaterial till en skrift med praktiska råd om strukturkalkning för Greppa Neringen (Strukturkalkning – bra för både mark och miljö) som Kerstin Berglund och Jens Blomquist har skrivit med Johan Malgeryd, Jordbruksverket som redaktör. Råden finns att ladda ned på Greppas hemsida:

<http://www.greppa.nu/download/18.6b6712dc151ab7054519c133/1450374226635/Praktiska+R%C3%A5d+Nr+23+Strukturkalkning.pdf>

Av branschtidningarna har bl.a. Jordbruksaktuellt, Lantbrukets affärer och ATL har uppmärksammat råden och strukturkalkningen i allmänhet.

### Referenser

- Andersson, S. 1955. Markfysikaliska undersökningar i odlad jord. VIII. En experimentell metod. Grundförbättring 8 (Specialnummer 2): 7-98.
- Berglund, G. 1971. Kalkens inverkan på jordens struktur. Grundförbättring 24, 1971:2, 81-93.
- Berglund, K & Eriksson, L. 1982. Kalkens struktureffekt. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Avd. för växtnäringslära. Rapport 148, p.59-70.
- Berglund, K & Blomquist, J. 2002. 4.2.1. Effekter av strukturkalkning på skörd och markstruktur I: *4T Tillväxt Till Tio Ton (4T The Ten Ton Target)*. Slutrapport. Kap 4.2.1, 14-15.
- Berglund, K., Blomquist, J., Etana, A. & Simonsson, M. 2015. Markstrukturförbättring och begränsning av fosforförluster från åkermark med hjälp av inblandning av olika kalciumprodukter i matjorden. Institutionen för mark och miljö, SLU. Slutrapport avseende SLF-projekt H1070272. 10 s.
- Churchman, G.J. & Tate, K.R. 1986. Aggregation of clay in six New Zealand soil types as measured by disaggregation procedures. *Geoderma*, 37, 207-220.
- Dixon, W.J. 1986. In: *Methods of soil analysis. Part 1* (ed. A. Klute) pp 83-90. American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Egnér, H., Riehm, H. and Domingo, W.R., 1960. *Ann. Roy. Agr. Coll. Sweden* 26, 199–215.
- Eriksson, J., Dahlin, S., Nilsson, S.I. & Simonsson, M. 2011. *Marklära. Studentlitteratur*, Lund.
- Fredriksson, L. 1958. Markkemiska undersökningar och kärlförsök i anslutning till mångåriga fältförsök vid statens försöksgård Lanna. *Statens Jordbruksförsök Meddelande* 96.
- Haynes, R.J. & Naidu, R. 1998. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter and soil physical conditions: A review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 51, 123-137.
- Iho, A. & Laukkanen, M. 2012. Gypsum admendment as means to reduce agricultural phosphorous loading: an economic appraisal. *Agricultural and food science*, 21:307-324.
- Mattsson, L. 2001. Skördar, pH och P-AL i kalk/fosforförsöken på Lanna. I *Växtnäringsförsök 2000*. Skördresultat med växt- och jordanalyser. Institutionen för markvetenskap, Avd. för växtnäringslära, Rapport Specialnr 11, 10-13.
- Ohlsson, S. 1979. De mångåriga kalkförsöken på Lanna. Resultat och slutsatser. *Kungl. Skogs- och lantbruksakademien, Tidskrifter, Supplement* 13, 17-26.
- Shanmuganathan, R.T. & Oades, J.M. 1983. Modification of Soil Physical Properties by Addition of Calcium Compounds. *Aust. J. Soil Res.*, 21, 285-300.
- Ulén, B. 2002. Svävande lerpartiklar för fosfor till havet. *Fakta Jordbruk* 6: 2002. Sveriges lantbruksuniversitet.
- Ulén, B., Alex, G., Kreuger, J., Svanbäck, A. & Etana, A. 2012. Particulate facilitated leaching of glyphosate and phosphorus from a marine clay soil via tile drains, *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science*, 62:sup2, 241-251.
- Ulén, B. & Etana, A. 2014. Phosphorus leaching from clay soils can be counteracted by structure liming, *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, 64:5, 425-433.
- Ulén, B. & Snäll, S. 2007. Forms and retention of phosphorus in an illite-clay soil profile with a history of fertilisation with pig manure and mineral fertilisers. *Geoderma* 137, 455–465.