



Strukturalkens inverkan på jordmotstånd

– analys av mätningar på det horisontella och vertikala motståndet

The effect of structure lime on soil resistance

Claes Sjöberg & Jens Kårhammer

Självständigt arbete • 7,5hp • Grundnivå G1E

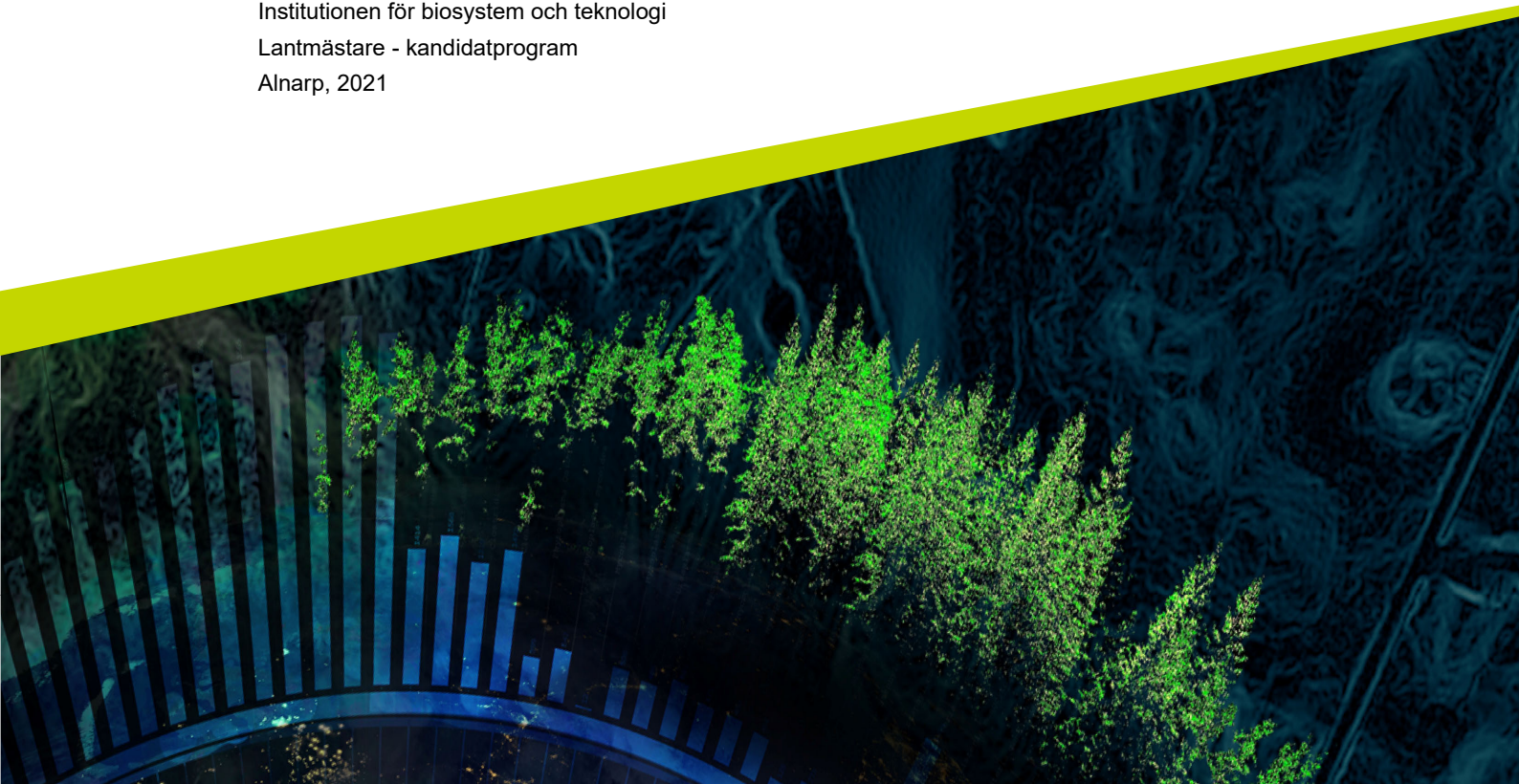
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

Institutionen för biosystem och teknologi

Lantmästare - kandidatprogram

Alnarp, 2021



Strukturkalkens inverkan på jordmotstånd – analys av mätningar på det horisontella och vertikala motståndet

The effect of structure lime on soil resistance

Claes Sjöberg & Jens Kårhammer

Handledare: Sven-Erik Svensson, SLU, Institutionen för biosystem och teknologi
Bitr. handledare: Jens Blomquist, SLU, Institutionen för mark och miljö samt Agraria Ord & Jord
Examinator: Håkan Asp, SLU, Institutionen för biosystem och teknologi

Omfattning: 7,5hp

Nivå och fördjupning: G1E

Kurstitel: Självständigt arbete i lantbruksvetenskap, G1E - Lantmästare - kandidatprogram

Kurskod: Ex0942

Program/utbildning: Lantmästare - kandidatprogram

Kursansvarig inst.: Institutionen för biosystem och teknologi

Utgivningsort: Alnarp

Utgivningsår: 2021

Omslagsbild:

Nyckelord: Strukturkalkning, dragkraftsbehov, jordmotstånd, penetrometermotstånd, aggregatbildning, lerjord, pH

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap
Institutionen för biosystem och teknologi

Sammanfattning

En lerjord med god struktur har många fördelar för både lantbrukare och miljö. Genom tillförsel av strukturkalk, som är en jordförbättringsåtgärd till lerjord, kan flera positiva effekter uppnås. Forskning har tidigare visat att strukturkalkning kan ge stabilare aggregat, och kan bidra till minskat fosfor läckage samt bättre vatten- och näringshållande förmåga.

Strukturkalk finns som bränd kalk (CaO) och släckt kalk (Ca(OH)_2), vilka är lösliga och har stor påverkan på jordstrukturens utveckling. Idag används en blandning av framförallt släckt kalk och kalkstensmjöl (CaCO_3) som strukturkalk. Rekommendationerna är att sprida från 5 ton per hektar och uppåt beroende på jordens lerhalt. Ju högre lerhalt desto högre giva strukturkalk.

Dragkraftsmätningar gjordes för att undersöka strukturkalkens påverkan på jordmotstånd på 1970- och 1980-talen. I denna studie gjordes nya mätningar på mellanleror under 2020 på fyra olika platser i Skåne, inom åtta olika försök. Försöken var randomiserade och hade strukturkalkats vid olika tillfällen mellan 2014 och 2018 och hade fyra försöksled: okalkat, 4, 8 och 16 ton strukturkalk per hektar av Nordkalk Fostop Struktur. Inom varje försök fanns tre upprepningar.

Idén med vår studie var att undersöka om strukturkalk hade effekt på lerjordarnas motstånd i vertikal och horisontell ledd. Mätningarna gjordes genom penetrometermätning och dragkraftsmätning. Vid mätningstillfället samlades även jordprov in som användes för analys av jordens vattenhalt och pH-värde. Vattenhaltanalysen gjordes för att kunna utesluta att variation i jordens vattenhalt skulle påverka resultatet av motståndsmätningarna. pH analyserades för att undersöka strukturkalkens effekter på jordens pH-värde.

Till dragkraftsmätningen användes en John Deere 6215R tillsammans med en kultivator - Väderstad TopDown 400 - utrustad med dragkraftsmätare. Mätvärdena registrerades i kN (kilo newton). Medelvärdena från försöksleden på de fyra olika platserna sammanställdes och statistiska beräkningar utfördes för att se om det fanns signifikanta skillnader mellan de olika försöksleden.

Penetrometermätningarna gjordes med en Eijkelkamp Penetrologger som registrerade vertikalt jordmotstånd, i detta försök ned till 15 cm djup. I varje försöksparcell gjordes 10 mätningar som sedan lades ihop till ett medelvärde. Jordmotståndet mättes i N (newton).

Resultatet av dragkraftsmätningarna vid kultiveringen visade att det fanns statistiskt säkerställda positiva effekter av strukturkalkning på lerjordar vid givorna 4 och 16 ton per hektar men inte vid givan 8 ton per hektar.

