

Strukturkalkningens effekt beroende på spridningstidpunkt, inblandningsdjup och kalkgiva

*The effect of structure liming depending on application
time, incorporation depth and liming rates*

Johan Knutsson



Magisteruppsats i markvetenskap
Agronomprogrammet – inriktning mark/växt

Strukturkalkningens effekt beroende på spridningstidpunkt, inblandningsdjup och kalkgiva

The effect of structure liming depending on application time, incorporation depth and liming rates

Johan Knutsson

Handledare: Kerstin Berglund, institutionen för mark och miljö, SLU

Biträdande handledare: Jens Blomquist, institutionen för mark och miljö, SLU

Examinator: Ingmar Messing, institutionen för mark och miljö, SLU

Nivå och fördjupning: Avancerad nivå, A1E

Kurstitel: Självständigt arbete i markvetenskap – magisterarbete

Kurskod: EX0728

Program/utbildning: Agronomprogrammet – inriktning mark/växt 270 hp

Utgivningsort: Uppsala

Utgivningsår: 2018

Omslagsbild: Lova 14, lysimeterprov på väg att grävas upp, 2016, foto författaren

Serietitel: Examensarbeten, Institutionen för mark och miljö, SLU

Delnummer i serien: 2018:13

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: strukturkalk, kalkförsök, markstruktur, fosforläckage, näringsläckage

Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap
Institutionen för mark och miljö

Sammanfattning

Strukturkalkning är något som kan påverka strukturen på lerjordar positivt. Syftet med examensarbetet var att studera effekten på markstrukturen efter spridning av strukturkalk vid olika tidpunkt, inblandning av kalken till olika djup och olika givor av strukturkalk..

I examensarbetet har fältförsök från två olika Lokala vattenvårdsprojekt (LOVA), som är utspridda i Skåne i Sverige studerats. LOVA 15 går ut på att jämföra vilken betydelse olika nedbrukningsdjup och olika spridningstidpunkter har på kalkens struktureffekt.

LOVA 14 går ut på att jämföra olika kalkgivor för att se om det blir någon skillnad på markstrukturen korrelerad till de olika mängderna. Detta kan vara intressant ur t.ex. ett ekonomiskt perspektiv för lantbrukaren. LOVA 14 har också en nollruta för att verkligen kunna se att kalken gör nytta.

Resultaten är varierande, men överlag kan man säga att strukturkalken har den effekten man hoppades på när man lade försöken, alltså att en högre giva strukturkalk i LOVA 14 resulterade i lägre turbiditet och högre elektrisk konduktivitet. I LOVA 15 blev det inget resultat för de olika djupen, men i tidpunktsförsöken var det lägre turbiditet och högre elektrisk konduktivitet i den tidiga behandlingen. Sannolikhetsvärdena för de olika försöken gällande turbiditet, elektrisk konduktivitet, analyser och såbäddsundersökning varierar och är ofta inte signifikanta. Kanske hade mer signifikanta resultat erhållits om försöket gjordes om på större skala.

Abstract

Structural liming is something that will positively affect the hard clay soil in theory. This work should demonstrate that it is also so in practice. The purpose of this work was to study the effect on soil structure after spreading structure lime at different time, different incorporation depths and different rates.

In this examination work there has been two different field trials from Local Water Conservation Project (LOVA), that are spread out in Skåne, Sweden. LOVA 15 attempt is based on comparing what meaning different incorporation depths and different spreading times has on the structure effect of the lime.

LOVA 14 compares different liming rates to see if there is any difference correlated to the different amounts. This may be interesting, for example, from an economical perspective for the farmer. LOVA 14 also has a “zero box” (a box in the trial without liming) to really see that the lime is useful.

The results are varied, but overall, one can say that the structure lime has the effect that was suspected when the trials started, meaning that the higher rate of structure lime in LOVA 14 resulted in lower turbidity and higher electric conductivity. In LOVA 15, there was no result in the trials for different depths, but in the time trials it was lower turbidity and higher electric conductivity for the early treatment. However, the probability values for the various trials for turbidity, electric conductivity, analyses and seedbed survey vary and are often not significant. Perhaps more significant results had been obtained if the experiment was made on a larger scale.

Populärvetenskaplig sammanfattning

Strukturkalkning är idag ett känt begrepp som innebär att man sprider en viss typ av kalk för att få en bättre struktur på jorden och i sin tur minskar utlakning av näringsämne till haven och sjöarna. Kalkning av denna typ har pågått sedan en tid tillbaka, men man är fortfarande inte helt övertygad om vilken den optimala givan strukturkalk är eller när strukturkalken ska spridas och bearbetas för att få bäst effekt. Därför har detta arbete bland annat behandlat de frågorna. Resultatet av två av försöken visade att om kalken spreds i större volymer och tidigt på hösten så fick man en bättre effekt. Ett tredje försök gick ut på att se om det blev någon skillnad på struktureffekten vid djup eller grund inblandning, men där blev det inget resultat. Ett av problemen som infann sig var att resultaten blev ”spretiga” och med varierande sannolikhetsvärden. För att åtgärda ”spretigheten” i resultaten kan det vara vettigt att göra om försöken på en större skala innan man använder sig av resultaten i den praktiska driften.

Förhoppningen är att detta eller ett liknande arbete ska kunna hjälpa till vid en bedömning om mängd strukturkalk som ska spridas på åkermark och i vilken tid kalken ska spridas. Även på vilket djup kalken ska blandas in till ska kunna bestämmas efter framtida arbete med, förhoppningsvis, ett resultat som beskriver den bästa effekten beroende på inblandningsdjup.

Provtagningen började med fältprovtagningar på totalt sett sex olika områden i Skåne sommaren 2016. Därefter togs det ut jordprover från områdena som kördes till Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) Ulltuna för vidare prover och analyser, där regnsimuleringar blev en stor del av analyserna. Provtagningar som genomfördes efter regnsimuleringarna var bland annat; vattenhalt, turbiditet, elektrisk konduktivitet och kemiska analyser. Alla fakta genomgick statistiktester för att se om det fanns signifikanta resultat för redovisningen.

Innehållsförteckning

Förord	8
Inledning	9
Syfte	10
Bakgrund	10
Markstruktur	10
Vad menas med strukturkalk?	10
Strukturkalkens effekt på jorden	11
Aggregatbildning på lerjord vid tillsats av strukturkalk	11
Material och metoder	13
Kalkningsmedel	13
Försöksplatser och försöksled	13
LOVA 15	13
Markdata i LOVA 15 försök	15
LOVA 14	16
Markdata i LOVA 14 försök	17
Fältmätningar	18
Provtagning i fält LOVA 15	18
Såbäddsundersökning för LOVA 15	18
Provtagning i fält LOVA 14	19
Regnsimulering i lab	19
Aggregatprovpreparering av proverna inför aggregatstabilitetstest	19
Preparering av lysimeterproven inför regnsimulering	20
Provsimulering	21
Genomförande av regnsimulering	23
Vattenprovtagning samt jord- och vattenanalyser	24
Statistik	25
Resultat	26
LOVA 15 tidpunktsförsök	26
Såbäddsundersökning tidpunktsförsöken	29
Aggregatfördelning	29
LOVA 15 olika inblandningsdjup	33
Såbäddsundersökning bearbetningsdjupförsöken	35
Aggregatfördelning	35
LOVA 14 olika kalkgivor	40
Lönhult B1	43
Lönhult B4	44
Vadensjö C1	45
Vadensjö C4	46
Diskussion	47
LOVA 15-tidpunktsförsök	47
LOVA 15-bearbetningsdjup	48
LOVA 14-olika kalkgivor	49

Felkällor?	50
Referenslista	52
Bilagor:	54
Bilaga 1 LOVA 15 Råbelöv tidpunktsförsök	54
Bilaga 2 LOVA 15 Råbelöv bearbetningsdjupförsök	56
Bilaga 3 LOVA 15 Krapperup tidpunktsförsök	58
Bilaga 4 LOVA 15 Krapperup bearbetningsdjupförsök	60
Bilaga 5 LOVA 15 Krageholm tidpunktsförsök	62
Bilaga 6 LOVA 15 Krageholm bearbetningsdjupförsök	64
Bilaga 7 LOVA 15 Kornheddinge tidpunktsförsök	66
Bilaga 8 LOVA 15 Kornheddinge bearbetningsdjupförsök	68
Bilaga 9 LOVA 14 Lönhult B1	70
Bilaga 10 LOVA 14 Lönhult B4	74
Bilaga 11 LOVA 14 Vadensjö C1	78
Bilaga 12 LOVA 14 Vadensjö C4	82

Förord

Detta examensarbete presenterar två olika serier med strukturkalkningsförsök, LOVA 14 och LOVA 15 som har genomförts av Hushållningssällskapet och Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU) med finansiering genom länsstyrelsens LOVA-bidrag och till en del av Lantmännens forskningsstiftelse. Provtagning skedde sommaren 2016, tillsammans med Göran Bladh från Hushållningssällskapet och laborationerna på SLU Ultuna skedde hösten 2016 tillsammans med Ana Maria Mingot.

Ett stort tack till alla er på Ultuna som stod ut med mig under laborationerna och även ett stort tack till alla berörda på Hushållningssällskapet som fick ta emot många olika frågor under udda tider. Jag skulle även vilja rikta ett ännu större tack till mina två handledare Jens Blomqvist och Kerstin Berglund som t.o.m. under semestern visade stort engagemang för att hjälpa mig framåt.

Inledning

Efter en sjöinventering gjord 2005 upptäckte man att ca 8 % av Sveriges sjöar var övergödda (även om problemet är mycket äldre än så) (Wilander & Fölster, 2007). Även Östersjön har problem med övergödning. Resultatet av detta är exempelvis algblooming, som kommer från cyanobakterier som trivs i vatten med högt näringsinnehåll. Algbloomingen är ett problem både i stora och små sjöar och när alger försvinner och bakterierna dör, sjunker de till botten där de bryts ner. Under tiden de bryts ner förbrukas syre, vilket gör att sjöbotten får syrebrist och dör (Bergström m.fl., 2008).

Strukturkalkning är en av flera åtgärder som kan användas för att minska utlakning av fosfor och få till en bättre struktur på den odlingsbara marken (Sohlman, 2012). Effekten av strukturkalk är exempelvis en bättre närings- och vattenhållande förmåga, mer lättarbetad jord och en jord som torkar upp snabbare. En jord som har en bra struktur har också lägre fosforförluster jämfört med jordar som har en dålig struktur (Blomquist et al, 2017). Detta beror ofta på att jorden med bra struktur har mindre ytavrinning jämfört med de jordar som har en dålig struktur. Man kan säga att lerpartiklarna klumpar ihop sig till aggregat och blir mycket svårare att transportera. Dessutom blir markytan som ett finmaskigt nät som agerar som ett filter för regnvattnet. En styv lerjord som inte blivit behandlad med strukturkalk kan få stora och djupa sprickor som kan leda ner regnvatten (uppslammat med jord som innehåller stor del fosfor) till grundvattnet eller via dräneringsrör ut till ytvattendrag (Berglund och Blomquist, 2015).

För att minska fosforutlakningen från jordbruksmark i Sverige har man infört olika stöd. Dels kan man få LOVA-bidrag, som är ett stöd för att man strukturkalkar, och dessutom kan man få investeringsstöd inom landsbygdsprogrammet om man strukturkalkar för en kostnad över 100 000 kr (Jordbruksverket, 2018).

Bakgrunden till fältförsöken i den här studien är att många frågor kvarstår att besvara t.ex.: Vilken är den optimala strukturkalkningsgivan på olika typer av jordar (med exempelvis olika lerhalter och olika lermineraler)? Ideal spridningstidpunkt för att få bäst effekt? Vilket bearbetningsdjup ska kalken bearbetas till för att göra störst skillnad? Vilken är den lägsta lerhalten för att strukturkalken ska ha någon effekt alls?

Syfte

Syftet med detta arbete var att undersöka a) om spridningstidpunkten för kalken påverkar struktureffekten, b) om effekten på jordens struktur påverkas av om kalken bearbetas in i jorden grunt eller djupt och c) effekten av olika kalkgivor. De direkta eller indirekta markstrukturegenskaper som presenteras i detta arbete är aggregatstorleksfördelning, turbiditet, elektrisk konduktivitet och analyser.

Bakgrund

Markstruktur

Markstruktur kan definieras som hur markens primärpartiklar är lagrade och förenade med varandra (Wiklander, 1976). Hur strukturen blir, och hur stabil den är beror på markens mineralsammansättning, kornstorleksfördelning och mängden organiskt material som finns. För strukturbildningen på lerjordar är det i hög grad mängden ler som styr. Det är lerets kolloidala egenskaper som gör att det finns aggregat eller sammansatta partiklar. Aggregaten kan vara i många olika storlekar och kan vara både väldigt stabila och väldigt instabila (Hillel, 1980). Om man istället tittar på en sandjord utan ler så har jorden en enkelkornstruktur och det innebär att mineralpartiklarna inte kan bilda aggregat. Andra faktorer som påverkar strukturbildningen är marklösningens saltkoncentration och vilka baskatjoner det är som dominerar (Kindvall, 1999).

Definitionen av en bra struktur på en odlingsjord är att den innehåller porer i olika storlekar. Ca 50 volympcent är fast material och resten är porer. Porerna behövs för att lagra och transportera vatten och luft och underlättar rottillväxten. Porerna som finns i jorden ska vara av olika storlekar och varje storleksfraktion har en särskild egenskap. Exempelvis behövs porer större än 30 µm för att det ska ske en hyfsad dränering i jorden och porer mellan 30 och 0,2 µm ser till att det finns växttillgängligt vatten i marken. Man kan säga att minst 10 procent av jordvolymen ska vara porer som är större än 25 µm för att det ska finnas tillräckligt med markluft för växten (Dexter, 1998).

Vad menas med strukturkalk?

Inom lantbruket används i allmänhet kalkstensmjöl eller kalkkross för att höja pH-värdet i marken. ”Lantbrukskalken” innehåller kolsyrabunden kalk i form av kalciumkarbonat (CaCO_3). För att få god

effekt på markstrukturen krävs det bränd eller släckt kalk. Strukturalken innehåller fri kalk i form av kalciumoxid (CaO) eller kalciumhydroxid (CaOH_2).

Den vanligaste strukturalken på marknaden är blandvaror mellan släckt kalk och kalkstensmjöl, ofta med ca 14-19 procent släckt kalk omräknat till kalciumoxid. Ren bränd eller släckt kalk är starkt reaktiv och är ur arbetsmiljösynpunkt svår att hantera vid spridning och används inte i praktiken (Berglund och Blomquist, 2015).

Strukturalkens effekt på jorden

Vid strukturalkning är det många olika reaktioner som påverkar resultatet. Först och främst mätas lerpartiklarna med kalciumjoner. Därefter ökar basmättnadsgraden och pH-värdet stiger. Det påverkar både markens egenskaper och tillgängligheten på växtnäringsämnen. Bakterierna och daggmaskarna trivs vid ett ökat pH, men marksvamparna trivs bättre i en surare miljö. Magnesium- och kalciumjonerna verkar utflockande på lerpartiklarna, vilket gör att partiklarna klumpar ihop sig till aggregat. Det får leran att bli grymig och mer lättarbetad (Berglund och Blomquist, 2015; Collin, 2010). För att få så bra effekt som möjligt av strukturalken ska kalken spridas på väl bearbetad jord och sen direkt efter blandas in väl. Anledningen till detta är att kalken påverkar bara de ytor som får kalk på sig. Det är också viktigt att tänka på att strukturalken är bättre på att medverka till att bibehålla en god struktur än att reparera en förstörd struktur (Kindvall, 1999).

Det som händer i marken efter en strukturalkning är att aggregaten blir stabilare och starkare vilket leder till att jorden inte krymper och sväller lika mycket (Ulén och Etana, 2014; Berglund och Blomquist, 2015).

Aggregatbildning på lerjord vid tillsats av strukturalk

Det är olika processer, både förbättrande och försämrande, som har skapat den struktur marken har. Yttre faktorer som odling, packning, tjäle, vind, regn, mm. påverkar dessa processer på olika sätt.

En lerpartikel kan beskrivas som en skivformad partikel med negativ elektrisk laddning på ytan, förutom på kanter och hörn där laddningen är positiv. Det innebär att lerpartiklarna främst attraherar positiva metalliska katjoner och gör att det blir en hög koncentration av katjonerna runt lerpartiklarna. Skiktet runt lerpartikeln med högre koncentration av katjoner än anjoner kallas för det diffusa dubbelskiktet. Det innebär att det s.k. diffusa dubbelskiktet är positivt laddat (Dahlin m.fl., 2011).

Tjockleken på det diffusa dubbelskiktet beror på vilka joner det attraherar. Om det t.ex. skulle vara natriumjoner (Na^+) som attraheras så blir skiktet tjockt eftersom natriumjonens laddning är relativt svag samt att den har en relativt stor jonradie. Detta medför att lerpartiklarna ligger parallellt med varandra och gör att de förskjuts istället för att "spricka upp" och att leret lättare dispergerar, vilket minskar lerans aggregerande förmåga. Det kan göra att leran känns smetig då den också innehåller en viss mängd vatten. Vattnet i jorden fungerar nämligen som smörjmedel mellan lerpartiklarna (Berglund, 1971).

Om man istället tillsätter kalciumjoner (Ca^{2+}) så kommer det diffusa dubbelskiktet att bli tunnare eftersom kalciumjonernas laddning är starkare och jonradien är mindre. Det innebär också att kalciumjonerna kommer flytta andra katjoner och ta dess plats genom jonutbytesprocesser. När det diffusa dubbelskiktet blir tunnare blir attraktionen mellan lerpartiklarna starkare, eftersom lerpartiklarna hamnar närmre varandra, vilket får dem att orientera sig mer som kant mot plan eftersom kanterna på lerpartiklarna var positivt laddade och ytan var negativt laddad. När detta händer kommer det befintliga vattnet stängas inne i porer och håligheter och kommer då inte längre att fungera som smörjmedel (Berglund 1971). Leran blir då mindre smetig och verkar torrare, även om den egentligen har samma vattenhalt som den hade innan en tillsats av kalciumjoner. När lerpartiklarna orienterar sig kant mot plan blir också volymen på jorden större. Denna reaktion sker oavsett vilket kalk man tillsätter, så länge som det finns tillgängliga, fria, kalciumjoner. I strukturkalk finns det stor mängd fria kalciumjoner som gör att reaktionen också går betydligt snabbare jämfört med kalkstensmjöl. Dock finns det delade meningar om kalkstensmjöl, CaCO_3 . Berglund, 1971, menar att det normalt sett inte sker någon strukturförbättring med kalkstensmjöl eftersom kalciumjonerna är bundna till kolsyra, som inte är alls lika lättlöslig. Det gör att basutbytet och reaktionen blir betydligt långsammare. Andra (Shanmuganathan & Oades, 1983) menar dock att även kalkstensmjöl har en strukturförbättrande effekt efter många vättnings- och upptorkningscykler.

En viktig egenskap för jorden som utsätts för strukturkalk är alltså basutbytet eller katjonbyteskapaciteten (CEC). Detta gör också att det är de jordar med hög CEC, som jordar med mycket ler och humus, får den bästa effekten av strukturkalk (Berglund, 1971).

Aggregatbildningen förstärks också av andra långsammare reaktioner som murbruksreaktioner och cementreaktioner i marken. Cementreaktionerna gör att den fria kalken binds med aluminium- och kisel-föreningar och murbruksreaktionen får den fria kalken att reagera med koldioxiden från luften och det i sin tur bildar kalciumkarbonat. Produkterna från cementreaktionerna fungerar som bindemedel och

gör att aggregaten blir större och stabilare och kalciumkarbonatet gör att aggregaten blir ännu mer stabila (Berglund, 1971; Berglund och Blomquist, 2015).

Material och metoder

Kalkningsmedel

Kalken som användes i samtliga försök var från Nordkalk Aktiv Struktur.

Produktdatabladet i tabellformat finns nedan (tabell 1).