Effekten på pH-värde var varierande mellan platserna, men det fanns en tydlig pH-höjande effekt av en ökad giva strukturkalk.

Detta examensarbete har genom fältförsök och statistiska analyser av insamlade rådata samt litteraturstudie kring de försök som utförts nått fram till följande slutsatser:

- Ökade mängder strukturkalk per hektar i lerjordens övre matjordslager tenderade att minska dragkraftsbehovet vid kultivering.
- Ökade mängder strukturkalk per hektar i lerjordens övre matjordslager tenderade att minska jordmotståndet i vertikal ledd.
- Ökade mängder strukturkalk hade en pH-höjande effekt på lerjordarna i dessa försök. Hur stor pH-effekten var varierade mellan olika platser.

Abstract

A clay soil that has a good structure with aggregates are beneficial both for farmers and for the environment. By adding structural lime, which is a soil-improvement material, to clay soils, a number of positive effects can be achieved. Studies have shown that structural liming can contribute to more stable soil aggregates and less phosphorus leakage. A good soil structure can also hold more water and nutrients to the crop.

Structural lime is available as burnt lime (CaO) and slaked lime (Ca(OH)_2). Burnt and slaked lime are easily soluble and easily affect changes in soil structure. The structure lime that's used today is primarily a mix between slaked lime and ground limestone (CaCO_3). The recommended rate is to spread at least 5 tonnes or more per hectare depending on the percentage of clay in the soil.

Traction requirement measurements were carried out in the 1970-s and –80s to investigate if there were any effects on the soil resistance after adding structure lime to clay soil. In this study new traction requirement measurements were carried out in fall 2020. The measurements were made in 8 trials at 4 different trial sites in Skåne, Sweden. The trial plots were treated with structure lime at different occasions between 2014 and 2018. The trial plots were split in four different treatments with Nordkalk Fostop Struktur, (A) no lime, (B) 4 ton per hectare, (C) 8 ton per hectare, (D) 16 ton per hectare. Every treatment was repeated three times in a randomized order within the trial.

The idea with the study was to analyse if structure lime affects both horizontal and vertical soil resistance. The measurements were made through penetrometer measurements and traction requirement measurements. By the time for the measurements, soil samples were collected for analyses of water content and the pH value in the soil. The water content analyse were made to exclude that the water content in the soil would affect the result from the soil resistance measurements. pH values were analysed to investigate the effect on pH from structure lime.

For the traction requirement measuring a John Deere tractor were used together with a Väderstad TopDown tine cultivator. The cultivator was equipped with measuring instruments. The measurements were logged in kN (kilo newton). All the mean values in soil resistance from the different treatments were put together and used for statistic calculations.

The penetrometer measurements were made with an Eijkelkamp Penetrologger which registered vertical soil resistance in N (newton) down to 15 cm soil depth. 10 measurements were made in every plot which were aggregated to a mean value. The mean values were used to plot a graph showing changes in vertical soil resistance.

The result from the traction requirement measurements showed that there was significantly lower draught requirement where the soil had been added 4 and 16 tonnes of structure lime per hectare, but not where 8 tonnes per hectare had been added.

The effect on soil pH were different in different places, but overall, there was a clear rise of pH as a result of structure liming.

This study has, through field trials and statistical analyses of collected raw data as well as a literature study of older trials that have been carried out, reached the following conclusions:

- Increased amounts of structural lime per hectare in the top layer of clay soil tend to decrease the traction requirement.
- Increased amounts of structural lime per hectare in the top layer of clay soil tend to decrease the vertical soil resistance.
- Increased amounts of structural lime had a pH-raising effect on clay soils. The magnitude of the pH effect varied between different trials sites.

Keywords: Structural liming, traction requirement, soil resistance, penetrometer resistance, aggregate structure, clay soil, pH

Förord

Lantmästare -- kandidatprogrammet är en treårig universitetsutbildning vilken omfattar 180 högskolepoäng (hp). Inom programmet är det möjligt att ta ut två examina, en lantmästarexamen 120 hp och en kandidatexamen 180 hp. En av de obligatoriska delarna i denna är att genomföra ett eget arbete som ska presenteras med en skriftlig rapport och ett seminarium. Detta arbete kan t.ex. ha formen av ett mindre försök som utvärderas eller en sammanställning av litteratur vilken analyseras. Detta arbete är utfört under programmets andra år och arbetsinsatsen motsvarar minst 5 veckors heltidsstudier (7,5 hp).

Våren 2020 presenterade Jens Blomquist sin idé om dragkraftsmätning i strukturalkad lerjord. Till sin hjälp önskade han två lantmästarstudenter. Med stort intresse för växtodling såg vi möjligheten att genom detta arbete bidra till utvecklingen av både den agrara näringen och oss själva med ny kunskap inom området strukturalkning.

Vi vill rikta ett stort tack till Jens Blomquist som gav oss idén till denna studie. Han har bidragit med mycket värdefull handledning både i fält och under sammanställningen av arbetet.

Tack till Sven-Erik Svensson, SLU, som också varit vår handledare i arbetet.

Tack till Väderstad AB som bistod med traktor, kultivator och mätutrustning som gjorde dragkraftsmätningarna möjliga.

Tack till Kerstin Berglund, SLU, för instruktioner för pH- och vattenhaltsmätning.

Tack till Lena Holm, Jordvetaren, för instruktioner och hjälp med penetrometermätningarna.

Tack till Jan-Eric Englund som hjälpt till och väglett oss vid statistiska analyser och tolkning av data.

Tack till SLU Partnerskap Alnarp som bidragit till delfinansiering av vår studie via projektet "Strukturalkningens inverkan på dragkraftsbehov och penetrometermotstånd i jorden" PA 1296.

Håkan Asp vid SLU har varit examinator.

Alnarp, maj 2021.

Claes Sjöberg & Jens Kårhammer

Innehållsförteckning

1. Inledning	7
1.1. Bakgrund	7
1.2. Syfte.....	8
1.3. Frågeställningar	9
1.4. Genomförande.....	9
1.5. Avgränsning.....	9
2. Litteraturstudie.....	10
2.1. pH	10
2.2. Penetrometermätning	10
2.3. Dragkraftsmätning	12
3. Material och Metod	14
3.1. Försöksupplägg	14
3.2. Jordprov.....	15
3.3. pH-mätning	15
3.4. Vattenhalts-mätning.....	16
3.5. Dragkraftsmätning	16
3.6. Penetrometermätning	18
3.7. Statistiska beräkningar	19
3.8. Litteraturstudie	20
4. Resultat	21
4.1. Resultat vattenhaltsmätning	21
4.2. Resultat pH-mätning.....	21
4.3. Resultat dragkraftsmätning.....	22
4.4. Resultat penetrometermätning	24
5. Diskussion	25
6. Slutsatser.....	29
7. Referenser	30
8. Bilagor	32
8.1. Bilaga 1. Kornheddinge Låg Lerhalt D3 & Hög lerhalt D4.....	32
8.2. Bilaga 2 Hulta Hög PA-L & Låg PA-L	33
8.3. Bilaga 3 Stureholm Hög Lerhalt & Låg Lerhalt.....	34
8.4. Bilaga 4 Skottlandshus Hög Mullhalt & Låg Mullhalt.....	35

1. Inledning

1.1. Bakgrund

Lerjordar som har en smulig eller grynig karaktär är generellt sett lätta att bearbeta och benämns ofta som en jord med god struktur. Vissa jordar behåller sin goda struktur både vid uppblötning och torkning. Andra jordar förlorar sin goda struktur och blir smetiga och sega vid uppblötning och mycket hårda när de är torra. När jordar med dålig struktur blir blöta blir de även mycket känsliga mot packning och bearbetning. Genom att tillföra ett jordförbättringsmedel på en jord som har dålig struktur är ett av målen att stabilisera strukturen så att den förblir grynig både vid blöta och torra förhållanden (Berglund, 1971).

Holland et al. (2018) beskriver att kalk innehåller katjoner av Ca^{2+} eller Mg^{2+} , ibland båda. Kalcium- och magnesiumjonerna tränger undan vätejonerna (H^+) i markvätskan, och när reaktionen med H^+ -jonerna sker bildas koldioxid (CO_2) och vatten (H_2O), vilket ökar pH-värdet.