Tabell 1. Kemiska egenskaper för Nordkalk Aktiv struktur

Kalkvärde	1år/5år	48+-3/48+-3
Aktiv CaO % (släckt kalk)	CaO	<13,6
Kemisk analys %	CaO, 51,0	Mg, 1,0
	SiO ₂ , 5,0	Al ₂ O ₃ , 2,8
	Fe ₂ O ₃ , 1,1	K, 1,5
	Na ₂ O, 0,5	S, 1,5
	P, 0,07	

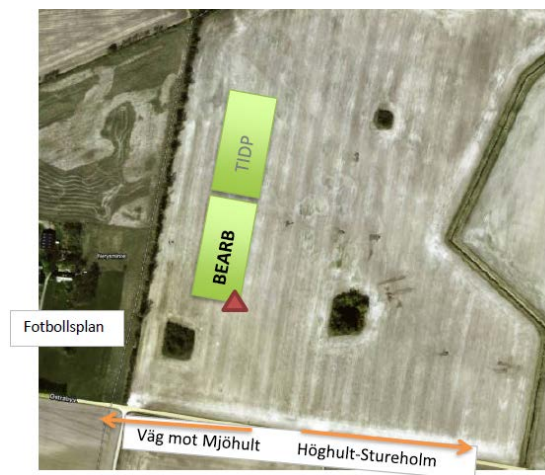
Försöksplatser och försöksled

LOVA 15

I LOVA 15 projektet studerades försök på fyra platser, Kornheddinge, Krageholm, Krapperup och Råbelöv (fig. 1-4). På de olika platserna gjordes det två olika försök, tidpunktsförsök och inblandningsdjupförsök (fig. 5-6). Det var samma mängd strukturskalk, 8 ton/ha, som spreds ut i alla LOVA 15 försök. I tidpunktsförsöken spreds kalken tidigt (20 augusti) och sent (14 september). Kalken i detta försök bearbetades ner 2 gånger till ca 15 cm med samma eller liknande maskiner. Den grunda bearbetningen blandade in kalk 2 gånger ner till mellan 8-10 cm och den djupa blandade ner kalken 2 gånger till 15-20 cm.



Figur 1. Kartbild över Krapperup med de två fältförsöken, tidpunktsförsöket (TIDP) respektive försöket med olika bearbetningsdjup (BEARB).



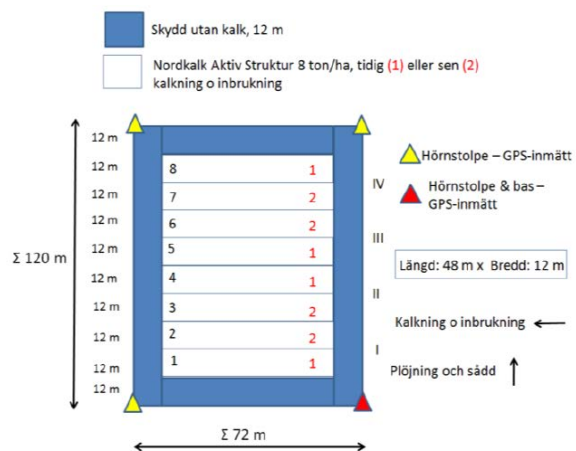
Figur 2. Kartbild över Krageholm med de två fältförsöken, tidpunktsförsöket (TIDP) respektive försöket med olika bearbetningsdjup (BEARB).



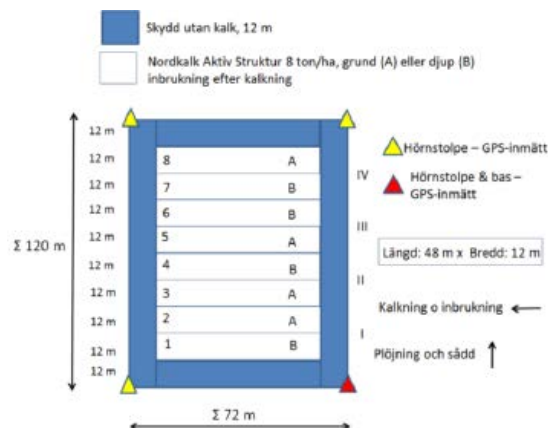
Figur 3. Kartbild över Kornheddinge med de två fältförsöken, tidpunktsförsöket (TIDP) respektive försöket med olika bearbetningsdjup (BEARB).



Figur 4. Kartbild över Råbelöv med de två fältförsöken, tidpunktsförsöket (TIDP) respektive försöket med olika bearbetningsdjup (BEARB).



Figur 5. Exempel på försöksplan i tidpunktsförsöken.



Figur 6. Exempel på försöksplan i bearbetningsdjupförsöken.

Markdata i LOVA 15 försök

I tabell 3 presenteras några markdata för LOVA 15-tidpunktsförsök. Krageholm är området med lägst pH- och Ca-AL-värde men med näst högst lerhalt jämfört med Kornheddinge med högst pH-värde och Ca-AL värde och näst lägst lerhalt.

Tabell 2. Markdata för de provplatser som undersöktes i LOVA 15 tidpunktsförsök

Försöksplats	Lerhalt (%)	pH (H ₂ O)	Ca-AL (mg/100 g jord)	P-AL (mg/100 g jord)
Råbelöv	40,5	6,6	361	2,0
Krapperup	21,3	7,4	331	6,6
Krageholm	33,6	6,3	266	6,9
Kornheddinge	24,3	7,8	420	7,1

I tabell 3 presenteras några markdata för LOVA 15 bearbetningsdjupförsök. Precis som tidigare är Krageholm det område med lägst pH- och lägst Ca-AL-värde men med näst högst lerhalt jämfört med Kornheddinge som har högst pH- och Ca-AL-värde och näst lägst lerhalt.

Tabell 3. Markdata för de provplatser som undersöktes i LOVA 15 bearbetningsförsök

Försöksplats	Lerhalt (%)	pH (H ₂ O)	Ca-AL (mg/100 g jord)	P-AL (mg/100 g jord)
Råbelöv	42,1	6,8	403	2,2
Krapperup	23,8	7,3	295	5,5
Krageholm	33,3	6,4	273	5,5
Kornheddinge	24,1	8,1	859	10,0

LOVA 14

I LOVA 14 projektet studerades försök på två platser, Lönhult och Vadensjö med 4 försök per försöksplats (Fig. 7 och 8). Försöken inom varje plats lades ut på områden med olika lerhalt. De försök som provtogs var de med lägst och högst lerhalt. B1 och C1 hade lägst lerhalt och B4 och C4 hade högst lerhalt (Fig. 7 och 8). Kalken, Nordkalk aktiv struktur spreds den 28 augusti 2014 både vid Vadensjö och vid Lönhult. I figur 9 visas ett exempel på en försöksplan i LOVA 14. I försöken ingick 4 försöksled med stigande giva kalk där led C (8ton/ha) representerar en normal giva, led B halv giva och led D dubbel giva.



Figur 7. Kartbild över Lönnhult med de fyra försöken B1-B4. I denna studie provtogs B1 och B4.



Figur 8. Kartbild över Vadensjö med de fyra försöken C1-C4. I denna studie provtogs C1 och C4.

	I		II		III	
	X	D	X	D	X	C
		X		X		X
		A		C		D
		X		X		X
		C		A		B
		X		X		X
	X	B	X	B	X	A
Rutnr:	1		5		9	

Försöksled kalkgiva (Nordkalk Aktiv Struktur)

A	0 ton/ha
B	4 ton/ha
C	8 ton/ha
D	16 ton/ha

Figur 9. Exempel på en försöksplan i LOVA 14. 4 försöksled (A-D) och 3 block (I-III).

Markdata i LOVA 14 försök

I tabell 2 presenteras några markdata för LOVA 14-försök. Skillnader i lerhalt var något större på Lönnhult (20 % resp. 47 %) jämfört med Vadensjö (21 % resp. 26 %). Både pH och Ca-AL var lägre på platserna med låg lerhalt (B1 och C1) jämfört med de med hög lerhalt (B4 och C4).

Tabell 4. Markdata för de provplatser som undersöktes i LOVA 14

Försöksplats	Lerhalt (%)	pH (H ₂ O)	Ca-AL (mg/100 g jord)	P-AL (mg/100 g jord)
Lönhult B1	20,5	7,7	404	12,9
Lönhult B4	46,8	8,2	1054	12,7
Vadensjö C1	20,9	7,2	310	13,0
Vadensjö C4	26,4	8,2	1143	8,9

Fältmätningar

Provtagning i fält LOVA 15

Provtagning i LOVA 15-försöken bestod av att ta ut aggregat storleken 2-5 mm från såbädden för både tidpunkts- och bearbetningsdjupförsöken. Det gjordes samtidigt som såbäddundersökningen, men med skillnaden att fraktionen 2-5 mm sparades i en separat påse som sen förvarades öppen på ett varmt och torrt ställe. Totalt blev det 64 påsar med aggregatprover (8 försök x 8 rutor).

Såbäddsundersökning för LOVA 15

En såbäddsundersökning per försöksruta gjordes i augusti 2017 på alla områdena genom att först slumpmässigt lägga ut en metallram på ca 80x80 cm och 10 cm djup i försöksrutan och därefter försiktigt skrapa och sopa upp innehållet i metallramen och sedan lägga det på sällan. Det användes både höstbrukssåll och vårbrukssåll. Höstbrukssållen fick fram fem fraktioner, < 8 mm, 8-16 mm, 16-32 mm, 32-64 mm och > 64 mm. Ur vårbrukssållen blev det tre fraktioner, < 2 mm, 2-5 mm och > 5 mm. Sällan skakades och innehållet i de olika fraktionerna skrevs ner (Kritz, 1983).



Figur 10. Metallram, mätskopa, sållfraktioner och hinkar som användes i fältmätningarna.

Provtagning i fält LOVA 14

Provtagningen i LOVA 14-försöken bestod av lysimetrar (rör med diameter 20 cm och höjden 15 cm) som trycktes ner i marken till 15 cm djup för att sen ta upp hela jordprofilen (omslagsbild) ostörd i lysimetern och sen förslöts den i båda ändar med antingen plastlock eller silvertejp för att den inte skulle torka ut. Proverna förvarades sen kallt i en källare fram till transporten till Uppsala. Försöken B1 och B4 vid Lönhult och C1 och C4 vid Vadensjö provtogs slumpmässigt med en lysimeter per försöksruta, totalt 48 lysimetrar (4 försök x 12 rutor). Vid Vadensjö hade en djupluckring utförts strax efter skörd och vid Lönhult var fältet bearbetat med en Carrier två gånger. Lysimetrarna trycktes ner mellan luckringsspåren vid Vadensjö och vid Lönhult spelade det ingen roll var lysimetrarna trycktes ner.

Regnsimulering i lab

Både aggregatproverna och lysimetrarna kördes i en regnsimulator på SLU Ultuna. Innan den riktiga simuleringen gjordes en provsimulering och efter simuleringarna var färdiga togs prover och analyser på utlakningsvattnet.

Aggregatprovpreparering av proverna inför aggregatstabilitetstest

Ca 250 gram från aggregatproverna (2-5 mm) hälldes ut på en bricka för att sen bli blåst av en hårfön för att få bort agn, boss och annat organiskt material som ev. kunde störa testerna. När jordprovet var

rent från det organiska materialet mättes 200 g upp i en lysimeterliknande behållare på ca 10 cm i diameter och 10 cm hög med nät i botten. Jordens lager i behållaren blev ca 3 cm tjockt. Under behållaren ställdes en behållare på ca 1 l för att samla upp vattnet som "regnat" genom jordprovet. Eftersom den övre behållaren klämdes runt innerkanterna på den undre behållaren och det därmed fanns en risk att luften som tvunget ska tryckas ut när vattnet rinner ner i den undre behållaren får förhinder, så monterades clips på kanten. Det gjorde att det bildades en glipa mellan de olika behållarna, och där mellan försvann luften ut.

En annan säkerhetsåtgärd som gjordes var att montera ett inträngningsskydd runt de båda behållarna (fig. 11), för att undvika att "regnet" regnade ner direkt i den undre behållaren, utan att först tränga genom jordprovet.



Figur 11. 32 aggregatprov i regnsimulatoren.

Preparering av lysimeterproven inför regnsimulering

Lysimetrarna, som låg med botten uppåt under lagringen, fick en ny botten där ett nät skulle förhindra att de små jordpartiklarna åkte ut. Sen ställdes lysimetern med botten neråt i en markavloppsrörsmuff med räfflad innerbotten och under den en lutande innerbotten. Mellan muffen och lysimetern tejpades det med silvertejp som skydd för att vatten inte skulle rinna förbi jorden och rakt ner i behållaren. Den lutande innerbotten ledde vattnet till en plastslang som sedan gick ner till en behållare på ca 2 l under regnsimulatoren. Strax ovanför behållaren i botten, satt också en uppochnervänd tratt för att förhindra att vattnet som rann längs slangen skulle rinna ner i behållaren.



Figur 12. 12 Lysimetrar i regnsimulatorn.

Provsimulering

För att veta att regnsimulatorn gav rätt mängd vatten över ytan som proven skulle stå på gjordes först en provsimulering. Den gjordes genom att simulatorn kördes 10 minuter med 12 tallriksliknande formar för att se om de efter en simulering innehöll samma mängd vatten. Formarna vägdes innan och efter simuleringen för att få fram resultatet. Det blev tyvärr en skillnad på mängden vatten i formarna. Den formen med minst vatten fick ett innehåll på ca 9,5 ml och formen med mest fick ett innehåll på ca 12,0 ml. Ingen kalibrering gjordes, då simulatorn är av en äldre modell och näst intill omöjlig att kalibrera. Istället blev detta en mindre felkälla som nämns vidare i arbetet.

12	11	10	9
8	7	6	5
4	3	2	1

Figur 13. Uppställning av provtallrikarna.
Simulatorn gick från höger till vänster över tre formar samtidigt.

Tabell 5. Mängd vatten i de olika formarna efter 5 och 16 minuters provismulering

Tallrik nr	Vatten efter 5 min (g)	Tallrik nr	Vatten efter 5 min (g)	Tallrik nr	Vatten efter 16 min (g)	Tallrik nr	Vatten efter 16 min (g)
1	95	7	110	1	119,7	7	142,7
2	106,6	8	117,7	2	132,6	8	134,9
3	107,1	9	115,9	3	132,5	9	118,6
4	106,2	10	110	4	126,7	10	146,3
5	118,8	11	120	5	128	11	131,7
6	115,9	12	106,9	6	149,9	12	117,7



Figur 14. 12 provformar (tallrikar) i regnsimulatorn.

Genomförande av regnsimulering

”Vattnet” som användes både till kontrollen och till den riktiga simuleringen var konstgjort regnvatten. Vattnet gjordes genom att blanda 5 ml regnkonscentrat med 10 l avjoniserat vatten. Till en simulering av aggregatproven gick det åt ca 200 l regnvatten på två timmar med en intensitet på 40 mm/timme. Till lysimeterproven gick det åt ca 250 l på tre timmar med en intensitet på 11 mm/timme. Regnsimulatoren var ca 160x70x70 cm (längd x bredd x höjd) och regnvattnet föll ca 50 cm innan det träffade proverna.

För att minska felkällan med ojämn fördelning av ”regnet” flyttades aggregatproven runt var 30:e minut efter ett mönster (tabell 6-9). Detta kunde inte göras med lysimeterproven då det blev för komplicerat eftersom alla lysimetrar hade en slang som ställde till problem vid förflyttning.

Aggregatproven kördes i omgångar med 32 prov/omgång och med två ”tvåtimmarsregn” med 24 timmars mellanrum. Lysimeterproven kördes med 12 prov/omgång och med två ”tretimmarsregn” med 24 timmars mellanrum. Anledningen till de båda regnen var att se om det blev någon skillnad i analyserna med antingen helt torra prov eller helt genomfuktade prov.

Tabell 6. Ordning på aggregatproven mellan 0 och 30 minuter

1	2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31	32

Tabell 7. Ordning på aggregatproven mellan 30 och 60 minuter

9	10	11	12	13	14	15	16
1	2	3	4	5	6	7	8
25	26	27	28	29	30	31	32
17	18	19	20	21	22	23	24

Tabell 8. Ordning på aggregatproven mellan 60 och 90 minuter

25	26	27	28	29	30	31	32
17	18	19	20	21	22	23	24
9	10	11	12	13	14	15	16
1	2	3	4	5	6	7	8

Tabell 9. Ordning på aggregatproven mellan 90 och 120 minuter

17	18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31	32
1	2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15	16

Vattenprovtagning samt jord- och vattenanalyser

Utlakningsvattnet som samlades upp i samband med regnsimuleringen vägdes för att veta hur mycket som hade runnit genom proven. Därefter överfördes 250 ml representativt prov från varje behållare till nya flaskor. De nya flaskorna ställdes i en flaskskak för att se till att mindre jordpartiklar löstes upp under ca 10 minuter. Därefter överfördes 30 ml från flaskan till en liten glasbehållare som sen kördes i en turbiditetsmätare som mäter vattnets grumlighet. Samtliga prover testades och därefter fick de stå i 4,5 timmar innan ännu en turbiditetsmätning gjordes. Denna gång utan att skaka provet för att mäta mängden lerpartiklar i vätskan (partiklar större än ler har sedimenterat under vilotiden). Efter turbiditetsmätningarna mättes den elektriska konduktiviteten i samtliga vattenprov. Flaskorna med proven ställdes under mätaren och en liten sensor stoppades ner i dem.

På lysimetrarna gjordes även en undersökning av hur mycket vatten som fanns kvar i lysimetrarna efter regnsimuleringen. Alla lysimetrar vägdes både före och efter regnsimuleringen. Efter simuleringen togs även 100 g jord representativt ur alla lysimetrar till vattenhaltsbedömning. Proven vägdes och fick sedan torka i en ugn i 105 grader under 24 timmar och vägdes sedan igen för att på så sätt få fram vattenhalten. På dräneringsvattnet från lysimetrarna mättes, förutom turbiditet och elektrisk konduktivitet, även fosfor- och kväveinnehåll och pH-värde.

Vattnet från lysimetrarnas första regn fick genomgå tester för turbiditet, elektrisk konduktivitet och pH, medan vattnet från lysimetrarnas andra regn testades för turbiditet, elektrisk konduktivitet, fosfor och kväve. pH-mätningen gjordes genom att stoppa ner en sensor i vattnet, likt den elektriska konduktivitetsmätningen, dock gjordes pH mätningen 2 gånger på samma prov med 24 timmars mellanrum eftersom kalken kan göra att det blir en buffertverkan. De kemiska analyserna av vattnet gjordes vid Institutionen för vatten och miljö. Vid analysen bestämdes totalfosfor, fosfatfosfor, partikulärfosfor och totalkväve.

Jorden från lysimetrarnas övre del testades för elektrisk konduktivitet och pH. Jorden från den övre delen blandades runt för att få ett representativt prov. Därefter togs ca 40 gram jord och lades i en plåtburk som sen ställdes i en ugn i 40 grader i 24-48 timmar, eller tills den var torr. Efter att jorden blivit torr hölls den ner i en kvarn som malde sönder jorden till mindre partiklar. Därefter sållades den så att bara partiklarna mindre än 2 mm blev kvar. Dessa partiklar mättes upp i en skopa, ca 9 ml, och hölls ner i en behållare avsedd för pH-mätning och mätning för elektrisk konduktivitet. I samma behållare hölls sedan på ca 35 ml avjoniserat vatten.

När behållarna var fyllda med både vatten och jord ställdes de i en flaskskak i 30 minuter. När det var klart ställdes behållarna på bänken där sedan provtagningen skulle ske. Innan provtagningen skulle behållarna vila två timmar först. Efter mätningarna av elektrisk konduktivitet och pH (pH 1) var gjorda stod sedan behållarna på samma ställe tills nästa mätning efter 24 timmar, denna gång var det bara pH (pH 2) som skulle mätas, eftersom kalkrik jord kan ha en buffrande förmåga.

Statistik

Den statistiska analysen gjordes av Jens Blomqvist från Agraria ord & jord.

Skillnaderna mellan behandlingarna analyserades genom variansanalys (G2M, Minitab), behandling användes som fix faktor och block som slumpmässig faktor. Parvisa jämförelser gjordes med 95 % konfidensintervall.

Sannolikhetsvärde (p-värde) under 0,05= resultat som inte beror på slumpen (signifikant)

p-värde över 0,05= resultat som kan bero på slumpen.

p-värde mellan 0,05 och 0,1 innebär att man kan se en tendens till signifikans.

Områden (tex Lönhult) skrivna i versaler innebär att skillnaden är signifikant. Områden markerade med (tendens) innebär att det finns en tendens till signifikans.

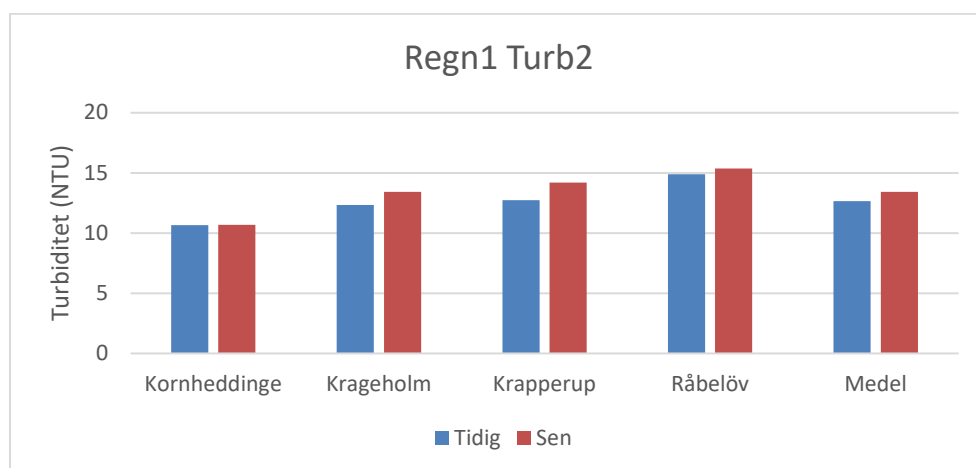
Resultat

Redovisningen av aggregatfördelning av LOVA 15-försök är uppdelad i två figurer per försök eftersom sällningarna gjordes med två olika såll, höstbrukssåll och vårbrukssåll. Allt material från det sista höstbrukssåll går till vårbrukssåll. Det innebär att summan av alla fraktioner på vårbrukssåll ska vara samma som den minsta fraktionen på höstbrukssåll. Men det stämmer oftast inte. Det beror med stor sannolikhet på att fraktionerna var för sig får en större volym eftersom de små partiklarna inte kan lägga sig mellan de större partiklarna.

Från regnsimuleringen redovisas turbiditeten efter att det uppsamlade materialet i vattnet fått sedimentera i 4,5 timmar så att endast lerpartiklarna bidrar till grumligheten (Turb 2). För resultatet av den första turbiditetsmätningen (Turb 1) hänvisas till bilagorna 1-12.

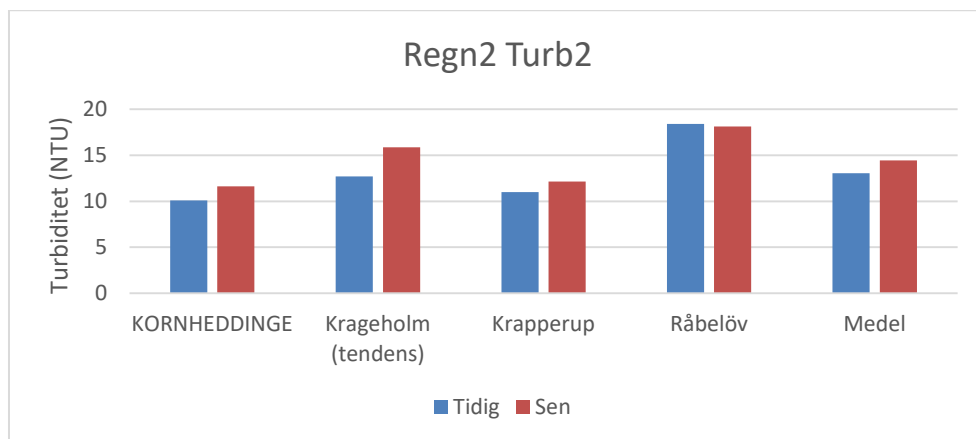
LOVA 15 tidpunktsförsök

Aggregatstabilitetstestet med den första regnsimuleringen av aggregat 2-5 mm från tidpunktsförsöken i LOVA 15 (fig. 15) visade inga signifikanta skillnader mellan tidig och sen spridning av kalk. Om man endast tolkar diagrammet finns det en liten skillnad på medelvärdet, som visar att det är en lite högre turbiditet på sen bearbetning jämfört med en tidig vilket indikerar en fördel med en tidig spridning av kalk.



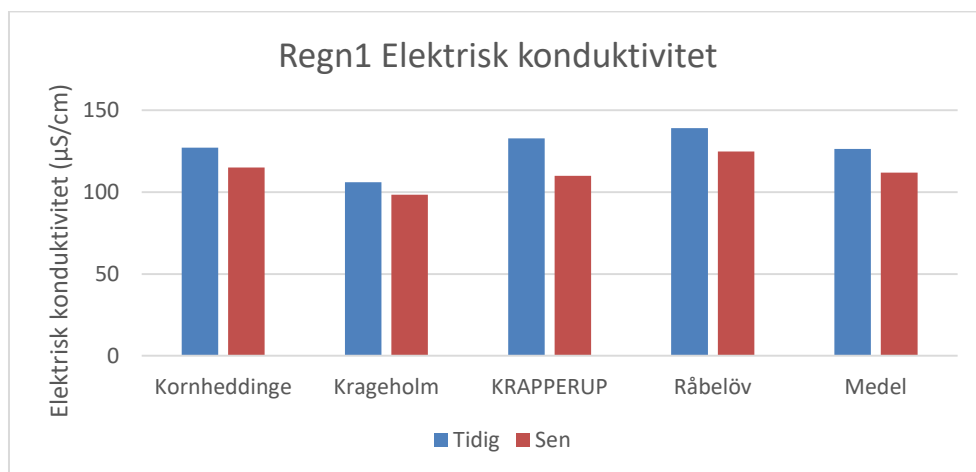
Figur 15. LOVA 15, tidpunktsförsöken (tidig och sen inblandning). Resultat av turbiditetsmätningarna i utlakningsvattnet från den första regnsimuleringen (Regn 1) av aggregat (2-5 mm). Turbiditeten (Turb 2) är en uppskattning av mängden ler i vattnet.

Vid den andra regnsimuleringen när aggregaten redan är blöta, (fig. 16) visar på skillnaden mellan försöksledens resultat. Vid Kornheddinge var det signifikant högre turbiditet vid en sen bearbetning och Krageholm visade på en tendens till samma resultat.



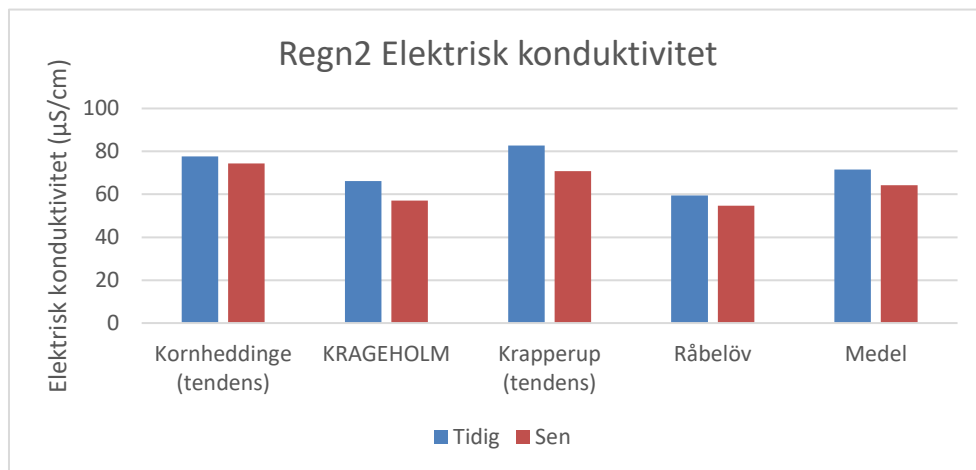
Figur 16. LOVA 15, tidpunktsförsöken (tidig och sen inblandning). Resultat av turbiditetsmätningarna i utlakningsvattnet från den andra regnsimuleringen (Regn 2) av aggregat (2-5 mm). Turbiditeten (Turb 2) är en uppskattning av mängden ler i vattnet.

Den elektriska konduktiviteten i utlakningsvattnet efter den första regnsimuleringen av aggregat från LOVA 15 tidpunktsförsök (fig. 17) visade signifikant resultat vid Krapperup. I detta fall är det en högre elektrisk konduktivitet vid tidig spridning av kalk.



Figur 17. LOVA 15, tidpunktsförsöken (tidig och sen inblandning). Resultat av mätning av den elektriska konduktiviteten i utlakningsvattnet från den första regnsimuleringen (Regn 1) av aggregat (2-5 mm). Den elektriska konduktiviteten är en mätning av elektrisk ledningsförmåga i vätskan.

Den andra regnsimuleringen av aggregaten (fig. 18) visade på skillnader vid fler platser. Vid Krageholm var den elektriska konduktiviteten signifikant högre vid en tidig bearbetning och Kornheddinge och Krapperup visade tendens till signifikans för samma sak.



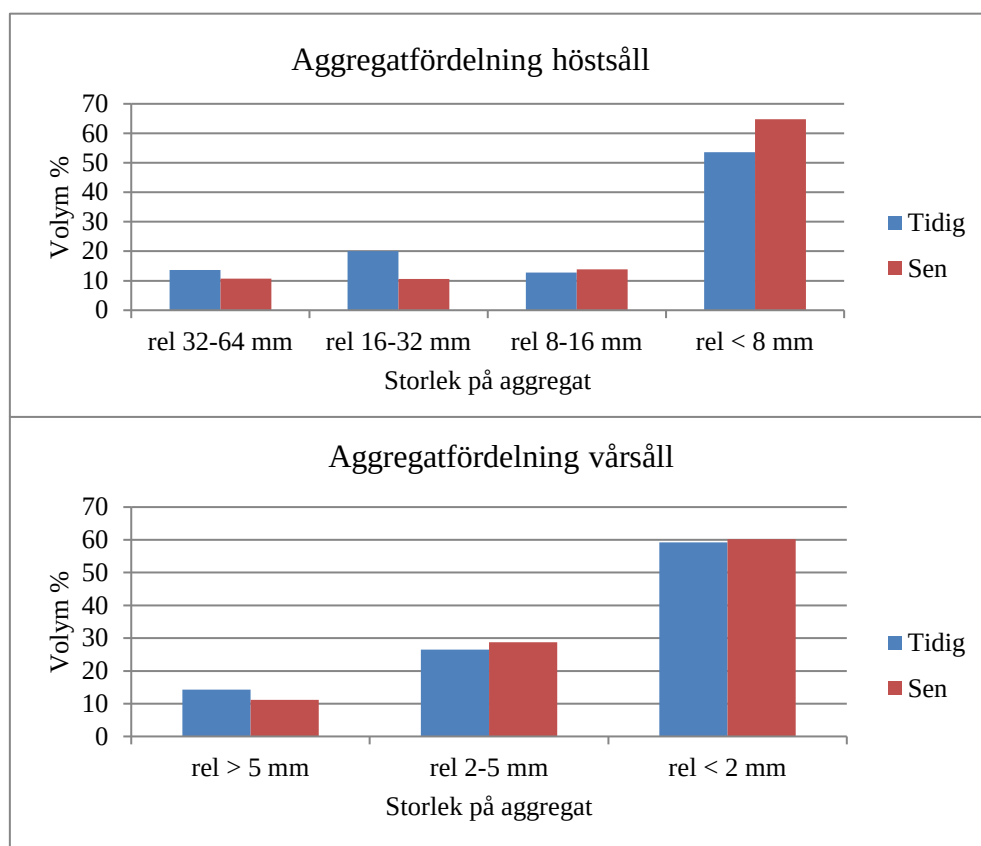
Figur 18. LOVA 15, tidpunktsförsöken (tidig och sen inbladning). Resultat av mätning av den elektriska konduktiviteten i utlakningsvattnet från den andra regnsimuleringen (Regn 2) av aggregat (2-5 mm). Den elektriska konduktiviteten är en mätning av elektrisk ledningsförmåga i vätskan.

Såbäddsundersökning tidpunktsförsöken

Aggregatfördelning

Råbelöv

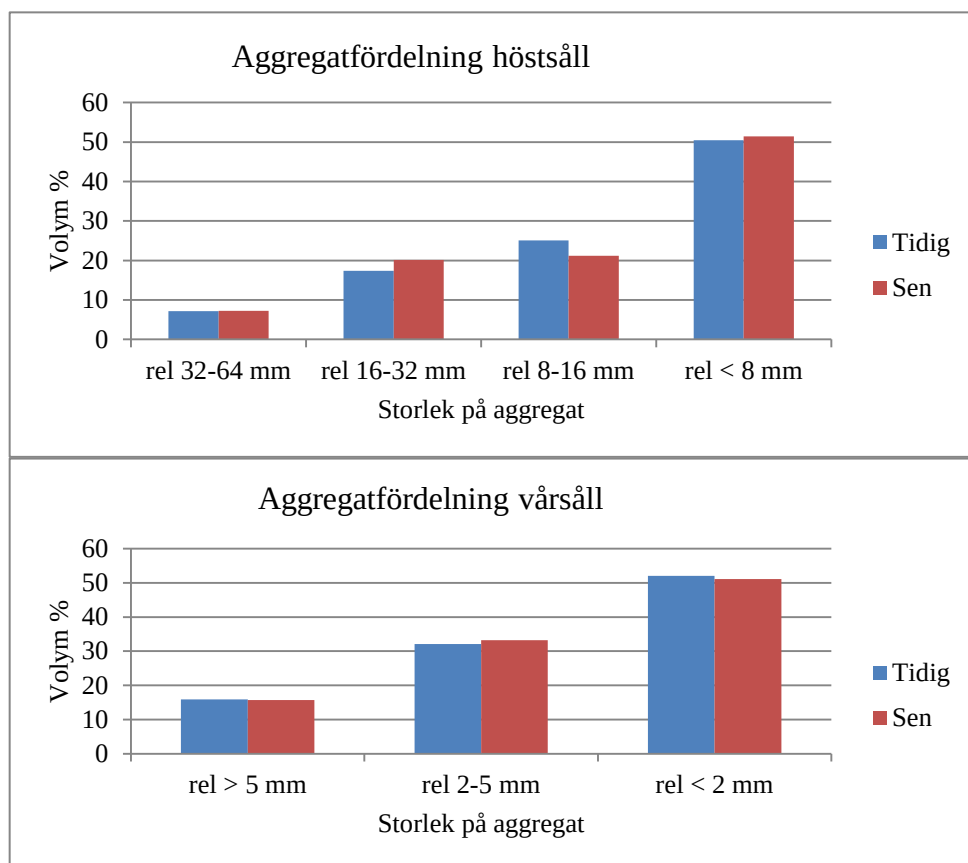
Såbäddsundersökningen i Råbelövs tidpunktsförsök (fig. 19) visade inga signifikanta skillnader mellan tidig och sen spridning av kalken. Men om man snabbt tolkar staplarna så ser det ut som att det finns fler små aggregat vid en sen bearbetning jämfört med en tidig.



Figur 19. LOVA 15, tidpunktsförsöken (tidig och sen inblandning). Såbäddsundersökning i Råbelöv. Aggregatens fördelning på olika storleksklasser efter jordens sållning genom höstbrukssåll och vårbrukssåll. Sannolikhetsvärdena för de olika aggregaten var följande: 32-64 mm $p=0,691$, 16-32 mm $p=0,180$, 8-16 mm $p=0,372$, <8 mm $p=0,120$, >5 mm $p=0,130$, 2-5 mm $p=0,271$, <2 mm $p=0,753$. Rel visar att det är omgjort till relativtal.

Krapperrup

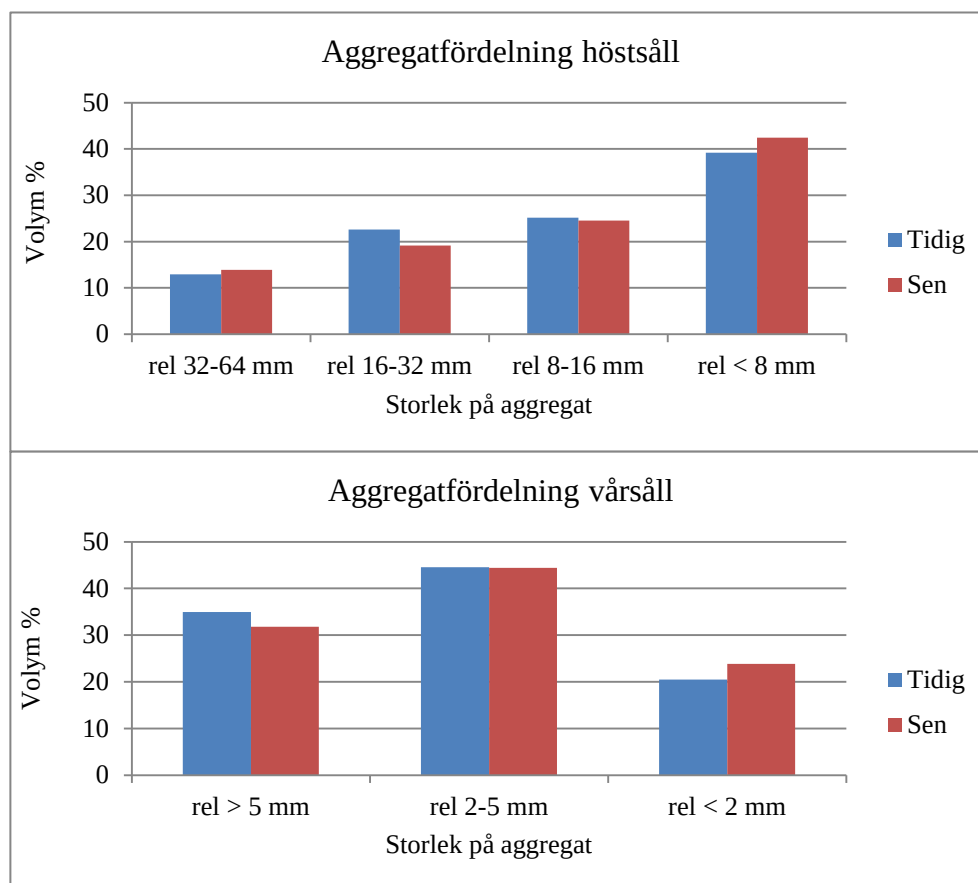
Resultatet av såbäddsundersökningen vid Krapperrup (fig. 20) visade en tendens till signifikant fler aggregat 8-16 mm ($p=0,0095$) vid en tidig bearbetning jämfört med en sen.



Figur 20. LOVA 15, tidpunktsförsöken (tidig och sen inblandning). Såbäddsundersökning i Krapperrup. Aggregatens fördelning på olika storleksklasser efter jordens sållning genom höstbrukssåll och vårbbrukssåll. Sannolikhetsvärdena för de olika aggregaten var följande: 32-64 mm $p=0,960$, 16-32 mm $p=0,272$, 8-16 mm $p=0,095$, <8 mm $p=0,764$, >5 mm $p=0,957$, 2-5 mm $p=0,599$, <2 mm $p=0,806$. Rel visar att det är omgjort till relativt.