Genom att tillsätta så kallad strukturkalk till jorden i form av löslig bränd kalk (CaO) och släckt kalk (Ca(OH)_2), som har stor påverkan på strukturutvecklingen i lerjordar, kan en struktureffekt på både kort och lång sikt uppnås. Bränd och släckt kalk gör att kalciumjonhalten i jorden höjs mycket fort och tillsammans med magnesiumjoner gör de att lerpartiklarna flockar ut och aggregatbildning startar. I släckt kalk finns kalciumhydroxid (Ca(OH)_2) som kan leda till puzzolanreaktioner och murbruksbildning, vilka bidrar till stabilisering av aggregaten. Rent kalkstensmjöl (CaCO_3) har inte samma struktureffekt. (Berglund et al., u.å.). Den strukturkalk som idag används i Sverige är framförallt en blandning av 14 - 19 procent släckt kalk och 81 - 86 procent kalkstensmjöl. Kostnaden för att sprida och bruka ner 7 ton strukturkalk per hektar är ca 5 000 kr, men varierar beroende på nedbrukningsdjup och antal överfarter (Berglund & Blomquist, 2015).

Hur stora de fysikaliska effekterna av kalkningen på jorden blir beror på basutbyte, puzzolanreaktioner och murbruksbildning och hur fort dessa reaktioner sker (Berglund, 1971).

För strukturkalkningsprojekt kan LOVA-stödet (Lokala vattenvårdsprojekt) sökas och kan som max utgöra 40 % av kostnaden (Länsstyrelsen, 2021). Sedan stödet infördes har ca 60 000 hektar åkermark strukturkalkats i Sverige (Geranmayeh, 2018).

Olika studier har gjorts angående strukturkalkning, bland annat bidrar strukturkalkning till att lerjordar torkar upp fortare, har bättre vatten- och näringshållande förmåga samt minskar risken för fosforläckage (Berglund & Blomquist, 2015). Få studier har berört markfysikaliska effekter i form av jordmotstånd. Detta arbete syftar därför till att undersöka om strukturkalkning påverkar motståndet i lerjord både i horisontell och vertikal ledd. Det finns idag en uppfattning bland lantbrukare, forskare och myndigheter att strukturkalkning av lerjordar bidrar till lägre kostnader vid jordbearbetning genom lägre dragkraftsbehov kontra jordbearbetning i icke strukturkalkad lerjord (Berglund & Blomquist, 2015).

Förr i tiden användes mycket höga givor av bränd kalk för att förbättra lerjordarnas struktur (Simán et al., 1984), men idag anses en praktiskt och ekonomiskt rimlig giva enligt Jordbruksverket vara 5 - 8 ton strukturkalk per hektar (Kvarnmo et al., 2020) och Nordkalk rekommenderar minst 6 ton strukturkalk per hektar (Nordkalk, 2020). De senast kända försöken gällande dragkraftsbehov i strukturkalkade jordar i Sverige gjordes på 1970 - 80 talet (Simán et al., 1984). Det är därför mycket intressant att undersöka hur den strukturkalk som används idag påverkar dragkraftsbehovet vid jordbearbetning av lerjordar.

1.2. Syfte

Syftet med arbetet var att genom fältförsök med stigande givor strukturkalk undersöka om det kan påvisas skillnader på motståndet i lerjordar, i både horisontell och vertikal ledd. Detta för att driva forskningen vidare kring de effekter som strukturkalkning kan medföra.

1.3. Frågeställningar

Effekt av stigande givor strukturkalk i lerjord på:

- pH i matjordslagret
- Horisontellt jordmotstånd
- Vertikalt jordmotstånd

1.4. Genomförande

Försöken gjorde på fyra olika platser i Skåne, med två fältförsök på varje plats, vilket innebär att det var totalt åtta fältförsök. I samtliga fältförsök gjordes datainsamling i form av dragkraftsmätning, penetrometermätning samt jordprovtagning. Därefter analyserades data från fältförsöken. Det gjordes även en litteraturstudie kring ämnet strukturkalkningens effekter på horisontellt jordmotstånd i form av dragkraftsbehov, vertikalt jordmotstånd i form av penetrometermätning och pH-effekt.

1.5. Avgränsning

- Studien analyserar inte några ekonomiska aspekter.
- Studien undersöker enbart hur strukturkalken påverkar motståndet i jorden i horisontellt och vertikalt led samt strukturkalkens påverkan på lerjordens pH-värde.
- Studien undersöker inte andra eventuella effekter av strukturkalkning på platserna.
- Enbart insamlade data från de åtta fältförsöken analyseras och jämförs med data från litteraturen.
- Studien undersöker inte effekter av olika ler- och mullhalter i jordarna och dess eventuella påverkan på jordmotståndet i horisontell eller vertikal ledd.

2. Litteraturstudie

2.1. pH

Att jordens pH-värde har stor inverkan på dess egenskaper är ingen nyhet. Eriksson et al. (2011) beskriver att pH påverkar kemiska, fysikaliska och biologiska processer i jorden. Detta innebär bland annat att jordens pH påverkar växtnäringsämnenas löslighet, den biologiska aktiviteten samt aggregatstabiliteten.

I ett försök av Ivarsson (1996) jämfördes pH-värdet mellan två försöksled, led A som var okalkat och led B som struktorkalkats med 6,5 ton CaO per hektar 8 år tidigare. Resultatet av detta visade att pH-värdet i det kalkade ledet (B) var cirka 0,8 pH-enheter högre än i det okalkade ledet (A). Resultatet visade sig i både matjordens övre skikt, 0 - 12 cm, och dess undre skikt, 13 - 25 cm djup.

Valzano et al. (2001), beskriver ett fältförsök som etablerades 1994 med 9 kalk- och gipskombinationer där de testade två olika bearbetningssystem. I detta försök mättes även vilka effekter behandlingsleden hade på pH-värdet i jorden. Resultaten av dessa visade att efter tre år så hade behandlingsleden med kalk bidragit till en signifikant ökning av pH.

2.2. Penetrometermätning

Berglund (1977) utförde proktobärighetsmätningar (penetrationsmätningar) på jord från 12 olika försöksplatser i Sverige, från Jordberga i söder till Ultuna i norr. Okalkad jord samlades in från de olika platserna och kalkades i laboratorium. Proverna fick sedan stå ute i 10 månader innan de fick stå under tak och torka i 2 månader före mätning. Penetrometermätningarna gjordes i torr jord ned till 10 cm djup. Penetrometern som användes hade en spets på 2 cm². Försöksleden hade

kalkats med 0, 4, 16, 40 och 135 ton per hektar osläckt kalk. Det fanns även motsvarande försöksled med kalkstensmjöl för jämförelse. I rapporten finns ingen sammanställning av resultaten utan alla försök är uppdelade efter vilken försöksplats de kommer ifrån. Generellt minskade penetrometermotståndet tydligt med ökad giva släckt kalk på alla platser. På flera av platserna fanns däremot inget minskat jordmotstånd när givan var under 40 ton CaO per hektar utan effekten visade sig först vid de högre givorna. Kalkstensmjölet visade mycket spretiga resultat utan någon tydlig minskning i penetrationsmotståndet.

Ivarsson (1996) gjorde penetrationsmätningar på Sundby gård i Västmanland i maj 1995 för att undersöka packningsgraden i jorden vid olika bearbetningsmetoder. Mätningarna gjordes inom 24 försöksparcerer varav halva ytan inom varje försök hade struktursläckats med 6,5 ton CaO per hektar sommaren 1987. Penetrationsmätningarna gjordes ned till 50 cm djup med motståndsregistreringar varannan centimeter. Försökens resultat visade att det fanns ett genomsnittligt lägre penetrationsmotstånd i de struktursläckade leden jämfört med de okalkade leden, framförallt inom intervallet 6 - 14 cm, men även djupare i profilen under plogsulan. Motståndet i ytan var för båda leden ca 400 kPa. Vid 15 cm djup var motståndet ca 1100 kPa för det struktursläckade ledet och ca 1300 kPa för det okalkade ledet (Ivarsson, 1996).