Krageholm

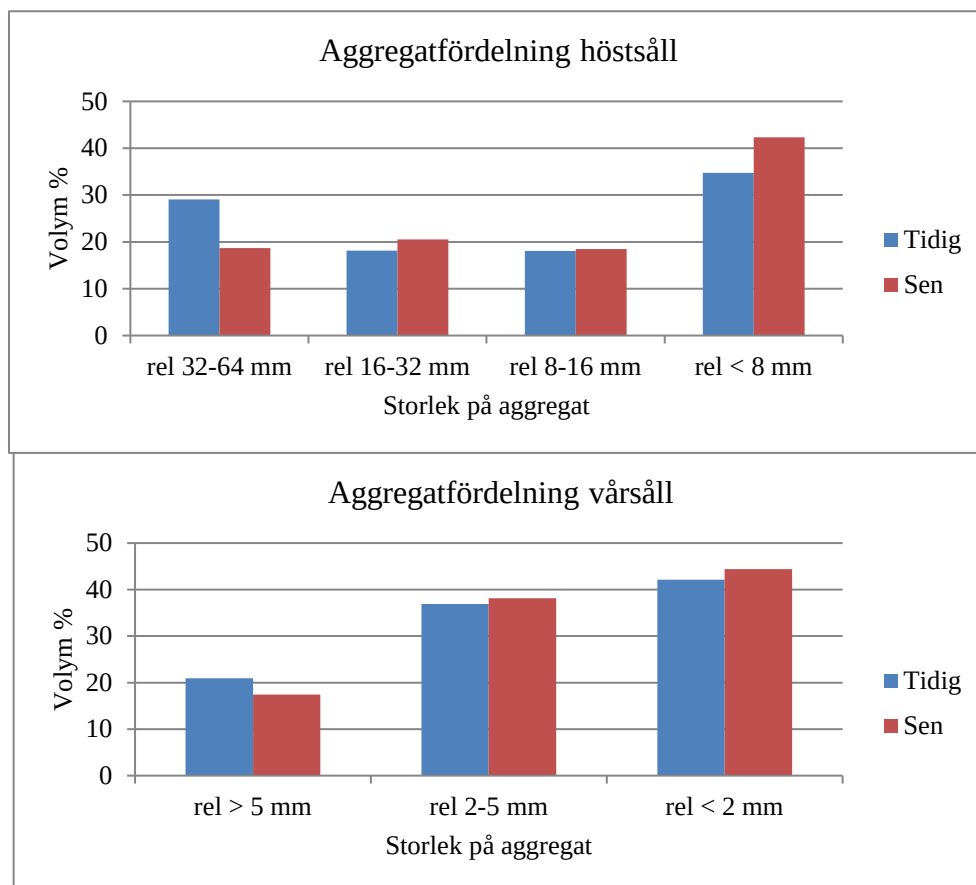
Krageholm (fig. 21) visade i aggregatfördelningen efter sållning en tendens till större andel aggregat > 5 mm ($p=0,098$) vid en tidig spridning av kalken jämfört med en sen.



Figur 21. LOVA 15, tidpunktsförsöken (tidig och sen inblandning). Såbäddsundersökning i Krageholm. Aggregatens fördelning på olika storleksklasser efter jordens sållning genom höstbrukssåll och vårbbrukssåll. Sannolikhetsvärdena för de olika aggregaten var följande: 32-64 mm $p=0,881$, 16-32 mm $p=0,226$, 8-16 mm $p=0,844$, <8 mm $p=0,384$, >5 mm $p=0,098$, 2-5 mm $p=0,940$, <2 mm $p=0,383$. Rel visar att det är omgjort till relativt.

Kornheddinge

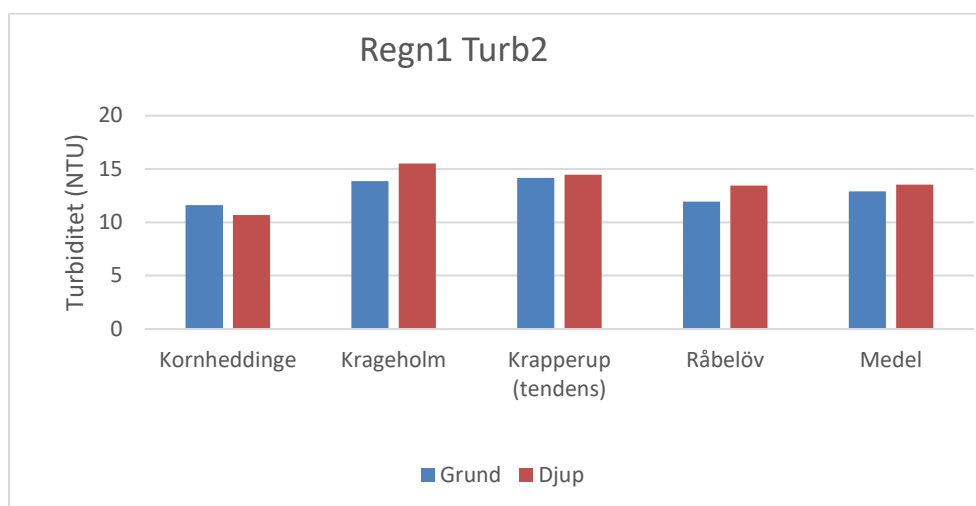
Såbäddsundersökningen vid Kornheddinge (fig. 22) visade på signifikanta effekter i två storleksfraktioner <8 mm ($p=0,035$) och >5 mm ($p=0,001$). Den större fraktionen visar att det finns fler små aggregat vid en sen bearbetning och den mindre fraktionen visar att det finns fler små aggregat vid en tidig bearbetning. Detta resultat är svårt att tolka eftersom resultaten säger emot varandra.



Figur 22. LOVA 15, tidpunktsförsöken (tidig och sen inblandning). Såbäddsundersökning i Kornheddinge. Aggregatens fördelning på olika storleksklasser efter jordens sållning genom höstbrukssåll och vårbrukssåll. Sannolikhetsvärdena för de olika aggregaten var följande: 32-64 mm $P=0,121$. 16-32 mm $P=0,220$. 8-16 mm $P=0,845$. <8 mm $P=0,035$. >5 mm $P=0,001$. 2-5 mm $P=0,694$. <2 mm $P=0,499$. Rel visar att det är omgjort till relativtal.

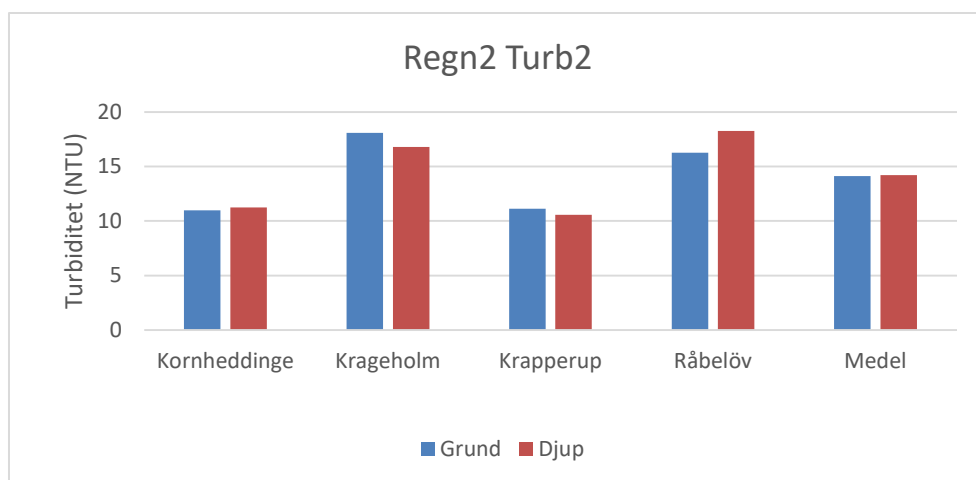
LOVA 15 olika inblandningsdjup

Aggregatstabilitetstestet med regnsimulering av aggregat 2-5 mm (fig. 23) gav inte några signifikanta resultat. Vid Krapperup fanns det dock en tendens till signifikant högre turbiditet vid djup inblandning av kalken. Om man tolkar diagrammet utan att se till signifikansen så skulle man kunna säga att en djup bearbetning gav högre medelvärde på turbiditeten i fyra av fem fall, alltså grumligare ”dräneringsvatten”, vilket innebär instabilare aggregat.



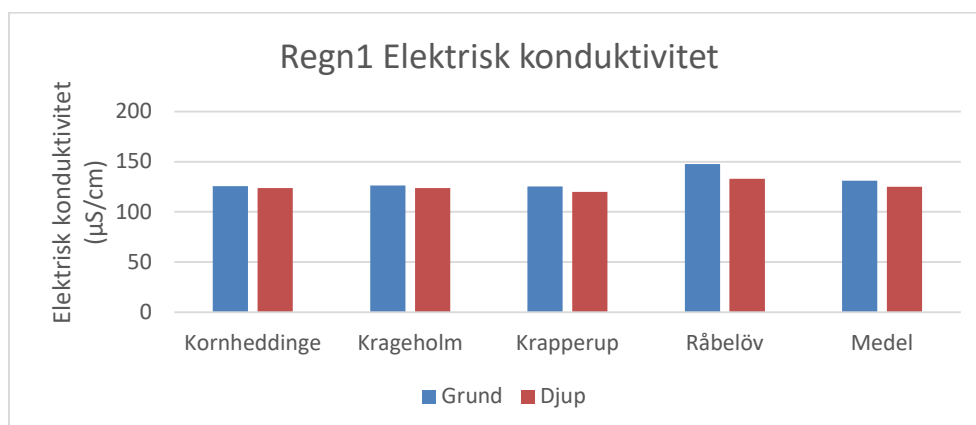
Figur 23. LOVA 15, bearbetningsdjupförsöken (grund och djup inblandning). Resultat av turbiditetsmätningarna i utlakningsvattnet från den första regnsimuleringen (Regn 1) av aggregat (2-5 mm). Turbiditeten (Turb 2) är en indikator på mängden ler i vattnet.

Inte heller den andra regnsimuleringen av aggregaten (fig. 24) gav några signifikanta skillnader mellan bearbetningsleden, och ingen tendens till signifikans heller. Dessutom ser man på medelvärdet att det är väldigt jämnt mellan grund och djup bearbetning.



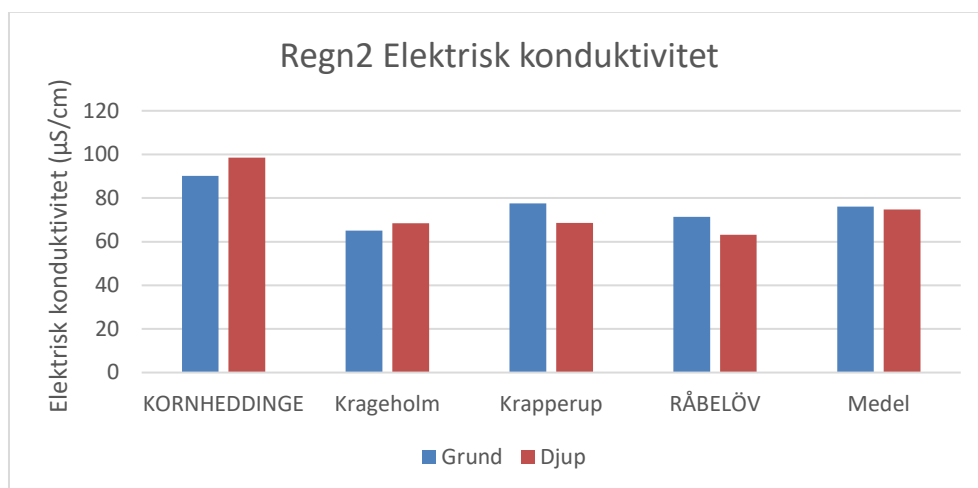
Figur 24. LOVA 15, bearbetningsdjupförsöken (grund och djup inblandning). Resultat av turbiditetsmätningarna i utlakningsvattnet från den andra regnsimuleringen (Regn 2) av aggregat (2-5 mm). Turbiditeten (Turb 2) är en indikator på mängden ler i vattnet.

Den elektriska konduktiviteten i vattnet efter regn 1 (fig. 25) visade inte några signifikanta skillnader mellan leden. Om man enbart tittar på diagrammet så skulle man kunna säga att en djup bearbetning gav lägre medelvärden på konduktiviteten i vattenprovet i samtliga fem fall. Det innebär i sin tur att det finns färre joner i vattnet och det skulle kunna bero på den djupare inblandningen gör att kalkhalten blir lägre. Om man jämför turbiditeten med den elektriska konduktiviteten så stämmer den tesen bra, eftersom den elektriska konduktiviteten är hög där turbiditeten är hög i de flesta fall.



Figur 25. LOVA 15, bearbetningsdjupförsöken (grund och djup inblandning). Resultat av mätning av den elektriska konduktiviteten i utlakningsvattnet från den första regnsimuleringen (Regn 1) av aggregat (2-5 mm).

Den elektriska konduktiviteten (fig. 26) efter regn 2 uppvisade två försök med signifikanta effekter, Kornheddinge och Råbelöv. På Kornheddinge gav den djupa bearbetningen högre elektrisk konduktivitet och i Råbelöv gav den grunda bearbetningen högre elektrisk konduktivitet. Resultatet är dubbelkollat flertalet gånger för att minska den mänskliga faktorn, men utan att det förändrade något.



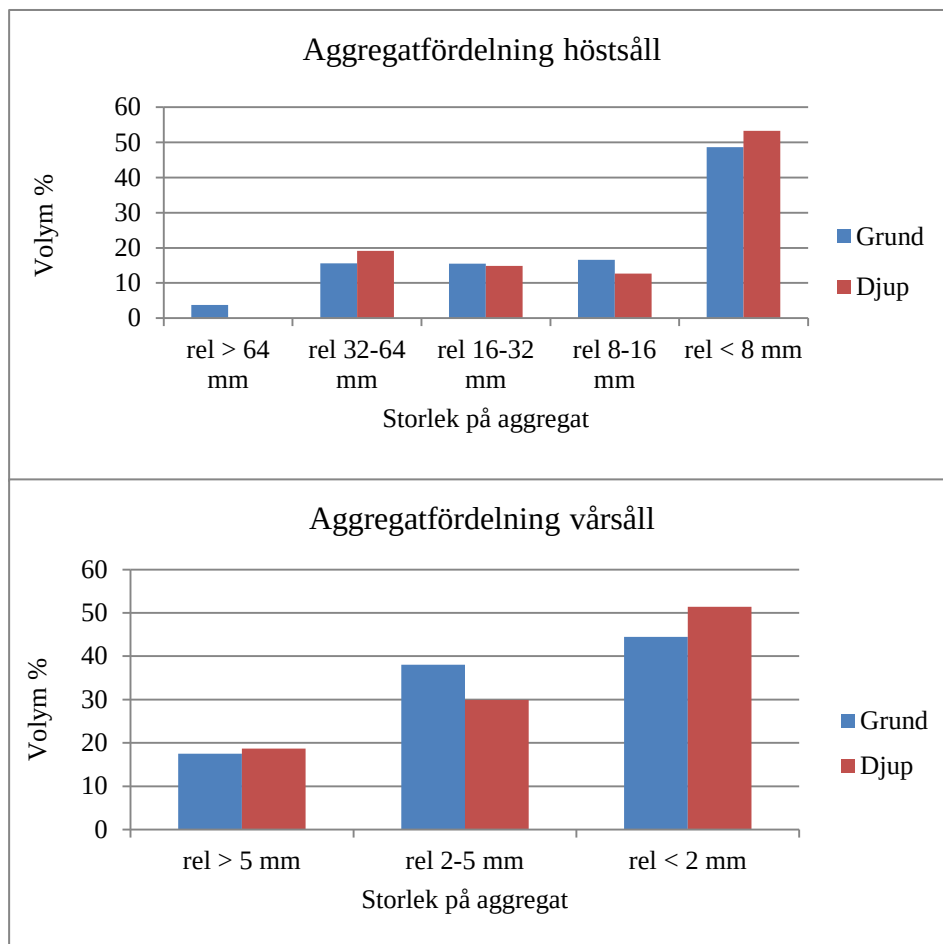
Figur 26. LOVA 15, bearbetningsdjupförsöken (grund och djup inblandning). Resultat av mätning av den elektriska konduktiviteten i utlakningsvattnet från den andra regnsimuleringen (Regn 2) av aggregat (2-5 mm).

Såbäddsundersökning bearbetningsdjupförsöken

Aggregatfördelning

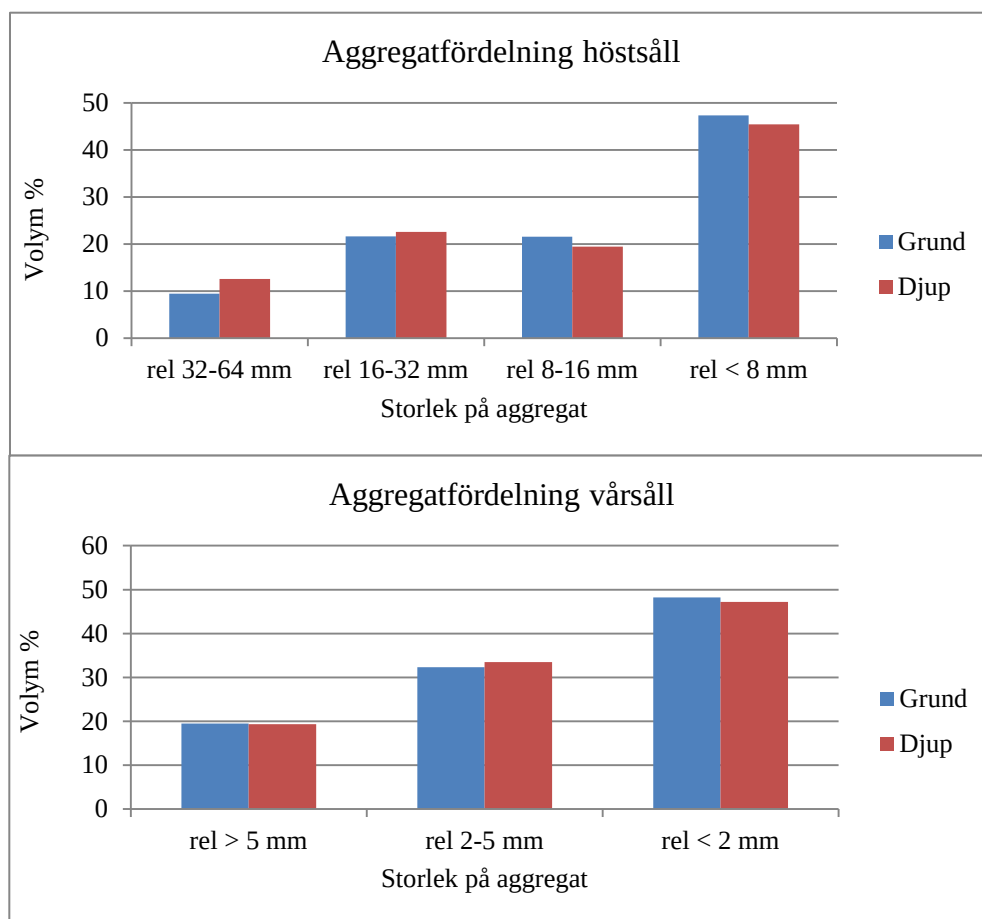
Råbelöv

Såbäddsundersökningen vid Råbelöv (fig. 27) visade på större andel aggregat med storleken 2-5 mm och 8-16 mm vid grund inblandning, samt en tendens till större andel aggregat 32-64 mm vid en djupare bearbetning.



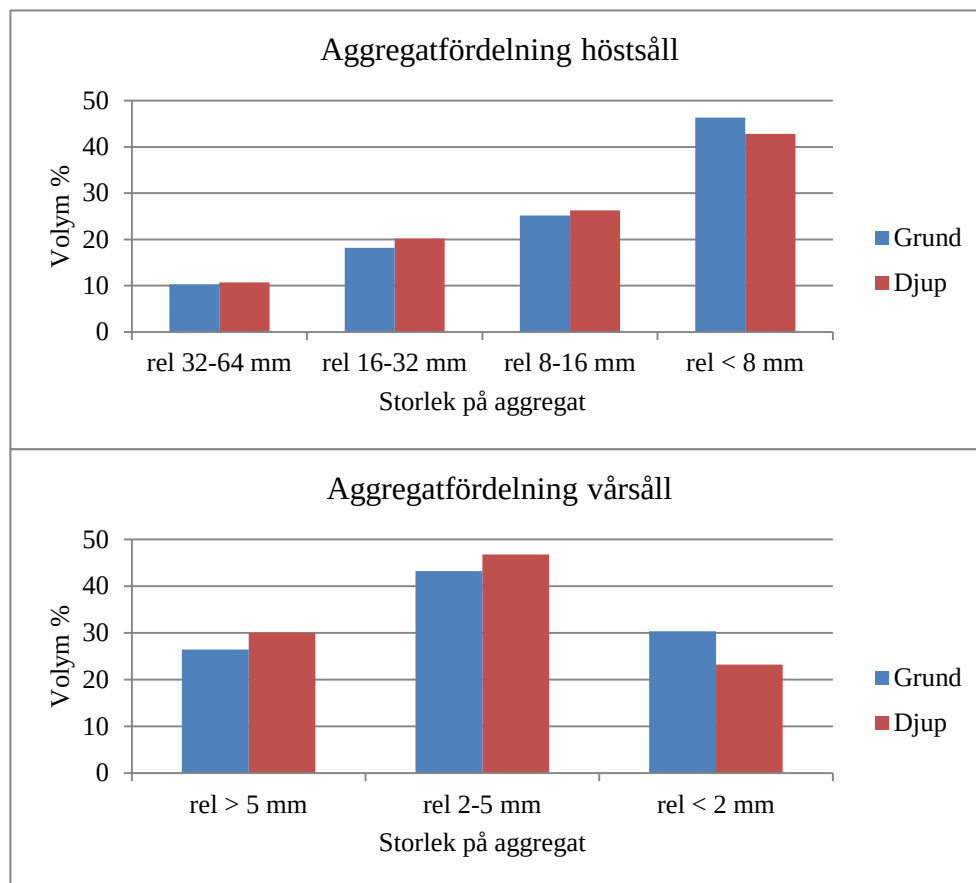
Figur 27. LOVA 15, bearbetningsdjupförsöken (grund och djup inblandning). Såbäddsundersökning vid Råbelöv. Aggregatens fördelning på olika storleksklasser efter jordens sållning genom höstbrukssåll och vårbrukssåll. Sannolikhetsvärdena för de olika aggregaten var följande: >64 mm $p=0,391$, 32-64 mm $p=0,098$, 16-32 mm $p=0,715$, 8-16 mm $p=0,021$, <8 mm $p=0,387$, >5 mm $p=0,792$, 2-5 mm $p=0,043$, <2 mm $p=0,189$. Rel visar att det är omgjort till relativtal.