Valzano et al. (2001) utförde 1997 penetrationsmätningar i 2 olika bearbetningssystem, direktsådd och minimerad bearbetning. De olika bearbetningssystemen hade 9 försöksled i röd-brun lerjord i New South Wales, Australien. Försöken behandlades 1994 med kalciumkarbonat (CaCO_3) och gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). En försöksruta var obehandlad, 3 försöksrutor var enbart kalkade. Mängderna som användes var 1, 2,5 och 5 ton CaCO_3 per hektar, samma mängder användes i försöksleden med bara gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Det gjordes även mätningar i ett försöksled som hade behandlats med 1 ton kalk och 1 ton gips per hektar samt ett försöksled som hade behandlats med 2,5 ton kalk och 1 ton gips per hektar. Penetrationsmätningarna gjordes med en Rimik TM penetrometer till ca 44 cm djup i obearbetad jord efter skörd. I varje försöksruta gjordes 5 stick med penetrometern från vilka ett medelvärde beräknades.

Resultatet av mätningarna visade att gips ökade det vertikala jordmotståndet i leden med 1 och 2,5 ton gips per hektar där minimerad bearbetning hade tillämpats. Däremot sjönk motståndet i ledet behandlat med 5 ton gips per hektar. För de led som behandlats med kalk fanns signifikant minskat jordmotstånd i leden som behandlats med 2,5 och 5 ton kalk samt ledet med 2,5 ton kalk och 1 ton gips, där reducerad bearbetning hade tillämpats. Där direktsådd hade tillämpats ökade penetrationsmotståndet med ökade givor kalk.

2.3. Dragkraftsmätning

En studie kring strukturkalkens struktureffekter genomfördes genom en rad olika tester i syfte att se vilka som kan användas som säkra tester för att undersöka behandlingseffekter av strukturkalkning (Berglund, 1977). Projektet var uppdelat på ett tiotal olika fältförsök, med sju olika försöksled, med ett okalkat led samt sex led baserat på olika mängd kalk per hektar, med två olika sorters kalk, osläckt kalk och kalksstensmjöl vilka hade tre försöksled vardera. Försöksleden var, 0, 4, 16 och 40 ton per hektar.

I studien gjordes en rad olika tester så som jordart, pH-värde, basutbyteskapacitet samt dragkraftsmätning. Dragkraftsmätningens upplägg var att med hjälp av mätutrustning mäta jordmotståndet som uppstod, mätt i kN (kilo Newton), när en bill drogs i jorden vid 15 centimeters djup. Försöken gjordes mer än en gång per plats, två år i rad respektive tre år i rad, vilket även skulle visa om jordmotståndet sjönk ytterligare baserat på hur lång tid efter behandlingen som mätningarna gjordes.

Dessa försök visade att resultaten varierar ganska kraftigt beroende på försökstillfälle, trots att samtliga försök gjordes på hösten efter skörd. Berglund (1977) menar därför att det är svårt att jämföra resultat mellan olika försökstillfällen. Studien visar dock i nästan samtliga försök att det finns tendenser till reducerat jordmotstånd i takt med ökade kalkgivor, mest tydligt i led med släckt kalk.

Berglund (1977) är tydlig med att belysa att störst variation på dragmotstånd oftast har ett samband med markfuktigheten, där lägre vattenhalt ger ökat jordmotstånd, vilket framför allt syns i styvare jordar med högre lerhalter. Han belyser också att jordmotståndet varierar beroende på jordens struktur. En torr jord med grynig struktur är ganska lättbrukad och dragmotståndet blir därför inte så stort. En jord med dålig struktur som är kompakt, tät och fuktigare ger i sin tur ett större jordmotstånd.

Utöver Berglunds rapport (1977) så har Simán et al. (1984) skrivit en rapport om samma försök, men några år senare samt med ett antal försökstillfällen ytterligare, än vad som redovisades i den första rapporten. I Simán et al. (1984) redovisas mätningarna mer noggrant, där det bland annat beskrivs att billen som drogs i jorden var en traktorburen gåsfotsbill.

Resultaten från dessa försök tillsammans med de försök som Berglund (1977) rapporterade om inräknade samt de senare försökstillfällena som Simán et al.

(1984) beskriver, visar positiva utslag av båda kalkslagen och framför allt med släckt kalk. Det betyder att med ökade kalkgivor så reduceras dragmotståndet.

Simán et al. (1984) beskriver, likt tidigare rapporter, att en stor påverkande faktor på dragmotståndet är vattenhalten. En ökad vattenhalt i lerjordar ger ett lägre dragmotstånd, eftersom vattnet här fungerar som smörjmedel mellan jordpartiklarna. I lättare jordar som mo- och mjälajordar har vattenhalten inte lika stor påverkan på dragmotståndet, då dessa uppträder relativt lika oavsett torra eller fuktigare förhållanden.

3. Material och Metod

3.1. Försöksupplägg

Mellan 2014 - 2018 lade HS Skåne ut 44 provytor för en utvärdering av LOVA-projekt (lokala vattenvårdsprojekt). Dessa 44 provytor har design som randomiserade fältförsök med 3 upprepningar i block för att kunna utvärderas vetenskapligt. I 36 av dessa 44 provytor användes 4 led:

A: Obehandlad – 0 ton per hektar Nordkalk Aktiv/Fostop Struktur

B: Halv giva strukturkalk – 4 ton per hektar Nordkalk Aktiv/Fostop Struktur

C: Hel giva strukturkalk – 8 ton per hektar Nordkalk Aktiv/Fostop Struktur

D: Dubbel giva strukturkalk – 16 ton per hektar Nordkalk Aktiv/Fostop Struktur

8 av dessa 44 försöksytor på 4 olika platser i Skåne: Kornheddinge, Stureholm, Skottlandshus och Hulta utgör grunden i denna studie i vilka samtliga försöksmoment utfördes. På varje försöksplats fanns alltså två försök med avsikt att spegla ungefär samma jordartsförhållanden, men olika lerhalter, mullhalter eller fosforhalter (P-AL), vilket redovisas i **Tabell 1**. Samtliga jordar i försöken klassas som mellanlera vilket innebär en lerhalt på 25 - 40 % ler enligt Eriksson et al. (2011). I studien analyseras inte resultaten baserat på försökens olika jordförutsättningar.

Tabell 1. Försöksplatsernas markstatus före kalkning

Försöksplats	Ler	Sand & Grovmo	Mullhalt	pH	P-AL	K-AL	Mg-AL	K/Mg	Ca-AL
	%	%	%		mg/100 g	mg/100 g	mg/100 g	Kvot	mg/100 g
Kornheddinge Låg lerhalt D3	25,8	49,9	2,8	7,8	5,8	17,3	15,4	1,3	609
Kornheddinge Hög lerhalt D4	28,5	45,8	2,6	7,8	11,4	20,3	21,8	1,1	705
Stureholm Hög lerhalt	37,6	30,0	4,4	7,0	2,8	18,7	20,7	0,9	394
Stureholm Låg lerhalt	35,3	35,8	4,4	7,0	3,6	18,9	23,4	0,8	373
Skottlandshus Hög mullhalt	31,0	18,8	5,2	7,1	7,8	13,1	13,2	1,0	433
Skottlandshus Låg mullhalt	37,6	18,0	4,1	8,3	25,8	18,0	19,5	0,9	1145
Hulta Hög P-AL	27,1	43,8	3,9	7,3	10,1	19,0	13,4	1,4	420
Hulta Låg P-AL	28,8	45,3	3,8	7,0	8,0	21,8	15,0	1,5	357

Datum för strukturkalkning på de olika platserna:

Kornheddinge: 2014-09-28

Stureholm: 2016-07-30

Skottlandshus: 2017-08-24

Hulta: 2018-08-22

3.2. Jordprov

Från varje försöksparell samlades 10 st jordprov in. Proverna togs ner till 13 cm i orörd jord minst 3 meter innanför parcellens kant i ett sick-sack-mönster om 5 stick på parcellens högra sida och 5 stick i parcellens vänstra sida. Proverna packades i plastpåsar, förslöts och förvarades i kylrum för att bevara fukten i proverna för vidare analys.