Liksom som vid Råbelöv (fig. 27) visade såbäddsundersökningen vid Krapperrup (fig. 28) en tendens till större andel aggregat 32-64mm vid en djupare bearbetning.



Figur 28. LOVA 15, bearbetningsdjupförsöken (grund och djup inblandning). Såbäddsundersökning vid Krapperrup. Aggregatens fördelning på olika storleksklasser efter jordens sållning genom höstbrukssåll och vårbbrukssåll. Sannolikhetsvärdena för de olika aggregaten var följande: 32-64 mm $p=0,087$, 16-32 mm $p=0,798$, 8-16 mm $p=0,315$, <8 mm $p=0,597$, >5 mm $p=0,957$, 2-5 mm $p=0,588$, <2 mm $p=0,630$. Rel visar att det är omgjort till relativtal.

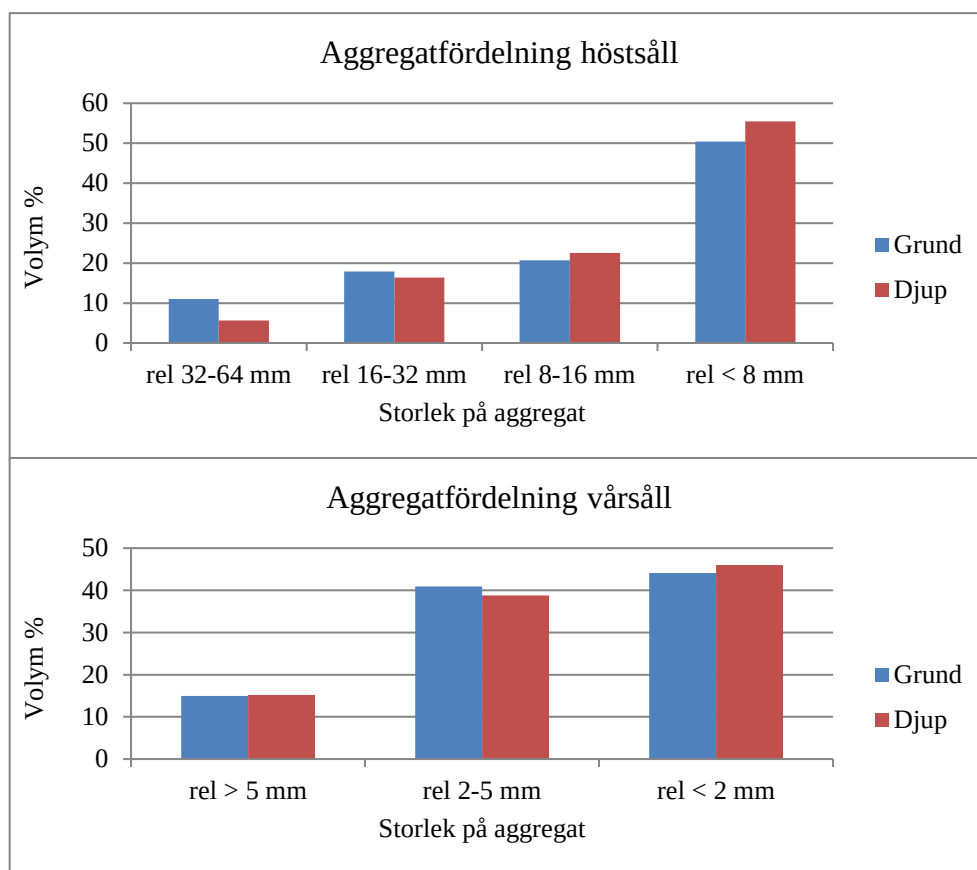
Såbäddsundersökningen i försöket vid Krageholm (fig. 29) visade att det fanns en tendens till större andel små aggregat, <8 mm och <2 mm vid en grundare bearbetning än vid en djup.



Figur 29. LOVA 15, bearbetningsdjupförsöken (grund och djup inblandning). Såbäddsundersökning i Krageholm. Aggregatens fördelning på olika storleksklasser efter jordens sållning genom höstbrukssåll och vårbrukssåll. Sannolikhetsvärdena för de olika aggregaten var följande: 32-64 mm $p = 0,921$, 16-32 mm $p = 0,108$, 8-16 mm $p = 0,686$, <8 mm $p = 0,090$, >5 mm $p = 0,114$, 2-5 mm $p = 0,230$, <2 mm $p = 0,081$. Rel visar att det är omgjort till relativtal.

Kornheddinge

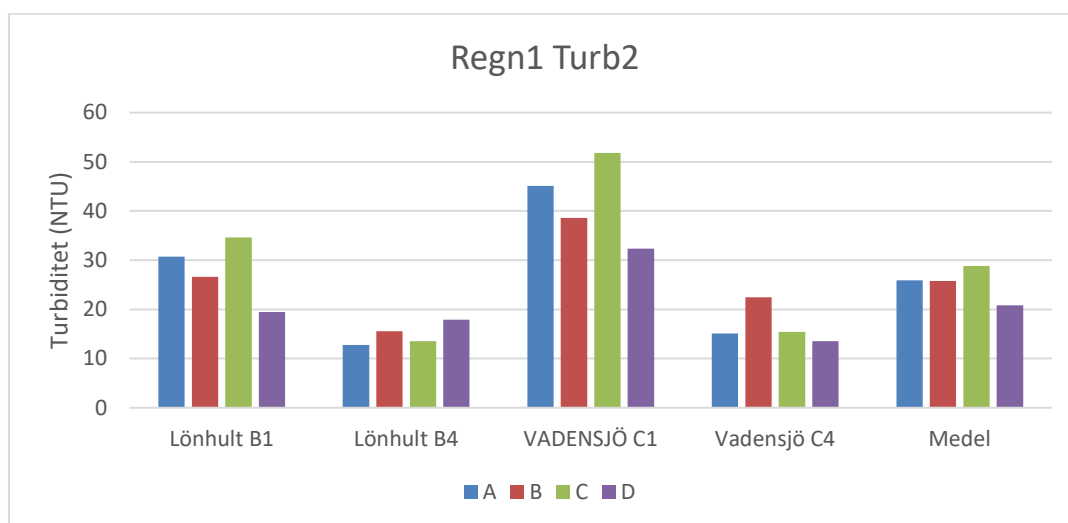
Resultatet av såbäddsundersökningen vid Kornheddinge (fig. 30) gav ett motsatt resultat jämfört med övriga platser. Två av fraktionerna hade signifikanta resultat, 32-64 mm och <8 mm. Fraktionen 32-64 mm visar att det större andel stora aggregat vid en grund bearbetning och fraktionen <8 mm visar att det finns större andel små aggregat vid en djup bearbetning.



Figur 30. LOVA 15, bearbetningsdjupförsöken (grund och djup inblandning). Såbäddsundersökning i Kornheddinge. Aggregatens fördelning på olika storleksklasser efter jordens sållning genom höstbrukssåll och vårbrukssåll. Sannolikhetsvärdena för de olika aggregaten var följande: 32-64 mm $p=0,028$, 16-32 mm $p=0,333$, 8-16 mm $p=0,281$, <8 mm $p=0,023$, >5 mm $p=0,839$, 2-5 mm $p=0,353$, <2 mm $p=0,505$. Rel visar att det är omgjort till relativtal.

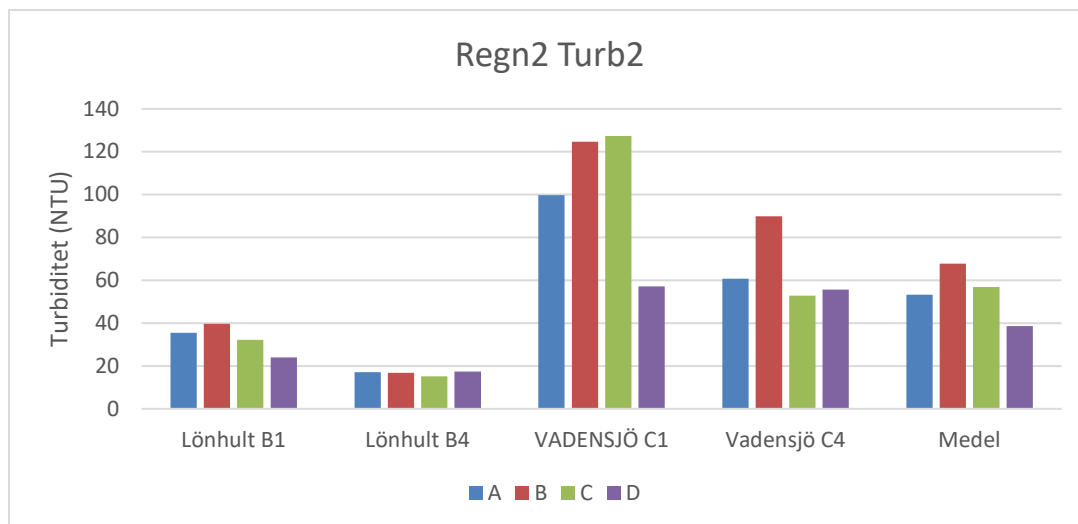
LOVA 14 olika kalkgivor

Resultatet efter den första regnsimuleringen av lysimetrarna (fig. 31) har en signifikant skillnad mellan leden vid Vadensjö C1. Det försöket visar att det är högst turbiditet när man har behandlat jorden med en normal giva kalk, alltså 8 ton/ha. Det visar också att det är lägst turbiditet vid en giva på 16 ton/ha. Det innebär också att utlakningsvattnet från lysimetrarna innehåller mer jordpartiklar i ledet med 8 ton strukturkalk/ha jämfört med ledet med 4 ton strukturkalk/ha, vilket går emot tesen.



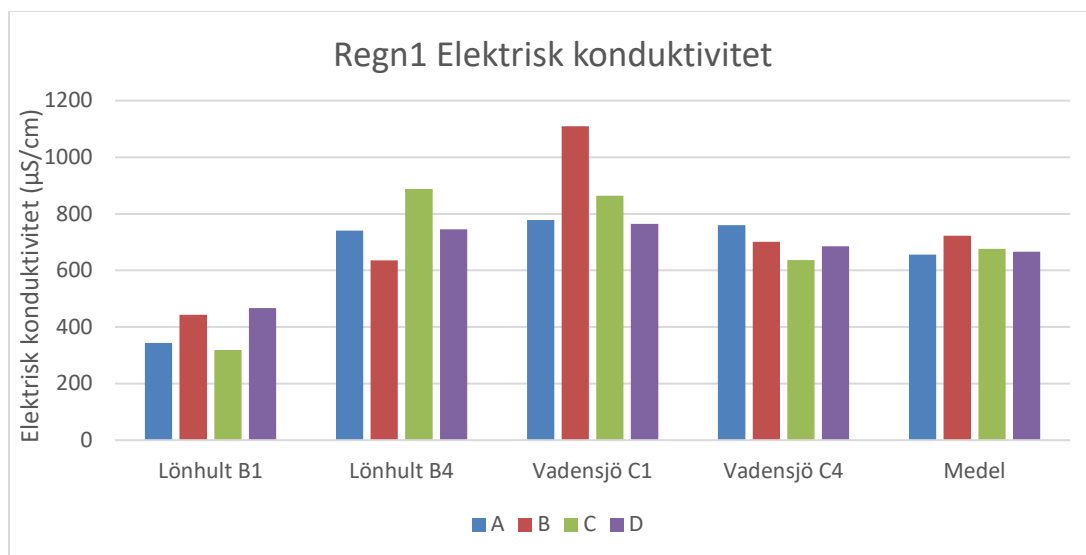
Figur 31. LOVA 14 försök med olika kalkgivor. A=obehandlad ruta, B=4 ton/ha strukturkalk, C=8 ton/ha strukturkalk och D=16 ton/ha strukturkalk. Resultat av turbiditetsmätningarna i utlakningsvattnet från den första regnsimuleringen (Regn 1) av lysimetrar. Turbiditeten (Turb 2) är en uppskattning av mängden ler i vattnet.

Även vid den andra regnsimuleringen (fig. 32) visar Vadensjö med signifikanta skillnader på turbiditeten mellan leden, att det är högst turbiditet vid en normal giva strukturkalk och lägst turbiditet vid en dubbel giva strukturkalk.



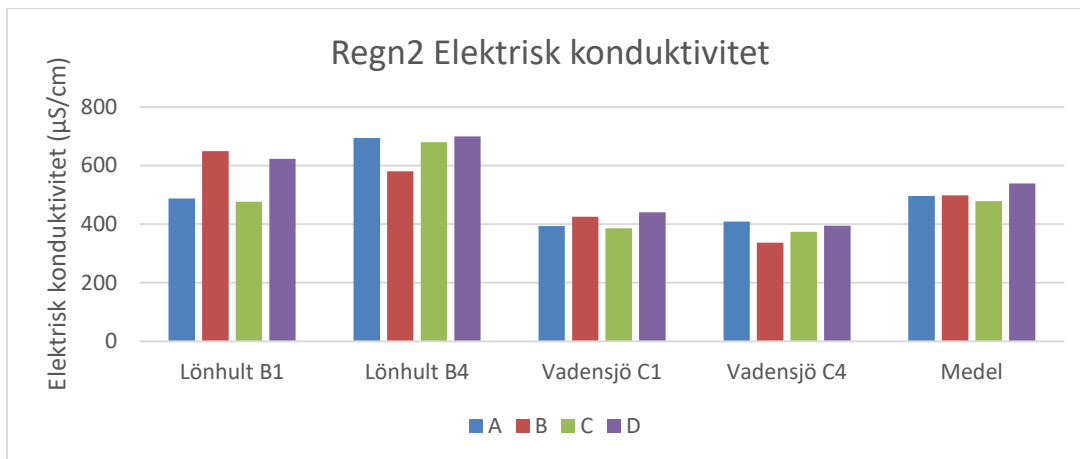
Figur 32. LOVA 14 försök med olika kalkgivor. A=obehandlad ruta, B=4 ton/ha strukturkalk, C=8 ton/ha strukturkalk och D=16 ton/ha strukturkalk. Resultat av turbiditetsmätningarna i utlakningsvattnet från den andra regnsimuleringen (Regn 2) av lysimetrar. Turbiditeten (Turb 2) är en uppskattning av mängden ler i vattnet..

Den elektriska konduktiviteten vid den första regnsimuleringen (fig. 33) är tyvärr utan signifikanta resultat. Dock har Vadensjö C1 ett led som sticker ut från mängden (halv giva strukturkalk/ha), vilket är svårt att förklara.



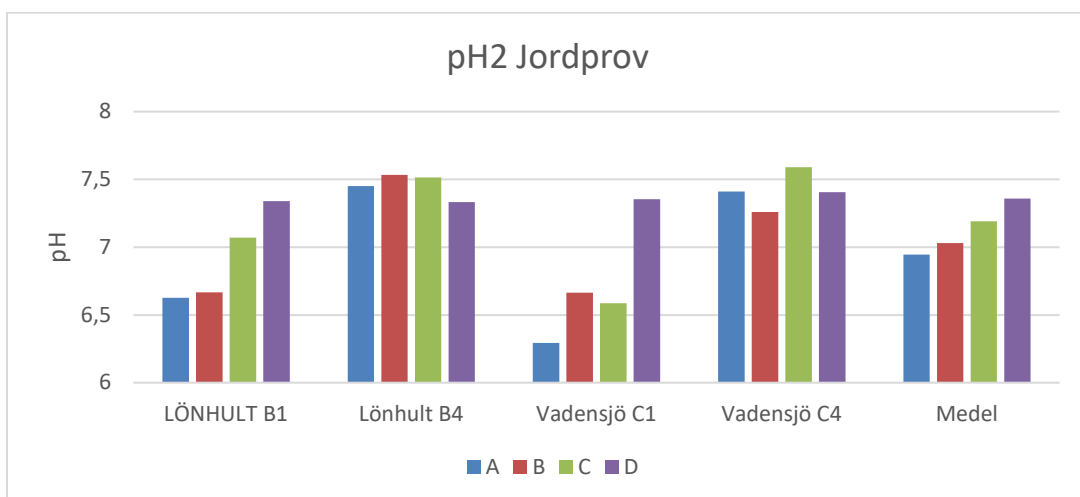
Figur 33. LOVA 14 försök med olika kalkgivor. A=obehandlad ruta, B=4 ton/ha strukturkalk, C=8 ton/ha strukturkalk och D=16 ton/ha strukturkalk. Resultat av mätning av elektrisk konduktivitet i utlakningsvattnet från den första regnsimuleringen (Regn 1) av lysimetrar. Den elektriska konduktiviteten är en mätning av elektrisk ledningsförmåga i vätskan.

Även den elektriska konduktiviteten efter den andra regnsimuleringen (fig. 34) saknar signifikanta skillnader. Dessutom ser det ut som att den elektriska ledningsförmågan är relativt jämn vid alla områden.



Figur 34. LOVA 14 försök med olika kalkgivor. A=obehandlad ruta, B=4 ton/ha strukturkalk, C=8 ton/ha strukturkalk och D=16 ton/ha strukturkalk. Resultat av mätning av elektrisk konduktivitet i utlakningsvattnet från den andra regnsimuleringen (Regn 2) av lysimetrar. Den elektriska konduktiviteten är en mätning av elektrisk ledningsförmåga i vätskan.

pH2 i jordproven (fig. 35) visar att det finns signifikanta skillnader vid Lönhult B1. Både medelvärdet och Lönhult B1 visar att det är lägst pH vid den obehandlade rutan och högst pH vid rutan som behandlades med dubbel giva strukturkalk.

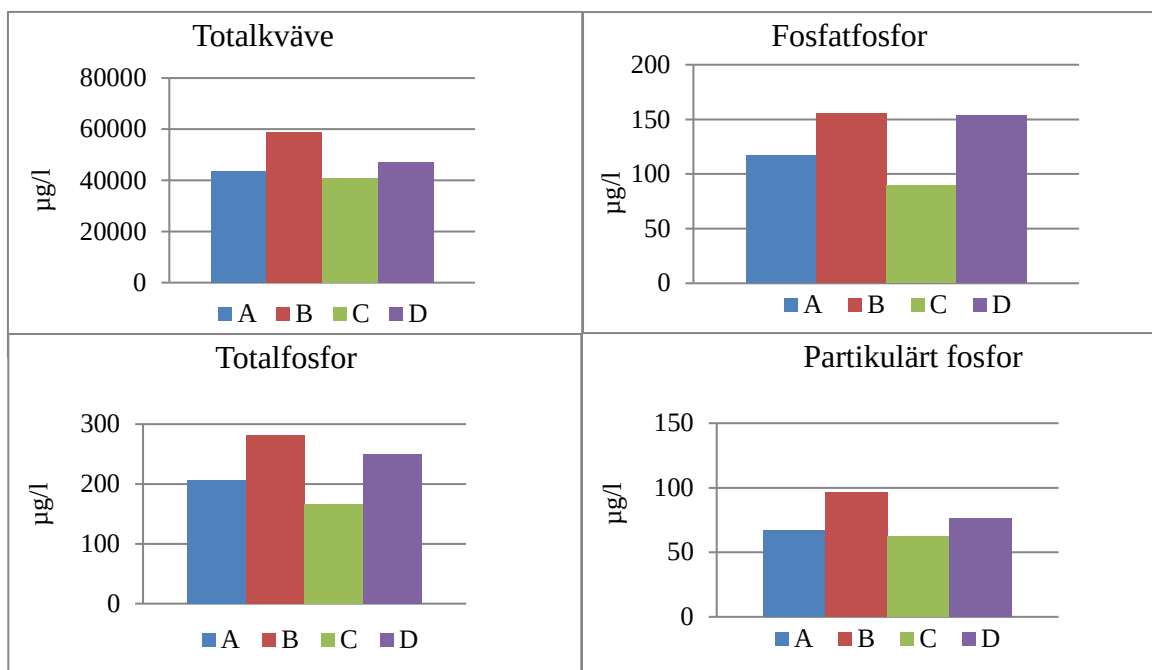


Figur 35. LOVA 14 försök med olika kalkgivor. A=obehandlad ruta, B=4 ton/ha strukturkalk, C=8 ton/ha strukturkalk och D=16 ton/ha strukturkalk. Resultat av den andra pH-mätningen i jordproven från lysimetrarna. pH-värdet är en mätning av mängden väte- och hydroxidjoner i lösningen.