Datum för insamling av jordprov på de olika platserna:

Kornheddinge: 2020-08-10

Hulta: 2020-08-11

Skottlandshus: 2020-08-12

Stureholm: 2020-09-02

3.3. pH-mätning

Genom att analysera jordprovernas pH-värden kan eventuella pH-effekter av strukturkalkningen på de olika platserna undersökas.

Ca 10 ml av varje jordprov torkades på ett papper i rumstemperatur i ett dygn. Därefter blandades 5 ml torkad jord med 25 ml avjoniserat vatten i ett 50 ml provrör av plast med lock och märktes med led, block och försök. Proverna skakades i 5 minuter så att jord och vatten blandades väl. Proverna fick sedan stå i 1 timma. När proverna fått vila i minst 1 timma skakades de kraftigt direkt före mätning av pH med en pH-meter. Detta test är ett standardtest i Sverige och brukar kallas för slamningstest enligt Eriksson et al. (2011).

3.4. Vattenhalts-mätning

Vattenhalten i jordproverna analyserades för att se om det gick påvisa signifikant skillnad i vattenhalt mellan försöken. Det gjordes för att få ett så trovärdigt resultat av dragkraftsmätningarna och penetrometermätningarna som möjligt där hänsyn tagits till eventuella skillnader i jordens vattenhalt, vilket skulle kunna påverka resultaten.

Jordprov från varje försöksparcell mättes upp i skålar med ca 100 gram jord i varje skål. Skålarna vägdes och den våta vikten noterades. Proverna ugnstorkades över natten vid 105 °C. Efter torkning vägdes skålarna igen och den torra vikten noterades. Från resultaten beräknades mellanskillnaden mellan våta vikten och torra vikten enligt Eriksson et al. (2011). Därefter kunde jordprovets vatten- och ts-halt beräknas i procent.

3.5. Dragkraftsmätning

Dragkraftsmätningen gjordes med en John Deere 6215R och en kultivator - Väderstad TopDown 400. Kultivatoren var vid mätningstillfället utrustad med ett specialbyggt drag med en inbyggd dragkraftsmätare kopplad till en dator. Traktor, kultivator och mätutrustning tillhandahölls och sköttes av Väderstad AB. Traktorn och kultivatoren framfördes i en hastighet av 8 km/h. Bearbetningsdjupet var inställt på 12 cm i obearbetad stubb direkt efter tröskning. Vid dragkraftsmätningen användes inte kultivatorns tallriksredskap, enbart pinnarna bearbetade jorden samt välten som rullade på marken, men utan något marktryck.

I Kornheddinge gjordes 2 passager genom varje försöksparcell med kultivatoren. Vid varje passage genom parcellerna mättes dragkraftsbehovet i 3 sekunder, vilket gav ca 1500 mätvärden per passage och parcell. På Hulta, Skottlandshus och Stureholm gjordes 4 passager genom varje parcell med kultivatoren. Vid varje passage genom försöksparcellerna mättes här dragkraftsbehovet i 2 sekunder, vilket gav ca 1000 mätvärden per passage och parcell. Mätvärdena sammanställdes av Väderstad AB och beskrivs i kN (kilo Newton). De sammanställda mätvärdena analyserades sedan statistiskt både i perspektivet varje försök för sig samt alla försök sammanlagda, för att få ett genomsnitt för de olika behandlingsleden.

Datum för dragkraftsmätning på de olika platserna:

Kornheddinge: 2020-08-11

Hulta: 2020-08-11

Skottlandshus: 2020-08-12

Stureholm: 2020-09-02



Figur 1. Ekipaget som användes till dragkraftsmätningen.



Figur 2. Specialbyggt drag med mätutrustning för dragkraft.

3.6. Penetrometermätning

Penetrometermätning gjordes med en Eijkelkamp Penetrologger, konspets på $1,0 \text{ cm}^2$, 60° och vid en penetrationshastighet på 2 cm/s . Penetrationsmotståndet beskriver det vertikala motståndet i jorden. I varje försöksparcell gjordes 10 stick med penetrometern. Test djupet var här ner till minst 15 cm i orörd jord efter skörd, vilket var en utmaning vid torra förhållanden. Markens hårdhet i Hulta medförde att penetrometermätning i försöket med låg P-AL inte kunde utföras. Detta innebär att försöket ”Hulta Låg P-AL” inte ingår i studien.

Proverna togs minst 3 meter innanför parcellens kant i ett sick-sack-mönster om 5 stick i parcellens högra sida och 5 stick i parcellens vänstra sida. Penetrometermätningen utfördes med stöd och hjälp med utrustning från Institutionen för biosystem och teknologi på SLU Alnarp. Resultaten av mätningarna sammanställdes i Microsoft Excel och är beskrivna i N (Newton). Ingen statistisk beräkning gjordes på detta material, på grund av att för stor

arbetsinsats krävdes.

Datum för penetrometermätning på de olika platserna:

Kornheddinge: 2020-09-10

Hulta: 2020-08-11

Skottlandshus: 2020-08-12

Stureholm: 2020-09-02



Figur 3. Penetrometermätning.

3.7. Statistiska beräkningar

Statistiskberäkningar på insamlade data gjordes med vägledning och hjälp av Jan-Eric Englund, SLU Alnarp. Vid beräkningarna användes statistikberäkningsprogrammet Minitab samt Microsoft Excel. I Minitab tillämpades variansanalys med ANOVA-tabell för att studera om det gick att påvisa signifikanta skillnader mellan behandlingarna. Signifikansnivån i analyserna är satt till 5 %, vilket betyder att signifikant skillnad påvisades om $P < 0,05$.

3.8. Litteraturstudie

Vid litteraturstudien har sökmotorer som Google och Google Scholar legat till grund. Sökord som använts är: strukturstabilitet, lerjord, jordmotstånd, dragmotstånd, Berglund, Blomquist, soil resistance och liming.

Utöver egna sökningar har handledarna bidragit och tipsat om aktuell och relevant litteratur.

4. Resultat

4.1. Resultat vattenhaltsmätning

Analysen av vattenhalt visade att det inte fanns några statistiskt signifikanta skillnader i jordens TS-halt mellan de olika platserna vid försökstillfället. **Figur 4.** För att få fram medelvärdena i **Figur 4** som procent så ska dessa multipliceras med 100.

Comparisons for TS

Tukey Pairwise Comparisons: BEHANDLING

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

BEHANDLING	N	Mean	Grouping
D	24	0,882417	A
C	24	0,880750	A
B	24	0,880708	A
A	24	0,879708	A

Means that do not share a letter are significantly different.

Figur 4. Tukey's test på TS-halt, alla försök sammanlagda.

4.2. Resultat pH-mätning

Analyserna visade att pH-effekterna av strukturkalkningen skiljde sig åt på de olika försöksplatserna. I Kornheddinge med försöken ”låg lerhalt D3” och ”hög lerhalt D4” gick det inte att påvisa någon signifikant skillnad mellan behandlingarna. På Skottlandshus med ”hög mull” och ”låg mull” gick det att se olika behandlingseffekter mellan försöken. Se **Bilaga 1**.

Läggs alla platser och försök ihop fanns det signifikanta behandlingseffekter mellan led A och led C, mellan led A och led D samt mellan led C och led D.

Figur 5. Strukturkalkningens pH-effekter i de olika försöken framgår av **Figur 6**.