Lönhult B1

Näringsinnehåll i vattenprover

Resultat från lysimeterstudie vid Lönhult B1 (låg lerhalt) (fig. 36) visade inte några signifikanta skillnader i näringsinnehåll i utlakningsvattnet efter två regnsimuleringar. Det man dock skulle kunna tolka, utan signifikans, är att stapel B (4 ton/ha) i samtliga diagram från Lönhult B1 är den högsta stapeln. Det är samma led som har högst turbiditet vid den andra regnsimuleringen (fig. 32) också.

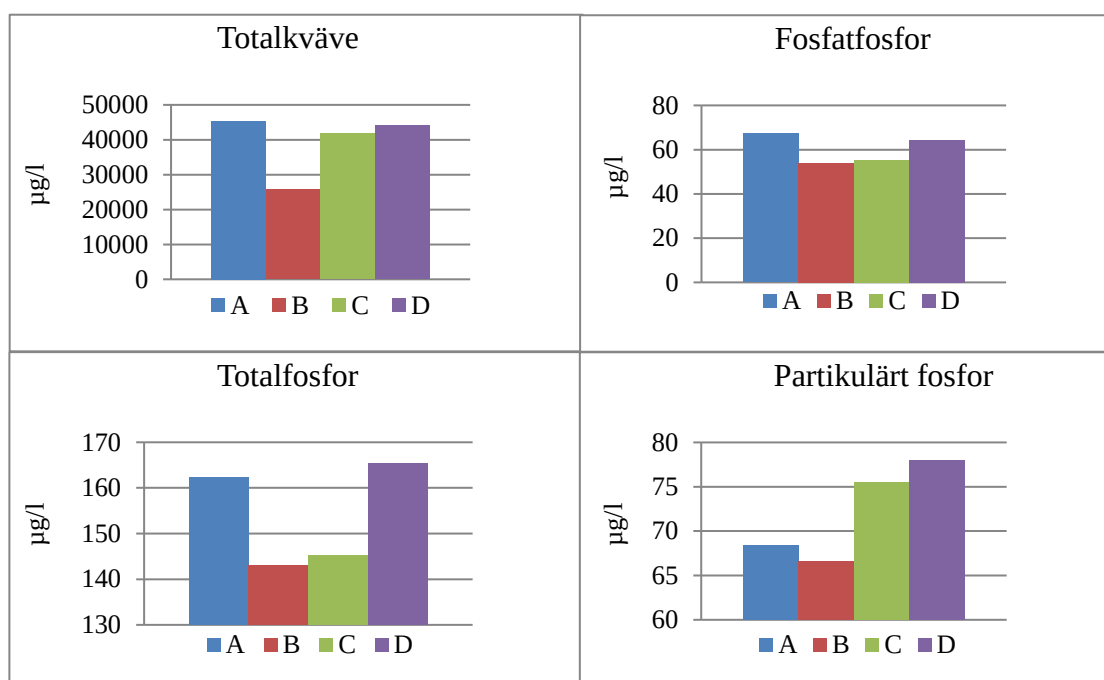


Figur 36. LOVA 14 försök med olika kalkgivor vid Lönhult B1. Mätningar av näringsinnehåll i utlakningsvattnet från lysimetrar med jord i ostörd lagring efter 2 regnsimuleringar. A= obehandlad, B = 4 ton/ha strukturkalk, C= 8 ton/ha strukturkalk och D= 16 ton/ha strukturkalk. Resultat av signifikans-test: totalkväve $p = 0,816$, fosfatfosfor $p = 0,377$, totalfosfor $p = 0,327$ och partikulärfosfor $p = 0,338$.

Lönhult B4

Näringsinnehåll i vattenprover

Precis som i lysimeterstudie vid Lönhult B1 (fig. 36) finns det inga signifikanta skillnader i näringsinnehållet i utlakningsvattnet vid Lönhult B4 (hög lerhalt) (fig. 37) heller. Anmärkningsvärt är dock att stapel D är förhållandevis hög i alla diagrammen. Det är också något som går emot tesen.

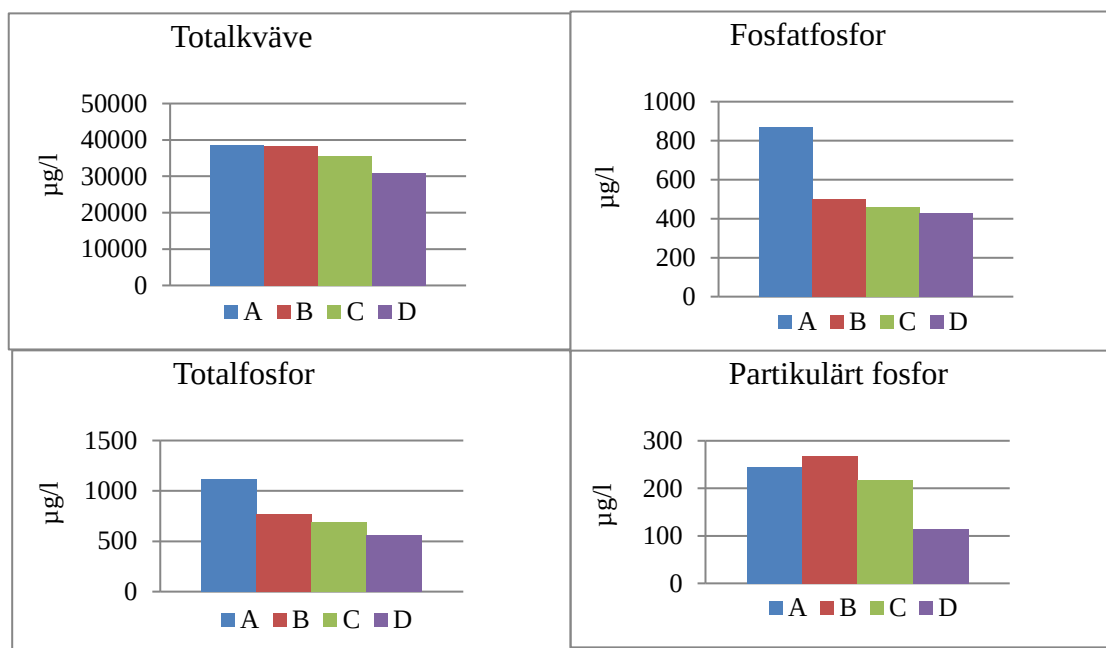


Figur 37. LOVA 14 försök med olika kalkgivor vid Lönhult B4. Mätningar av näringsinnehåll i utlakningsvattnet från lysimetrar med jord i ostörd lagring efter 2 regnsimuleringar. A= obehandlad, B = 4 ton/ha strukturkalk, C= 8 ton/ha strukturkalk och D= 16 ton/ha strukturkalk. Resultat av signifikans-test: totalkväve $p = 0,448$, fosfatfosfor $p = 0,820$, totalfosfor $p = 0,762$ och partikulärfosfor $p = 0,570$.

Vadensjö C1

Näringsinnehåll i vattenprover

Inte heller i lysimeterstudien vid Vadensjö C1 (låg lerhalt) (fig. 38) finns det någon tendens till signifikanta skillnader mellan leden. Man kan dock lägga märke till att det obehandlade ledet, A, är den stapeln som är högst i nästan alla diagrammen, och att led D är lägst, vilket är ett önskvärt resultat.

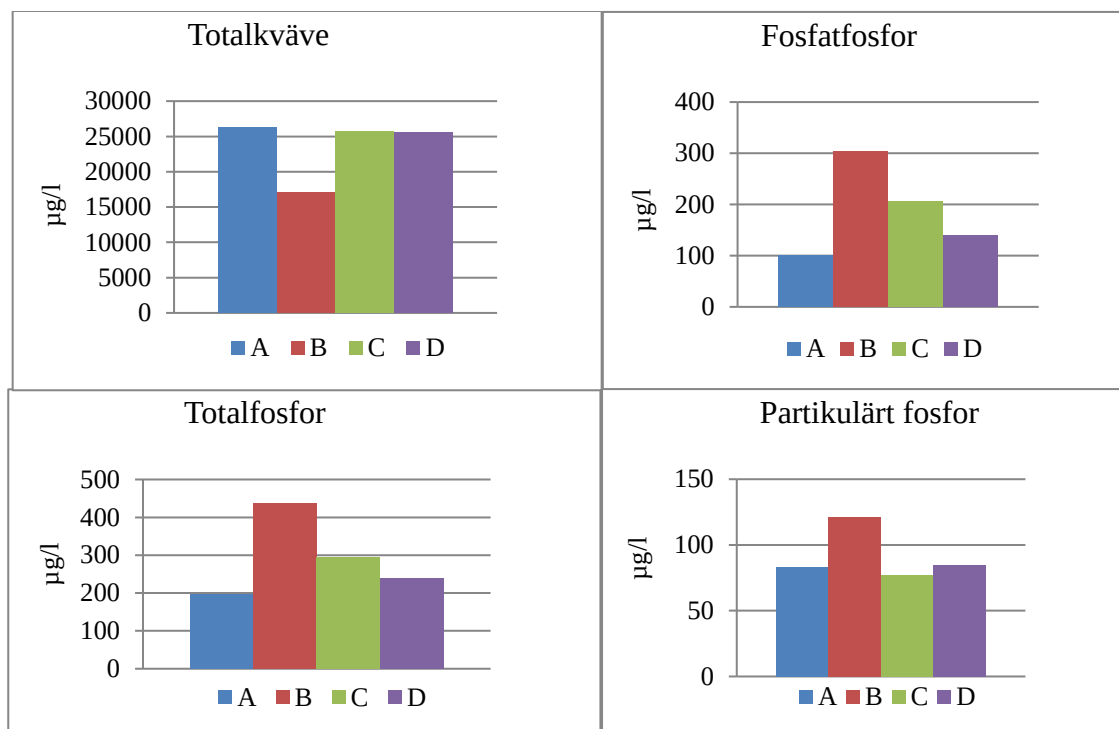


Figur 38. LOVA 14 försök med olika kalkgivor vid Vadensjö C1. Mätningar av näringsinnehåll i utlakningsvattnet från lysimetrar med jord i ostörd lagring efter 2 regnsimuleringar. A= obehandlad, B = 4 ton/ha strukturkalk, C= 8 ton/ha strukturkalk och D= 16 ton/ha strukturkalk. Resultat av signifikans-test: totalkväve $p = 0,638$, fosfatfosfor $p = 0,267$, totalfosfor $p = 0,183$ och partikulärfosfor $p = 0,266$.

Vadensjö C4

Näringsinnehåll i vattenprover

Lysimeterstudien vid Vadensjö C4 (hög lerhalt) (fig. 39) visade inte heller några signifikanta resultat. Stapel B (4 ton/ha) visar dock ett högre innehåll i nästan alla diagrammen. Det är bara i diagrammet som visar totalkväve där stapel B är lägre.



Figur 39. LOVA 14 försök med olika kalkgivor vid Vadensjö C4. Mätningar av näringsinnehåll i utlakningsvattnet från lysimetrar med jord i ostörd lagring efter 2 regnsimuleringar. A= obehandlad, B = 4 ton/ha strukturkalk, C= 8 ton/ha strukturkalk och D= 16 ton/ha strukturkalk. Resultat av signifikans-test: totalkväve $p = 0,404$, fosfatfosfor $p = 0,312$, totalfosfor $p = 0,303$ och partikulärfosfor $p = 0,319$.

Diskussion

Resultatet jag önskade eller hoppades på när jag började på detta arbete var att desto högre giva kalk, ju bättre resultat (lägre turbiditet) och att ju tidigare och djupare man bearbetade, desto bättre resultat. Efter ett tag insåg jag dock att en djup bearbetning innebär en högre utspädning och i sin tur lär turbiditeten istället bli högre eftersom aggregaten får en mindre mängd kalk på sig.

LOVA 15-tidpunktsförsök

Effektskillnaden mellan tidig och sen inblandning av kalken borde inte bero på just tidpunkten. Det handlar förmodligen mer om betingelserna vid spridningen. Vid torrt och fint väder är det lättare att få ett fint bruk med små aggregat där sen kalken kan blandas in och påverka fler aggregat. Ju tidigare spridning, desto större chans är det att betingelserna är bra. De flesta kemiska reaktioner sker också fortare vid en högre temperatur, kanske är det också det som gör att en tidig spridning borde vara bättre.

När man kollar på de signifikanta resultaten på tidpunktsförsöket så visar regn 2 turbiditet 2 (fig. 16) vid Kornheddinge att det är en högre turbiditet på den sena bearbetningen, vilket innebär grumligare vatten som innehåller mer fosfor. Det finns även en tendens till signifikans vid Krageholm som visar samma sak. Den elektriska konduktiviteten är högre i tidig bearbetning i både regn 1 (fig. 17) och regn 2 (fig. 18). Varför den är det har jag själv inte förstått. Det är samma mängd kalk och samma volym jord på både den tidiga och sen inblandningen. Kan det kanske bero på att strukturlalken har fått en större effekt och inblandning i det tidiga ledet? Vad har då hänt med kalken i det senare ledet?

I aggregatfördelningen på de olika områdena är det ett område utan några signifikanta resultat, Råbelöv (fig. 19). Även om det inte finns några signifikanta skillnader kan man se i diagrammet att det verkar som att det finns fler små aggregat (<8 mm) vid en senare inblandning.

Två områden med tendens till signifikans, Krapperup (fig. 20) och Krageholm (fig. 21). Vid Krapperup är det fler aggregat i storleken 8-16 mm vid en tidig inblandning. Gränsen för små och stora aggregat har jag dragit vid 8 mm, vilket innebär att Krapperups resultat säger att det blir fler större aggregat vid en tidig inblandning. Krageholms tendens till signifikans visar att det blir fler små aggregat vid en tidig inblandning. Kornheddinge (fig. 22) var det enda området med signifikanta resultat. Där påvisades att det finns fler små aggregat (<8 mm) vid en senare spridning än vid en tidigare. Men såbäddsundersökningen visar också att det finns fler mindre aggregat (>5 mm) vid en tidig inblandning. Resultaten jag har fått säger emot varandra vilket gör det svårt att dra någon slutsats. Om det hade varit ett

område som stack ut ur mängden hade det kunnat bero på slumpen, men när hälften av alla försöken i såbäddsundersökningen visar olika kan det kanske bero på att det är för få prover.

LOVA 15-bearbetningsdjup

En kortfattad sammanfattning av de signifikanta resultaten är att bearbetningsdjupet inte gjorde någon större skillnad på turbiditeten eller på den elektriska konduktiviteten. Dock fanns det ett signifikant resultat på regn 2 elektrisk konduktivitet (fig. 26), Kornheddinge och Råbelöv. Vid Kornheddinge visade det sig vara den djupa bearbetningen som hade högst elektrisk konduktivitet. Det innebär att det finns fler strömledande joner i vattenprovet efter en djup bearbetning. Dock var resultatet tvärtom vid Råbelöv. Den elektriska konduktiviteten är egentligen ett mått för att se så att strukturkalken hamnat i rätt ruta. En tanke är att kalken späds ut mer vid en djup bearbetning eftersom det är en större mängd jord som kalken påverkar. Det innebär då också att den elektriska konduktiviteten ska vara lägre vid en djup bearbetning. Att det inte har blivit så vid Kornheddinge skulle kunna vara slumpen.

Då kalken blandas in med mer jord och späds ut mer borde också turbiditeten bli högre på ledet med djup bearbetning, men det är inget mina resultat visar. Vid turbiditetsmätningarna (fig. 23 och 24) är det bara ett område med en tendens till signifikans, Krapperup. Tyvärr är staplarna vid Krapperup nästan lika höga, vilket innebär att turbiditeten är snarlik för grund och djup bearbetning.

När man tittar på aggregatfördelningen så var resultatet att två områden, Råbelöv (fig. 27) och Krageholm (fig. 29) fick fler små aggregat vid en grund bearbetning. Krapperup (fig. 28) påvisar att det finns fler större aggregat vid en djupare bearbetning. Det sista området, Kornheddinge (fig. 30) visar att det både finns fler små aggregat vid en djup bearbetning och att det finns fler stora aggregat vid en grund bearbetning. Det sistnämnda resultatet stämmer tyvärr ej överens med de andra försöken. Anledningen till detta skulle kunna vara slumpen. Aggregatfördelningen borde varit fler små aggregat vid en grundare bearbetning eftersom då koncentrationen av kalken varit högre och gett större effekt.

LOVA 14-olika kalkgivor

Det första diagrammet, regn 1 turbiditet 2 (fig. 31), vid Vadensjö C1 visar att vid en normal kalkgiva på 8 ton strukturkalk/ha är det högst turbiditet i vattenprovet. Dock är det lägst turbiditet i ledet med dubbel giva kalk, vilket är ett önskvärt resultat. Regn 2 turbiditet 2 (fig. 32) visar i princip samma sak, förutom att medelvärdet ser ganska bra ut. Där är det bara den obehandlade rutan som sticker ut och inte visar det jag trodde den skulle visa.

Det fanns tyvärr inga signifikanta resultat på den elektriska konduktiviteten (fig. 33 och 34). Och diagrammen visar inte heller vad jag hoppades på, nämligen att obehandlad ruta skulle ha lägst elektrisk konduktivitet och rutan behandlad med dubbel giva skulle ha högst elektrisk konduktivitet. Varför det inte har blivit större skillnad är svårt att förklara, men en gissning är att där den dubbla givan strukturkalk spridits har jonerna bundits hårdare till jorden och följer därför inte med vattnet ut vid en regnsimulering. Vidare så är det färre joner i ledet som är obehandlat, men de binds inte lika hårt till jorden och följer därför med regnvattnet ut.

Lönhult B1 (fig. 36) visade en fin kurva med signifikant skillnad mellan leden över pH-värdet i jordproven. Staplarna visar att det är lägst pH-värde i det obehandlade ledet (A) och högst i ledet som fick dubbel giva kalk (D). Ett resultat som var förväntat. Även Vadensjö C1 visar att strukturkalken har höjt pH-värdet mest där dubbla givan kalk spridits ut. Likheten mellan Vadensjö C1 och Lönhult B1 är att de båda är områdena med lägst lerhalt och lägst pH-värde vid det obehandlade ledet och kanske är det därför som strukturkalken gör pH-höjningen så stor. På de andra områdena, Lönhult B4 och Vadensjö C4, där lerhalten och pH-värdet är högst ser man inte att strukturkalken har gjort någon pH-förändring.

Jag har jämfört mina resultat med resultaten i slutrapporter för; Strukturkalkning för minskat näringsläckage i Skåne – (Lst nr 501-1355-2015) och Fosforreducering till Östersjön – strukturkalkning och mikronäring (SJV nr 4.1.18–3320/16) för att se om det var liknande. Det andra arbetet hade fyra olika led med olika givor strukturkalk, kontroll (0 ton CaO/ha), 1 ton CaO/ha, 2 ton CaO/ha och 6 ton CaO/ha. De skrev mängden strukturkalk som mängd CaO (kalciumoxid) för att också kunna använda olika sorters strukturkalk med olika koncentration, men ändå få ut samma mängd CaO. Ledet med 6 ton/ha var det enda med signifikant lägre turbiditet jämfört med kontrollen och stämmer ganska bra överens med vissa resultat i mitt arbete.