Comparisons for pH

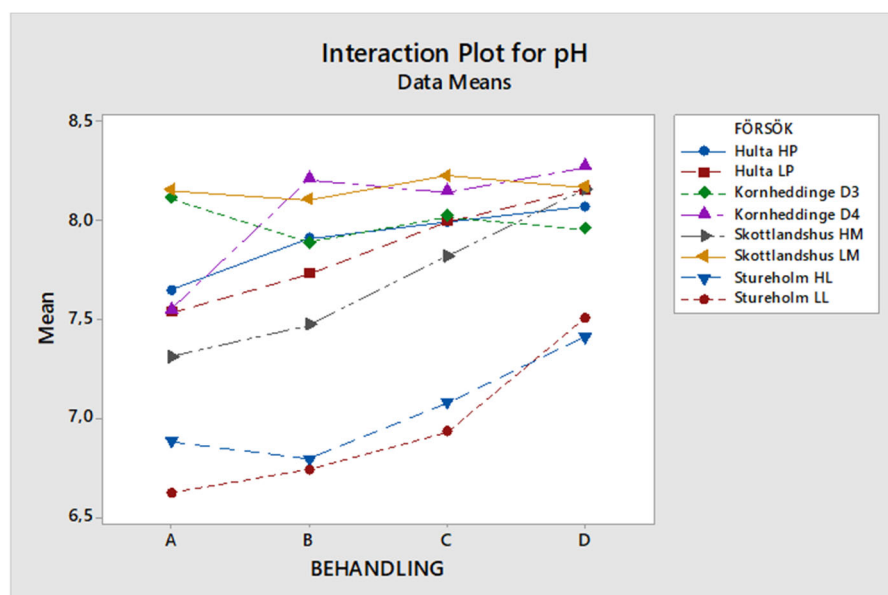
Tukey Pairwise Comparisons: BEHANDLING

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

BEHANDLING	N	Mean	Grouping
D	24	7,95708	A
C	24	7,77125	B
B	24	7,60125	B C
A	24	7,47125	C

Means that do not share a letter are significantly different.

Figur 5. Tukey's test på pH, samtliga försök.



Figur 6. Interaction Plot på pH, samtliga försök.

4.3. Resultat dragkraftsmätning

Resultaten av dragkraftsbehovet på alla platser sammanlagda visade att det fanns statistiskt fastställda skillnader mellan behandlingarna ($P=0,001$), **Figur 7**. Resultatet visade också att det fanns signifikanta skillnader mellan det okalkade ledet (A) och ledet med halv giva (B) samt mellan det okalkade ledet (A) och ledet med dubbel giva (D). Det fanns även signifikanta skillnader mellan ledet med hel giva (C) och ledet med dubbel giva (D). Det fanns däremot ingen signifikant skillnad mellan okalkat led (A) och ledet med hel giva (C), som är rekommenderad giva, **Figur 8**.

Diagrammet i **Figur 9** förtydligar resultatet.

Av **Figur 9** framgår också att det fanns tydliga skillnader i dragkraftsbehov mellan platserna. Stureholm hade ett genomsnittligt dragkraftsbehov i obehandlat led på ca 50 kN medan de andra 3 platserna hade ca hälften så stort dragkraftsbehov i det obehandlade ledet (A).

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Behandling	3	153,5	51,16	9,95	0,000
Plats nummer	7	13072,9	1867,56	29,68	0,000
Block(Plats nummer)	16	1006,9	62,93	12,24	0,000
Behandling*Plats nummer	21	124,3	5,92	1,15	0,334
Error	48	246,8	5,14		
Total	95	14604,3			

Figur 7. Variansanalys på dragkraft, alla försök analyserade.

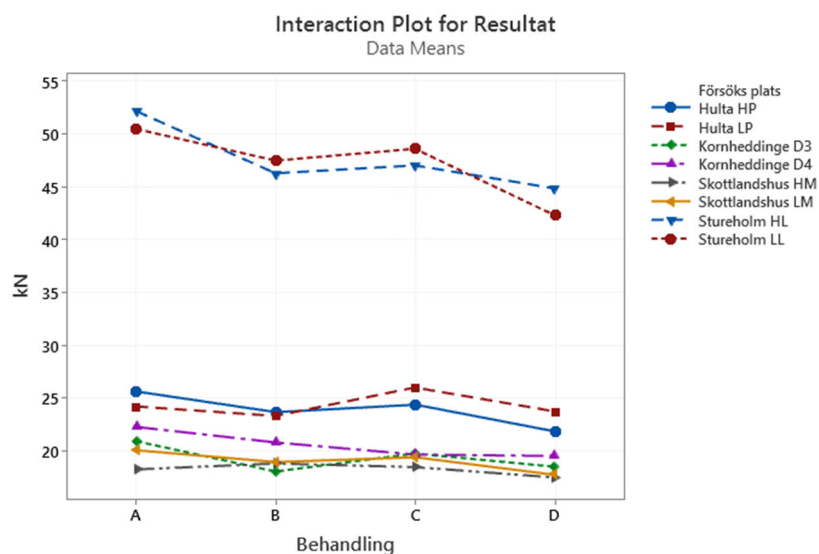
Tukey Pairwise Comparisons: Behandling

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Behandling	N	Mean	Grouping
A	24	29,2924	A
C	24	27,9532	A B
B	24	27,2116	B C
D	24	25,7942	C

Means that do not share a letter are significantly different.

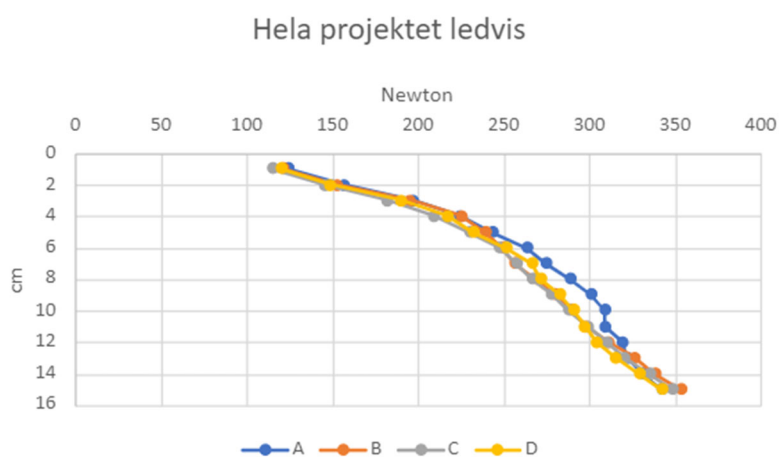
Figur 8. Tukey's test på dragkraft, alla försök sammanlagda.



Figur 9. Diagram över dragkraftsbehov i alla försök och försökens olika led.

4.4. Resultat penetrometermätning

Resultatet av penetrometermätningen i intervallet 1 - 15 cm djup visade att det inte fanns några större skillnader i vertikalt jordmotstånd mellan de olika kalkbehandlingarna B-D i alla försök. Linjerna för de olika leden följde varandra väl, och endast det okalkade ledet A visade tendenser till något högre jordmotstånd i intervallet 6 - 11 cm djup. Enligt medelvärdena var motståndet ca 120 N vid markytan och ca 350 N vid 15 cm djup. **Figur 10.**



Figur 10. Sammanställt diagram över penetrometermotståndet ledvis för hela studien.

5. Diskussion

Vattenhaltsmätning

Resultaten från vattenhaltsmätningen visade att det inte gick att påvisa några signifikanta skillnader i markens vattenhalt mellan de olika försöken. Detta innebär att jordens vattenhalt kunde uteslutas som påverkande faktor på resultatet avseende jordmotståndet vid mätning av vertikalt och horisontellt jordmotstånd, vilket ger säkrare resultat. Att försöken gjorts inom ett relativt begränsat område, Skånes landskap, kan vara en bidragande faktor till detta samt att väderförhållandena varit jämförbara och gynnsamma vid samtliga försökstillfällen.

pH-mätning

Effekten på jordens pH-värde efter strukturkalkning varierade mellan de olika platserna. På alla platser utom Kornheddinge fanns pH-höjande effekter. Tydligast var effekterna på Skottlandshus där pH-värdet påverkades kraftigt av strukturkalkningen i försöket med hög mullhalt medan pH-värdet i försöket med låg mullhalt inte påverkades nämnvärt (**Figur 17**).

Jämförs resultaten i den här studien med den studie som gjordes av Ivarsson (1996) pekar resultaten åt samma håll, nämligen att strukturkalken även har en pH-höjande effekt, dock inte på alla platser.

Dragkraftsmätning

Dragkraftsmätningarna visade att det fanns signifikant skillnad mellan okalkat led (A) och led med halv giva (B). Mätningarna visade också signifikant skillnad mellan okalkat led (A) och led med dubbel giva (D), men ingen signifikant skillnad mellan okalkat led (A) och led (C) normal giva.

Detta resultat kan anses intressant då det alltså gick att påvisa skillnader vid en

behandling med halv giva (halva rekommenderade givan) samt vid en dubbel giva (dubbel rekommenderad giva), men inte vid en normal rekommenderad giva. Följdfrågan blir ju då om det är en verklig effekt eller om det bara är en slump att rekommenderad giva inte gav signifikant skillnad. Troligtvis finns en behandlingseffekt även vid normal rekommenderad giva men som inte syntes i denna studie. Ytterligare försök för att få ett säkrare resultat kan vara intressant att genomföra.

Resultaten från denna studie visar alltså i likhet med Berglund (1977) och Simán et al. (1984) att med ökade kalkgivor så reduceras dragkraftsmotståndet. Det som sticker ut i detta försök i jämförelse med tidigare försök är dock att det inte gick att påvisa signifikant skillnad mellan okalkade led och leden med en normal rekommenderad giva.

Penetrationsmätning

Resultatet från penetrometermätningen visar till skillnad från dragkraftsmätningen inga större behandlingseffekter på det vertikala jordmotståndet, endast en tendens till lite högre motstånd i de okalkade leden i 6 - 11 cm djup. För penetrationsmätningens resultatet gjordes dock ingen statistisk variansanalys (ANOVA) på grund av tidsbrist, vilket innebär att det skulle kunna dölja sig signifikanta skillnader mellan leden som inte framgår via diagrammet. Vi anser att diagrammet i **Figur 10** tydligt visar hur det vertikala motståndet ser ut i genomsnitt för de olika behandlingsleden och att det går att dra slutsatser från detta.

Jämförs resultatet från denna studie med Berglund (1977) så skiljer sig resultaten åt eftersom det i deras fall fanns en tydlig minskning i jordmotstånd. Vad som är viktigt att tänka på i jämförelsen mellan försöken är att det i Berglunds fall gjordes på torkad jord i laboratorium och med betydligt högre givor CaO per hektar. För givorna 4 och 16 ton CaO per hektar som är relevant att jämföra med denna studie var det varierande effekter. Vissa av platserna reagerade mycket positivt även på de lägre givorna medan andra platser var oförändrade eller ökade i motstånd och ingen minskning i motstånd syntes vid givor under 40 ton CaO per hektar.

Jämförs resultatet i denna studie med Ivarsson (1996) vars försök hade kalkats med 6,5 ton CaO per hektar finns likheter. I försöket i vår studie fanns en tendens till högre penetrationsmotstånd i de okalkade leden inom intervallet 6 - 11 cm djup vilket det även finns i intervallet 6 - 14 cm djup i Ivarssons fall.

Att jämföra resultatet i denna studie med Valzano et al. (2001) kan vara svårt, eftersom kalciumkarbonat användes och inte struktorkalk. Men vad som kan konstateras av Valzano et al. (2001) är att kalciumkarbonat hade effekt på jordens vertikala motstånd och att olika bearbetningsmetoder av jorden har betydelse för kalkningens effekt.

Allmänt

Det generella resultatet visar att både en låg respektive en hög giva, i detta fall halv respektive dubbel rekommenderad giva av struktorkalk reducerade jordmotståndet i både horisontell och vertikal ledd, men inte lika tydligt vid vad som är normal rekommenderad giva (8 ton struktorkalk per hektar). Det gör det intressant med vidare beräkningar kring kalkningsrekommendationerna och om det kan vara lönsamt eller effektivare att antingen sänka eller öka kalkgivorna för att få ett tydligare och bättre resultat av sin struktorkalkning. Att öka struktorkalkgivorna per hektar kan däremot ur ekonomisk och praktisk aspekt vara ointressant om det inte finns tydliga ekonomiska fördelar eller medför försvårande praktiska omständigheter i form av ökade transporter och utdragna spridningstillfällen.

Kan vidare forskning kring minskade eller ökade kalkgivor visa på fler positiva aspekter, så som ytterligare minskningar av näringsläckage eller bättre struktur, så borde en dialog om hur framtida givor bör se ut vara av intresse.

I detta arbete har inte ekonomiska aspekter så som minskad dieselförbrukning eller minskat slitage på redskap analyserats, vilket kan anses vara en lämplig följd analys till ett arbete kring minskat dragkraftsbehov. Här finns stora möjligheter till vidare försök och studier, då ekonomiska aspekter väger mycket tungt för lantbrukare och som har stor påverkan i en hållbar, ekonomisk produktion och odling. För en sådan undersökning så kan ett försök i större skala, med större arealer vara av intresse för att få ett mer tydligt resultat. Utan vetenskapliga grunder anser vi att det kan finnas tveksamheter i pålitlighet hos resultatet av mätningar i försöksparceller av den storlek som använts i denna studie, där ett drag i denna studie aldrig är längre än 12 meter per parcell och led. Att dra slutsatser avseende hur stor eventuell minskning av bränsleförbrukning och slitage är utifrån resultaten från detta försök är svårt. Försök kring detta bör därför göras i större försöksparceller för att tydligare se de ekonomiska fördelarna med lägre jordmotstånd.

När jordmotståndsförsöken analyserades togs ingen hänsyn till vilken lerhalt jorden innehåller på de olika platserna, vilket borde vara en betydande faktor för

effekten av strukturkalkning och av försökets resultat. Detta eftersom mängden aktivt CaO per procent ler minskar i takt med stigande lerhalt i jorden. Genom att jämföra försöksresultaten efter vilken lerhalt jorden innehåller på respektive försöksplats hade en tydligare bild av strukturkalkens effekt vid olika lerhalter kunnat tas fram. För att kunna göra en sådan jämförelse hade dessutom kunskap om de olika jordarnas innehåll av organiskt material vid mätningstillfället varit intressant att ta hänsyn till eftersom även organiskt material påverkar jordstrukturen.

På de olika försöksplatserna hade det vid mätningstillfällena odlats olika grödor på de fält som utgjorde grunden för undersökningen. Eftersom olika grödors rotsystem har olika stor luckrande förmåga av jorden kan det antas finnas viss skillnad mellan stråsäd, åkerböna och raps, vilka var de tidigare grödorna på de fyra försöksplatserna. Detta kan vara en aspekt att ta hänsyn till vid framtida mätningar.

Strukturkalkning är med rätt förutsättningar och rätt jordart en faktor som kan bidra positivt i framtidens effektiva och hållbara odling. Mycket forskning och studier har gjorts och många fördelar har konstaterats och fler fördelar kommer förmodligen att hittas. Vi kan med detta arbete konstatera att strukturkalkning är intressant ur många aspekter, men att det finns plats för mer forskning som kan belysa dess fördelar. Detta arbete hoppas vi har bidragit till att belysa några av fördelarna med strukturkalkning samt öppnat fler möjligheter och idéer för dess vidare forskning.

6. Slutsatser

Detta examensarbete har genom fältförsök och statistiska analyser av insamlade rådata samt litteraturstudie kring de försök som utförts nått fram till följande slutsatser:

- Ökade mängder strukturkalk per hektar i lerjordens övre matjordslager tenderade att minska dragkraftsbehovet.
- Ökade mängder strukturkalk per hektar i lerjordens övre matjordslager tenderade att minska jordmotståndet i vertikal ledd.
- Strukturkalk hade en pH-höjande effekt på lerjordarna i dessa försök. Hur stor pH-effekten var varierade mellan olika platser.

7. Referenser

Skriftliga

Berglund, G. (1971). *Kalkens inverkan på jordens struktur*. Uppsala: Institutionen för lantbrukets hydroteknik, Lantbrukshögskolan.

Berglund, G. (1977). *Mikroaggregatanalysen som testmetod vid strukturskalkning*. (ISBN 91-7088-673-3) Uppsala: Institutionen för markvetenskap, Avd. för lantbrukets hydroteknik.

Berglund, K., Blomquist, J. (2015). Strukturskalkning – bra för både mark och miljö. Greppa Näringen - Praktiska råd, nr. 23, 2015.