Näringsinnehållet i vattenproverna för LOVA 14 är svåra att tyda då det inte finns något bra samband mellan dom. På två av områdena kan man se att staplarna B (4 ton/ha) är höga jämfört med de andra,

Lönhult B1 (fig. 36) och Vadensjö C4 (fig. 39). I Lönhult B4 (fig. 37) var det istället staplarna D (16 ton/ha) som var höga och i Vadensjö C1 (fig. 38) var det staplarna A (0 ton/ha) som hade höga värden. Tyvärr var det inga signifikanta resultat. Ett bra resultat här hade varit att det fanns mindre fosfor i vattenproverna i ledet med dubbel giva kalk, och mer fosfor i ledet som var obehandlat, likt totalfosfordiagrammet i Vadensjö C1 (fig. 38). Anledningen till detta är att ledet med dubbelgiva kalk ska släppa från sig en mindre mängd jord vid regnsimuleringen, och det är i jorden fosforjonerna är. Kanske måste rutorna ligga lite längre för att man ska få ett bättre resultat? Kanske bör man också ta fler prov per ruta i nästkommande försök, för att undvika felkällor och för att förhoppningsvis få mindre spretiga resultat.

Felkällor?

Då jag har dubbelkollat många av resultaten för att verkligen se att de stämmer anser jag att den mänskliga felkällan är relativt låg. Vi var dessutom två som var ute i fält och letade fram rutorna, tog prover och markerade påsarna, vilket också minskar risken för felmarkering, felprovtagning och liknande.

Under laborerandet fick jag en grundlig redogörelse för hur allt skulle gå tillväga och kunde fråga många olika personer om jag var minsta lilla osäker. Dessutom gjorde jag dubbelkollar lite då och då för att se att tex pH-värdet eller den elektriska konduktiviteten verkligen stämde.

Regnsimulatoren var tyvärr av en äldre modell och gick inte att kalibrera, vilket gjorde att lysimetrarna fick olika mycket vatten på sig. Kan det ha påverkat koncentrationen av näringsämnen i vattnet? Eller turbiditeten och den elektriska konduktiviteten? Kan vara bra att testa i nästkommande försök.

Aggregatproven flyttades runt i ett mönster som gjorde att alla proven ska ha fått samma mängd vatten över sig och de bör därför inte påverkas av att regnsimulatoren inte var särskilt exakt. Finns det en chans att vattnet som skulle rinna genom jorden i lysimetrarna istället rann mellan jorden och röret?

Att transportera upp alla proven bör inte påverkat LOVA 15 på något sätt eftersom det var torr jord i påsar. Hur jorden i lysimetrarna i LOVA 14 ter sig vet jag inte riktigt. Kan det ha uppkommit sprickor i profilen som gjort att regnvattnet runnit genom sprickan istället för jorden? Inget som syntes vid upppackningen av lysimetrarna i alla fall. Kan jorden ha blivit mer packad vid vibrationerna från bilen? Väldigt svårt att veta, men jorden såg likadan ut när den packades in som när den packades upp igen.

Jag var själv inte med när försöken lades ut, men jag läste i ett annat arbete att det inte var exakt samma redskap som bearbetade jorden vid tidig och sen inblandning. Exempelvis kördes det 2x Väderstad Carrier och 2x Väderstad Cultus vid Krageholms tidiga inblandning och 3x Väderstad Cultus vid den sena inblandningen. Om maskinerna gör olika bra jobb och det blir olika bra bruk bör resultatet också bli olika även om det hade varit samma tidpunkt som kalken spreds ut och jorden bearbetades.

Referenslista

Berglund, G. (1971). Kalkens inverkan på jordens struktur. Uppsala. Institutionen för lantbrukets hydroteknik. Stenciltryck nr 46. 14s. Tillgänglig: https://pub.epsilon.slu.se/5797/1/Berglund_G_110617..pdf

Berglund, K. & Blomquist, J. (2015).: *Strukturkalkning-bra för både mark och miljö*. Greppa näringen. Praktiska råd nr 23, 2015. 4s. Tillgänglig: <http://www.greppa.nu/download/18.6b6712dc151ab7054519c133/1450374226635/Praktiska+R%C3%A5d+Nr+23+Strukturkalkning.pdf>

Bergström, L., Linder, J. & Andersson, R. (2008). *Fosforförluster från jordbruksmark – vad kan vi göra för att minska problemet*. Jordbruksverket i Jönköping. JO08:27. ISSN 1102-8025. 28s. Tillgänglig: <http://www.vaxteko.nu/html/sll/sjv/jordbruksinfo/JIN08-27/JIN08-27.PDF>

Blomquist, J., Simonsson, M., Etana, A. & Berglund, K. *Structure liming enhances aggregate stability and gives varying crop response on clayey soils*. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science. Volume 68, 311-322, DOI: 10.1080/09064710.2017.1400096.

Collin, J. (2010). *Strukturkalkningens möjlighet att hindra fosforutlakning- en litteraturstudie*. Institutionen för mark och miljö, SLU Uppsala. Examensarbete 2010;06, 21s. Tillgänglig: https://stud.epsilon.slu.se/1587/1/collin_j_100708.pdf

Dahlin, S., Eriksson, J., Nilsson, I. & Simonsson, M. (2011). *Marklära*. 1:1. Upplaga. Lund. Studentlitteratur AB. 392s.

Dexter, A.R. (1998). *Advances in characterization of soil structure*. Soil and Tillage Research. Volume 11, 199-238. Tillgänglig: [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(88\)90002-5](https://doi.org/10.1016/0167-1987(88)90002-5)

Hillel, D. (1980). *Fundamentals of Soil Physics*. New York. Academic Press inc. 413s

Jordbruksverket, (2018). *Investeringsstöd till jordbruk, trädgård och rennärning*. Tillgänglig: <http://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/stod/stodilandsbygdsprogrammet/investeringar/jordbruktradgardochrennaring.4.6ae223614dda2c3dbc44ef5.html>

Kindvall, T. (1999). *Strukturkalkning på lerjordar*. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för markvetenskap. Avdelningen för lantbrukets hydroteknik. Avdelningsmeddelande 99:1, 61s. Tillgänglig: https://pub.epsilon.slu.se/4853/1/kindvall_t_100630.pdf

Kritz, G. (1983) *Såbäddar för vårstråsäd- En stickprovsundersökning*. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för markvetenskap. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen Nr 65, 204s. Tillgänglig: https://pub.epsilon.slu.se/5019/1/kritz_g_100816.pdf

Shanmuganathan, R. T. & Oades, J. M. (1983). *Influence of anions on dispersion and physical properties of the a horizon of a red-brown earth*. Geoderma. Volume 29, 257-277. Tillgänglig: [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(83\)90091-5](https://doi.org/10.1016/0016-7061(83)90091-5)

Sohlman, M. (2012). *Näringsförluster från åkermark*. Mälardalens högskola. Akademin för hållbar samhälls- och teknikutveckling. Examensarbete; miljöteknik, avancerad nivå 30 hp, civilingenjör samhällsteknik TOA400. 58s. Tillgänglig: <http://mdh.diva-portal.org/smash/get/diva2:545712/FULLTEXT01.pdf>

Ulén, B. & Etana, A. (2014). *Phosphorus leaching from clay soils can be counteracted by structure liming*. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science. Volume 64, 425-433. Tillgänglig: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09064710.2014.920043>

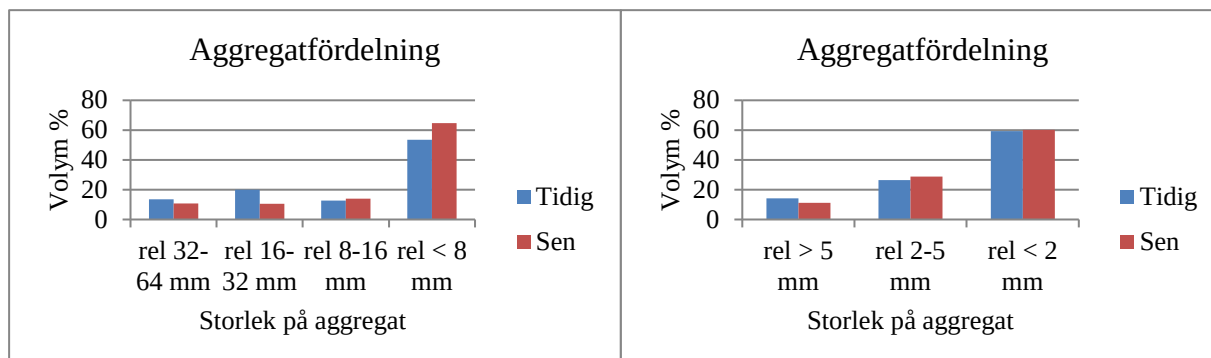
Wilander, A. & Fölster, J. (2007). *Sjöinventeringen 2005, En synoptisk vattenkemisk undersökning av Sveriges sjöar*. Uppsala, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för miljöanalys. Rapport 2007:16, 76s.

Wiklander, L. (1976). *Marklära*. Lantbrukshögskolan. Uppsala. Institutionen för markvetenskap. 223s

Bilagor:

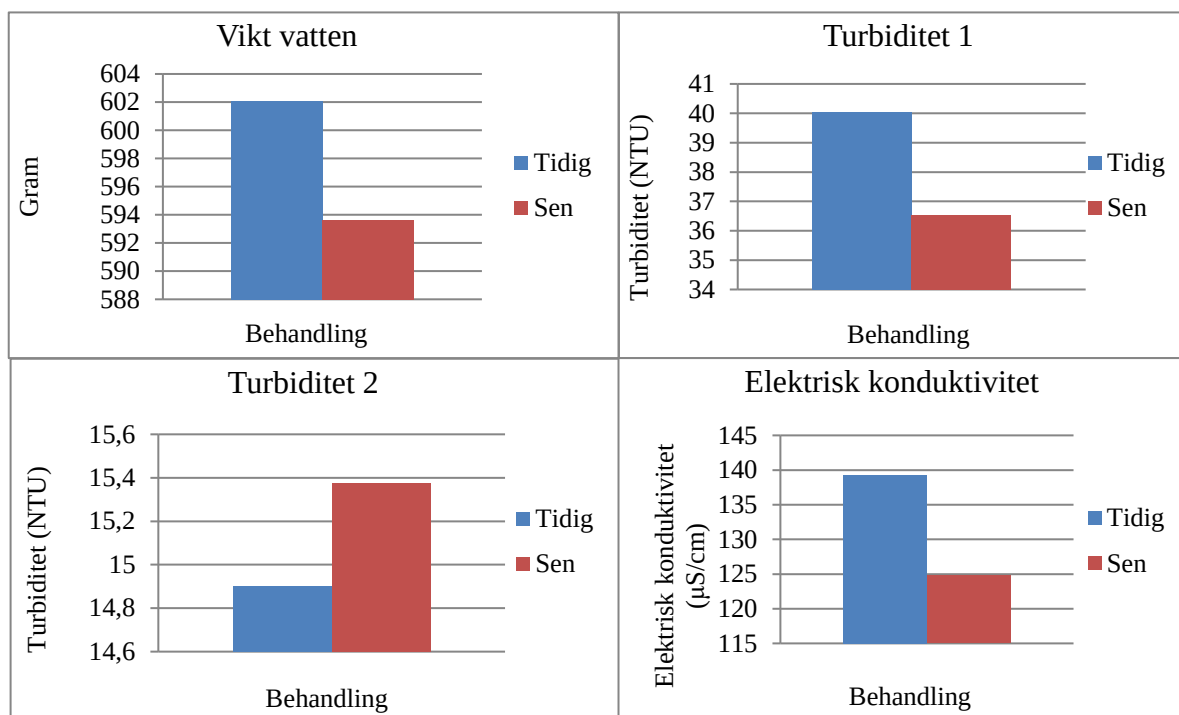
Bilaga 1 LOVA 15 Råbelöv tidpunktsförsök

Aggregatfördelning



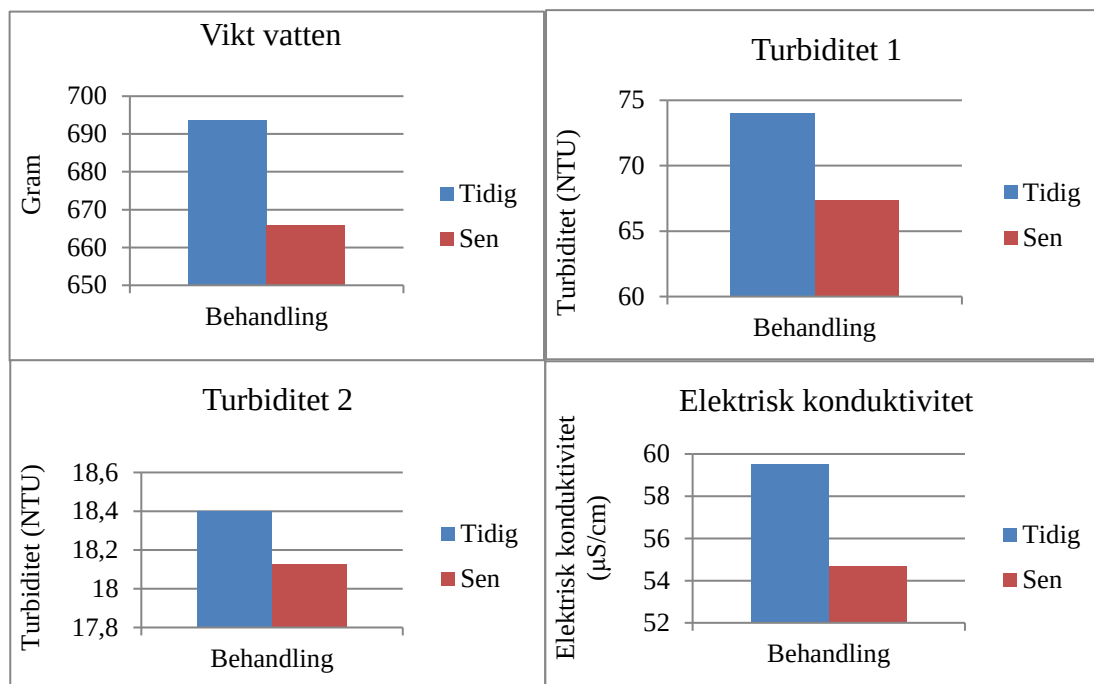
Figur 40. LOVA 15, tidpunktsförsöken (tidig och sen inblandning). Såbäddsundersökning i Råbelöv. Aggregatens fördelning på olika storleksklasser efter jordens sållning genom höstbrukssåll och vårbrukssåll. Sannolikhetsvärdena för de olika aggregaten var följande: 32-64 mm $p = 0,691$, 16-32 mm $p = 0,180$, 8-16 mm $p = 0,372$, <8 mm $p = 0,120$, >5 mm $p = 0,130$, 2-5 mm $p = 0,271$, <2 mm $p = 0,753$. Rel visar att det är omgjort till relativt.

Efter regn 1



Figur 41. LOVA 15, tidpunktsförsöken (tidig och sen inblandning). Det första utlakningsvattnet från Råbelöv. Vikt på vattnet som rann genom aggregatproven, den första och andra turbiditetsmätningen, och den elektriska konduktiviteten.

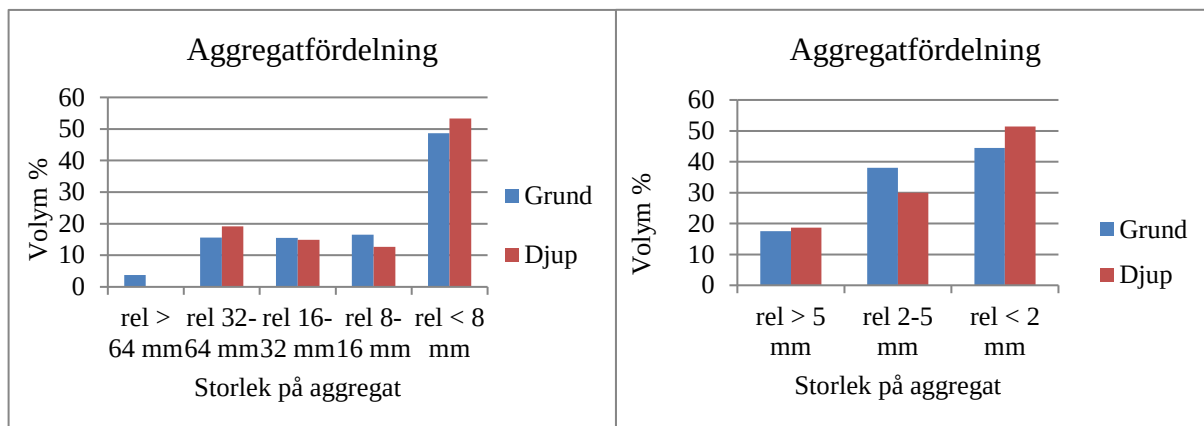
Efter regn 2



Figur 42. LOVA 15, tidpunktsförsöken (tidig och sen inblandning). Det andra utlakningsvattnet från Råbelöv. Vikt på vattnet som rann genom aggregatproven, den första och andra turbiditetsmätningen, och den elektriska konduktiviteten.