Berglund, K., Etana, A., Simonsson, M., Blomquist, J., Börjesson, G. (u.å.). *Är strukturskalkning lönsam för både lantbrukaren och miljön?* Uppsala: Institutionen för mark och miljö, SLU. (Slutrapport: SLF-projekt nr. H1233136).

Eriksson, J., Dahlin, S., Nilsson, I., Simonsson, M. (2011). *Marklära*. Upplaga 1:1. Lund: Studentlitteratur AB.

Holland, J. E., Bennett, A. E., Newton, A. C., White, P. J., McKenzie, B. M., George, T. S., ... & Hayes, R. C. (2018). *Liming impacts on soils, crops and biodiversity in the UK: A review*. Science of the Total Environment, 610, 316-332.

Ivarsson, R. (1996). *Plöjningsfri odling och strukturskalkning på lerjordar*. Uppsala: Institutionen för Markvetenskap, Avd. för jordbearbetning.

Kvarnmo, P., Andersson, E., Börling, K., Hjelm, E., Jonsson, P., List, U. och Malgeryd, J. (2020). *Rekommendationer för gödsling och kalkning 2020*, Jordbruksinformation 12-2019.

Simán, G., Berglund, K., Eriksson, L. (1984). *Effekt av stora kalkgivor på jordens struktur, växtnäringshushållning och skördens storlek*. Rapport 148. Sveriges

Lantbruksuniversitet. Institutionen för markvetenskap, Avd. för växtnäringslära.
ISSN 0348-3541 ISBN 91-576-2022-9. Uppsala

Valzano, F. P., Murphy, B. W., & Greene, R. S. B. (2001). *The long-term effects of lime (CaCO₃), gypsum (CaSO₄ · 2H₂O), and tillage on the physical and chemical properties of a sodic red-brown earth*. *Sodvil Research*, 39(6), 1307-1331.

Webbsidor och broschyrer

Geranmayeh, P. (2018) *Strukturkalkning med LOVA-stöd*. Nässjö: SLU, Inst. för vatten och miljö.
<https://adm.greppa.nu/download/18.28b36abe16527b8975b203bd/1545381893435/strukturkalkning-lova-stod-sa-har-det-gatt-pia-geranmayeh-fosforseminarium-nassjo-180424.pdf> [2021-04-08]

Länsstyrelsen, (2021). *Lokala vattenvårdsprojekt (LOVA)*.
<https://www.lansstyrelsen.se/uppsala/miljo-och-vatten/stod-for-atgarder-i-vatten/lokala-vattenvardsprojekt-lova.html> [2021-03-29]

Nordkalk (2020). *Fostop struktur stoppar näringsläckaget vid källan*. [Broschyr]. Nordkalk.
https://www.nordkalk.se/document/4/1966/43a866f/be5f_2019_fostop_struktur.pdf [2021-04-21]

8. Bilagor

8.1. Bilaga 1. Kornheddinge Låg Lerhalt D3 & Hög lerhalt D4

I Kornheddinge fanns inga säkra behandlingseffekter på jordens pH-värde.
Figur 11.

Comparisons for pH

Tukey Pairwise Comparisons: BEHANDLING

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

BEHANDLING	N	Mean	Grouping
D	6	8,11000	A
C	6	8,07667	A
B	6	8,04500	A
A	6	7,82333	A

Means that do not share a letter are significantly different.

Figur 11. Tukey's test på pH, Låg lerhalt D3 och Hög lerhalt D4 sammanlagda.

8.2. Bilaga 2 Hulta Hög PA-L & Låg PA-L

På Hulta fanns signifikant skillnad mellan led A och C, samt mellan led A och D på båda försöken. **Figur 12.**

Comparisons for pH

Tukey Pairwise Comparisons: BEHANDLING

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

BEHANDLING	N	Mean	Grouping
D	6	8,10833	A
C	6	7,98833	A B
B	6	7,81500	B C
A	6	7,58667	C

Means that do not share a letter are significantly different.

Figur 12. Tukey's test på pH, Hög PA-L och Låg PA-L sammanlagda.

8.3. Bilaga 3 Stureholm Hög Lerhalt & Låg Lerhalt

På Stureholm fanns signifikant skillnad mellan led A och D samt led B och D.
Figur 13.

Comparisons for pH

Tukey Pairwise Comparisons: BEHANDLING

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

BEHANDLING	N	Mean	Grouping	
D	6	7,45333	A	
C	6	7,00167	A	B
B	6	6,76167		B
A	6	6,74833		B

Means that do not share a letter are significantly different.

Figur 13. Tukey's test på pH, Hög Lerhalt och Låg Lerhalt sammanlagda.

8.4. Bilaga 4 Skottlandshus Hög Mullhalt & Låg Mullhalt

På Skottlandshus fanns ett signifikant samspel mellan försök och behandling. Läggs båda försöken ihop fanns en signifikant skillnad mellan led A och D samt mellan led B och D. **Figur 14.** Skiljs försöken var för sig fanns signifikant skillnad mellan led A och D i försöket med hög mullhalt. **Figur 15.** I försöket med låg mullhalt fanns signifikant skillnad mellan led B och C. **Figur 16.** Utgångs-pH i de två försöken på platsen skiljde mycket åt och visas tydligt i **Figur 17.**

Comparisons for pH

Tukey Pairwise Comparisons: BEHANDLING

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

BEHANDLING	N	Mean	Grouping
D	6	8,15667	A
C	6	8,01833	A B
B	6	7,78333	B
A	6	7,72667	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Figur 14. Tukey's test på pH, Hög Mullhalt och Låg Mullhalt sammanlagda.

Comparisons for pH

Tukey Pairwise Comparisons: BEHANDLING

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

BEHANDLING	N	Mean	Grouping
D	3	8,15000	A
C	3	7,81333	A B
B	3	7,46667	A B
A	3	7,30667	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Figur 15. Tukey's test på pH, Hög Mullhalt.

Comparisons for pH

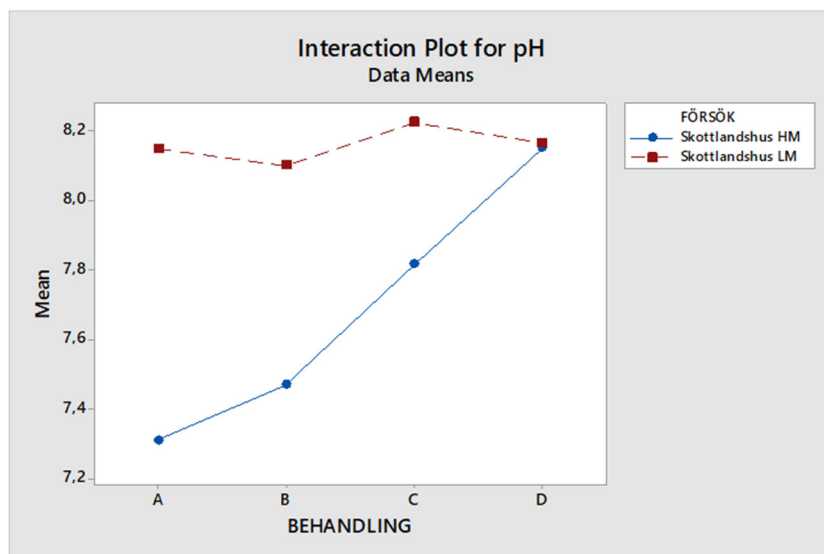
Tukey Pairwise Comparisons: BEHANDLING

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

BEHANDLING	N	Mean	Grouping
C	3	8,22333	A
D	3	8,16333	A B
A	3	8,14667	A B
B	3	8,10000	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Figur 16. Tukey's test på pH, Låg Mullhalt.



Figur 17. Interaction Plot på pH, Hög Mullhalt och Låg Mullhalt.

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Fulltexten kommer dock i samband med att dokumentet laddas upp arkiveras digitalt.

Om ni är fler än en person som skrivit arbetet så gäller krysset för alla författare, ni behöver alltså vara överens. Läs om SLU:s publiceringsavtal här: <https://www.slu.se/site/bibliotek/publicera-och-analysera/registrera-och-publicera/avtal-for-publicering/>.

☒ JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

☐ NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.