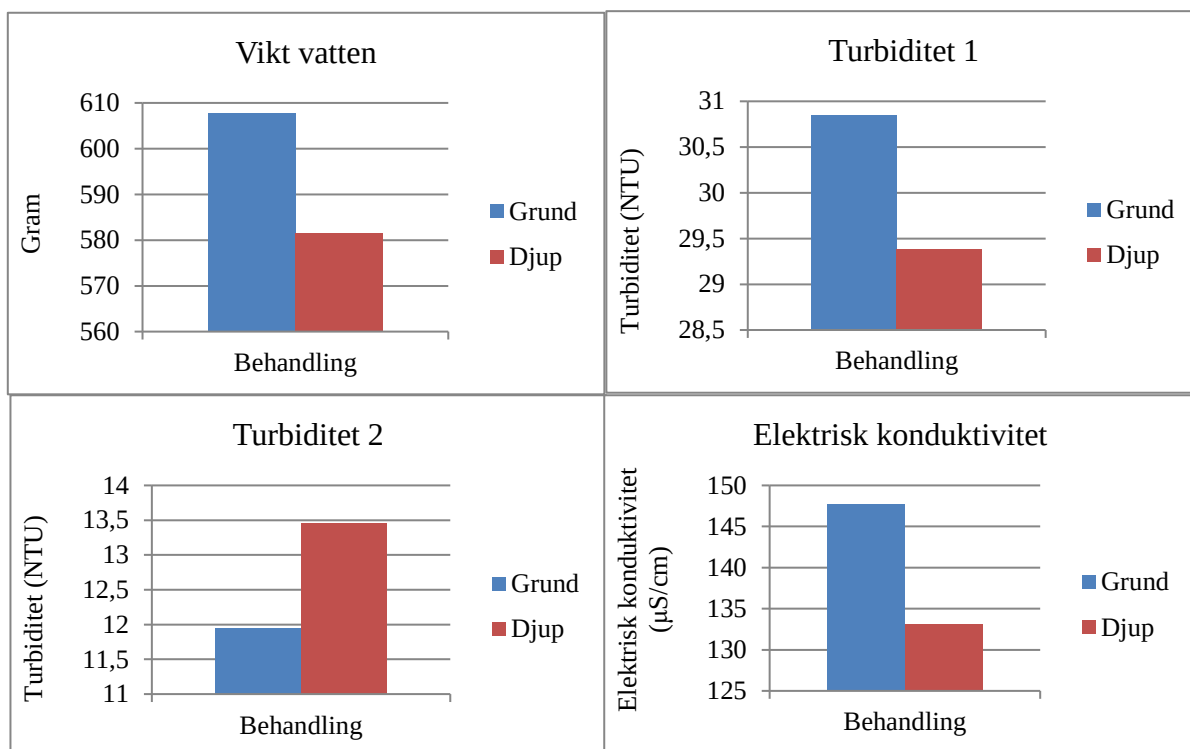
Bilaga 2 LOVA 15 Råbelöv bearbetningsdjupförsök

Aggregatfördelning



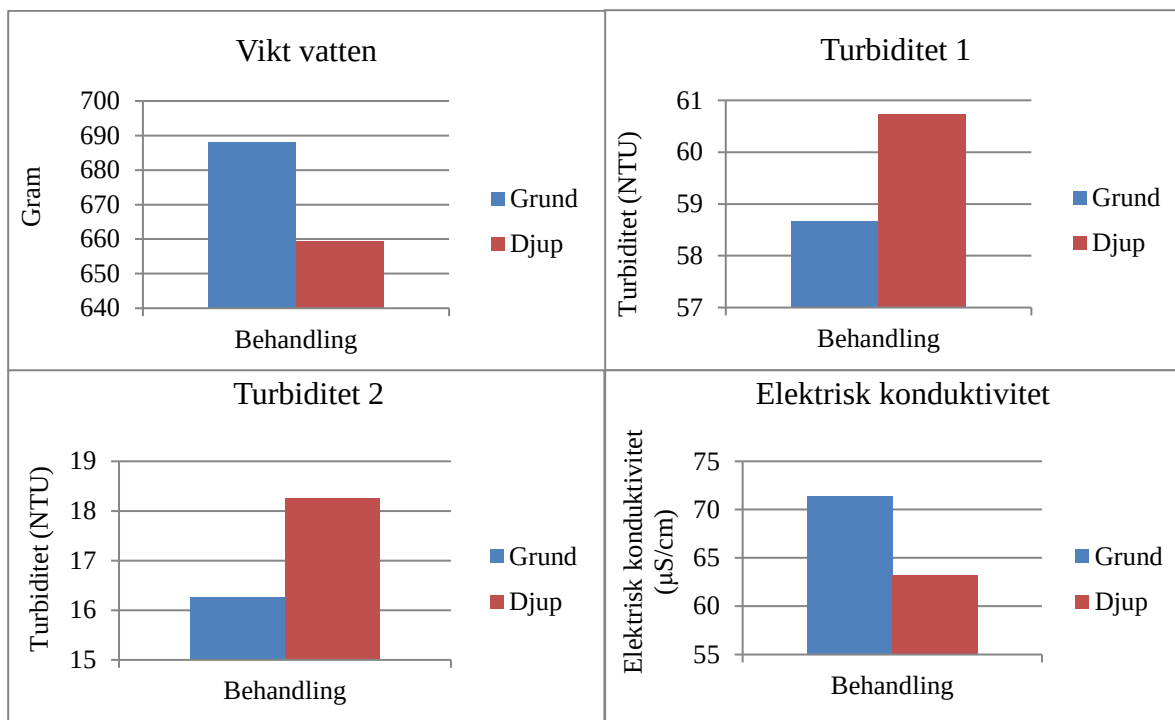
Figur 43. LOVA 15, bearbetningsdjupförsöken (grund och djup inblandning). Såbäddsundersökning vid Råbelöv. Aggregatens fördelning på olika storleksklasser efter jordens sållning genom höstbrukssåll och vårbbrukssåll. Sannolikhetsvärdena för de olika aggregaten var följande: >64 mm $p=0,391$, 32-64 mm $p=0,098$, 16-32 mm $p=0,715$, 8-16 mm $p=0,021$, <8 mm $p=0,387$, >5 mm $p=0,792$, 2-5 mm $p=0,043$, <2 mm $p=0,189$. Rel visar att det är omgjort till relativt.

Efter regn 1



Figur 44. LOVA 15, bearbetningsdjupförsöken (grund och djup inblandning). Det första utlakningsvattnet från Råbelöv. Vikt på vattnet som rann genom aggregatproven, den första och andra turbiditetsmätningen, och den elektriska konduktiviteten.

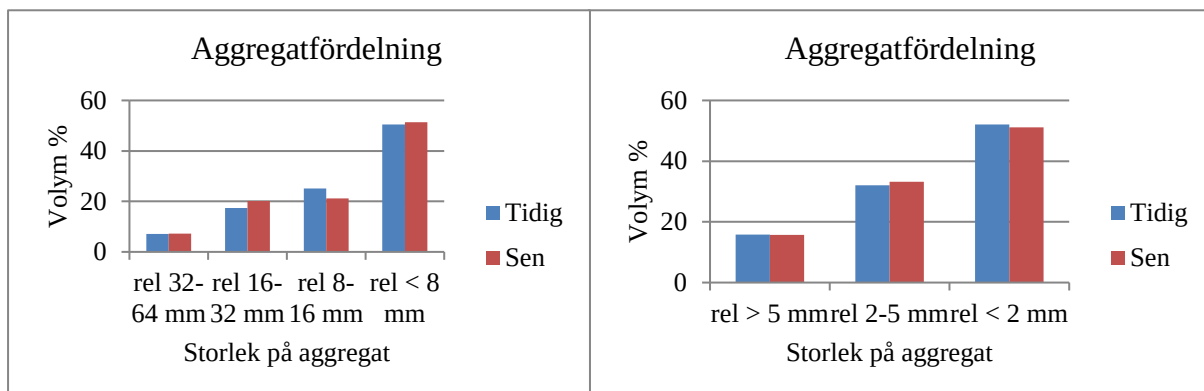
Efter regn 2



Figur 45. LOVA 15, bearbetningsdjupförsöken (grund och djup inblandning). Det andra utlakningsvattnet från Råbelöv bearbetningsförsök, LOVA 15. Vikt på vattnet som rann genom aggregatproven, den första och andra turbiditetsmätningen, och den elektriska konduktiviteten.

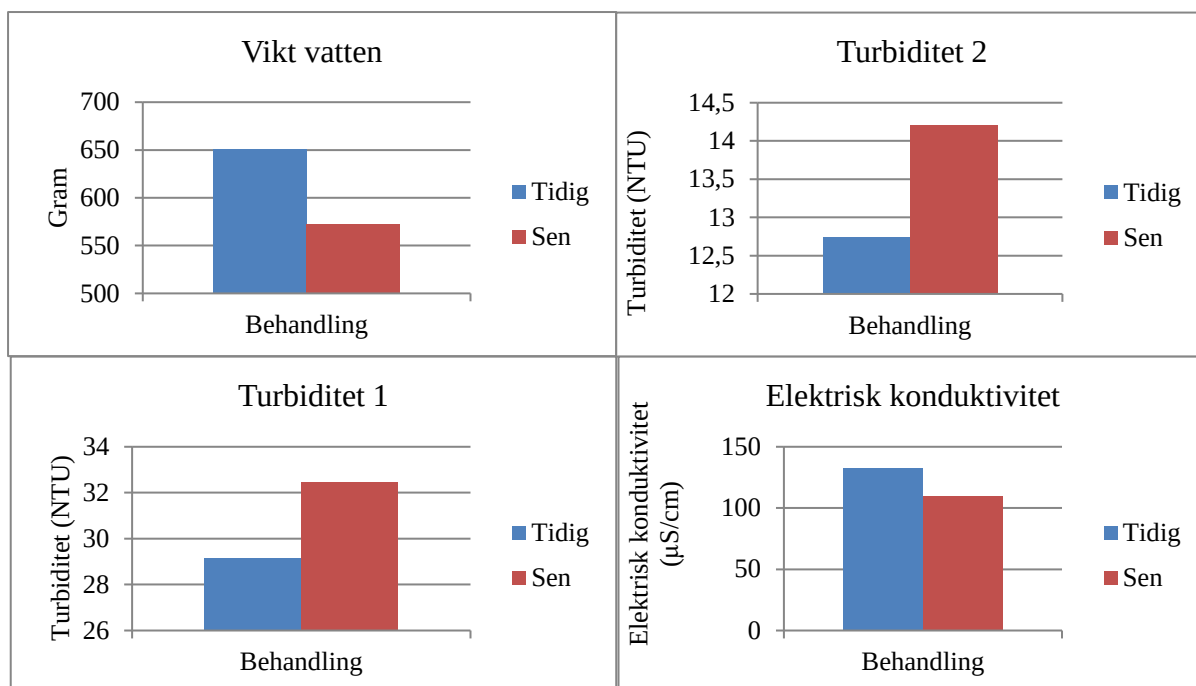
Bilaga 3 LOVA 15 Krapperup tidpunktsförsök

Aggregatfördelning



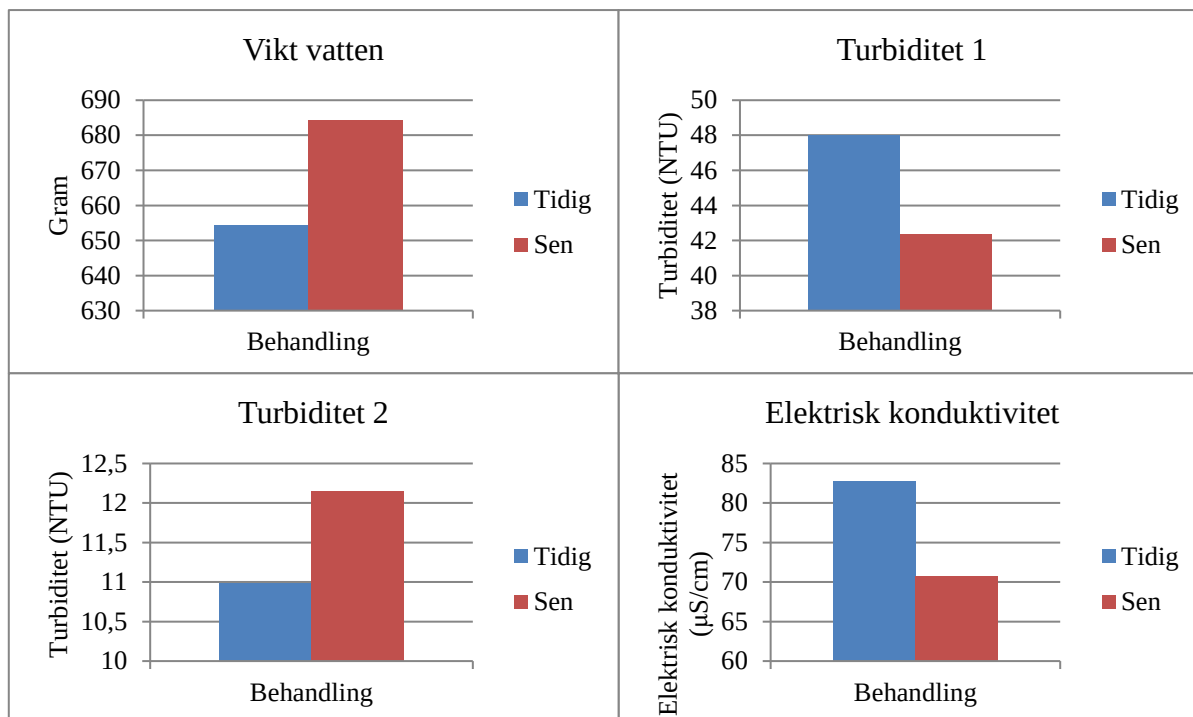
Figur 46. LOVA 15, tidpunktsförsöken (tidig och sen inblandning). Såbäddsundersökning i Krapperup. Aggregatens fördelning på olika storleksklasser efter jordens sållning genom höstbrukssåll och vårbrukssåll. Sannolikhetsvärdena för de olika aggregaten var följande: 32-64 mm $p = 0,960$, 16-32 mm $p = 0,272$, 8-16 mm $p = 0,095$, <8 mm $p = 0,764$, >5 mm $p = 0,957$, 2-5 mm $p = 0,599$, <2 mm $p = 0,806$. Rel visar att det är omgjort till relativt.

Efter regn 1



Figur 47. LOVA 15, tidpunktsförsöken (tidig och sen inblandning). Det första utlakningsvattnet från Krapperup. Vikt på vattnet som rann genom aggregatproven, den första och andra turbiditetsmätningen, och den elektriska konduktiviteten.

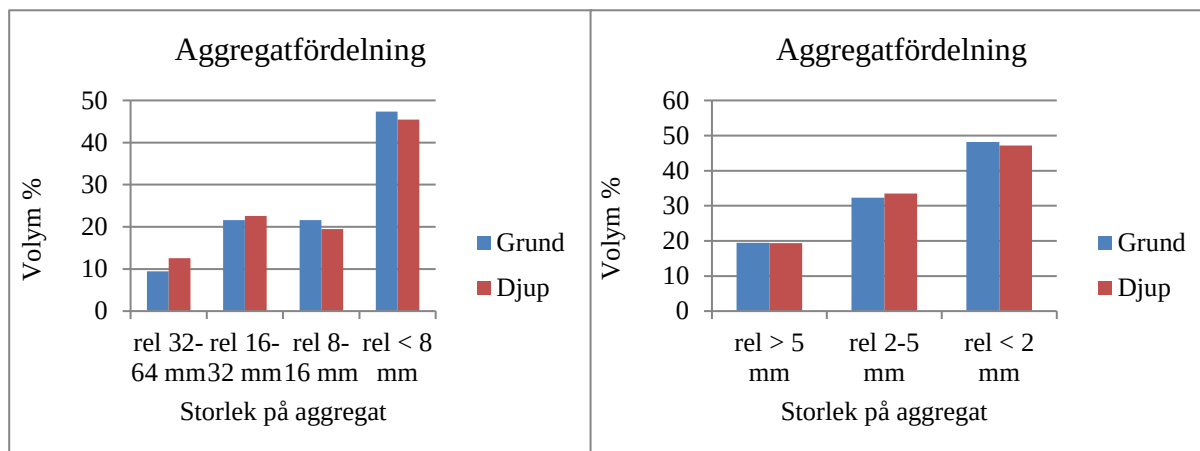
Efter regn 2



Figur 48. LOVA 15, tidpunktsförsöken (tidig och sen inblandning). Det andra utlakningsvattnet från Krapperup. Vikt på vattnet som rann genom aggregatproven, den första och andra turbiditetsmätningen, och den elektriska konduktiviteten.

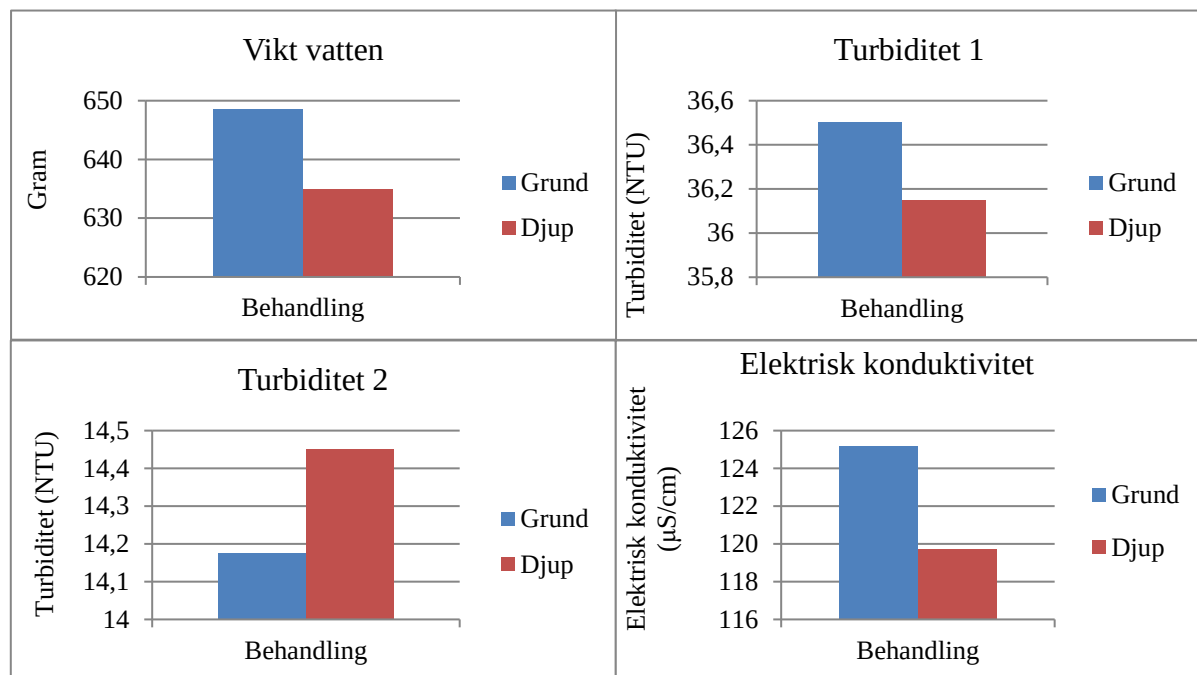
Bilaga 4 LOVA 15 Krapperup bearbetningsdjupförsök

Aggregatfördelning



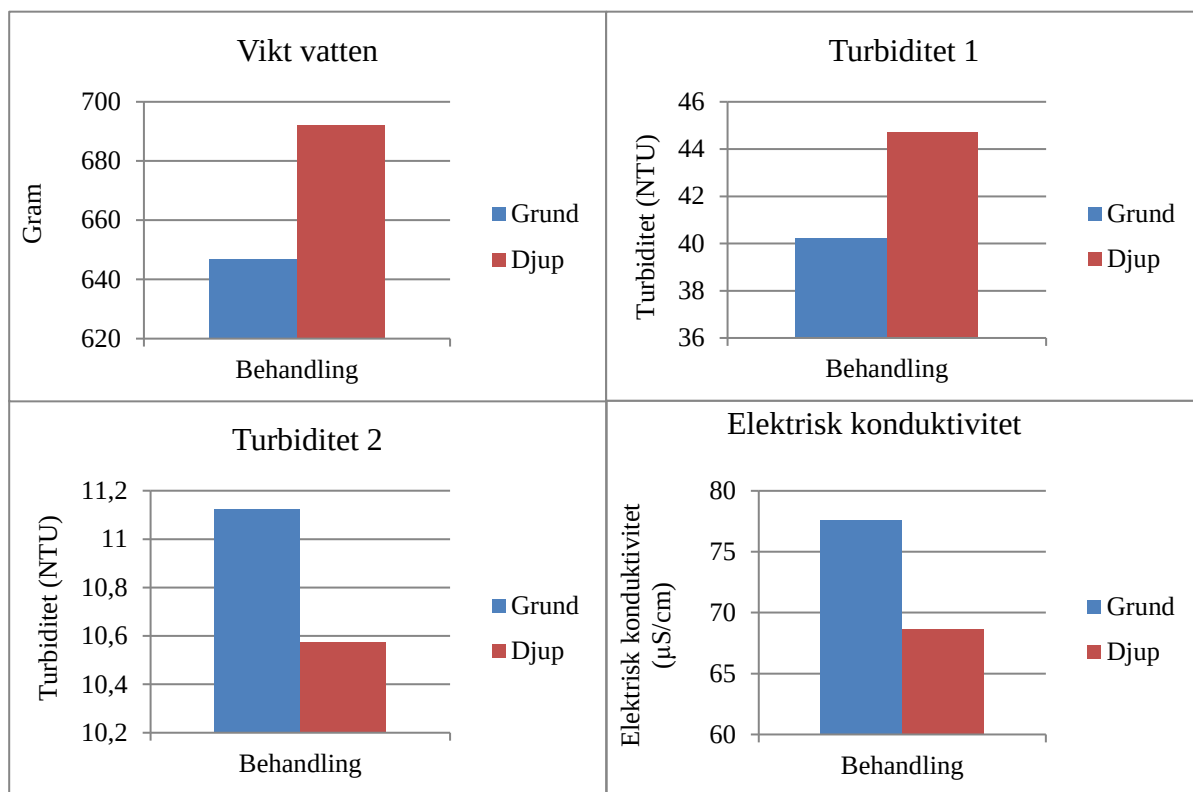
Figur 49. LOVA 15, bearbetningsdjupförsöken (grund och djup inblandning). Såbäddsundersökning vid Krapperup. Aggregatens fördelning på olika storleksklasser efter jordens sållning genom höstbrukssåll och vårbrukssåll. Sannolikhetsvärdena för de olika aggregaten var följande: 32-64 mm $p = 0,087$, 16-32 mm $p = 0,798$, 8-16 mm $p = 0,315$, <8 mm $p = 0,597$, >5 mm $p = 0,957$, 2-5 mm $p = 0,588$, <2 mm $p = 0,630$. Rel visar att det är omgjort till relativt.

Efter regn 1



Figur 50. LOVA 15, bearbetningsdjupförsöken (grund och djup inblandning). Det första utlakningsvattnet från Krapperup. Vikt på vattnet som rann genom aggregatproven, den första och andra turbiditetsmätningen, och den elektriska konduktiviteten.

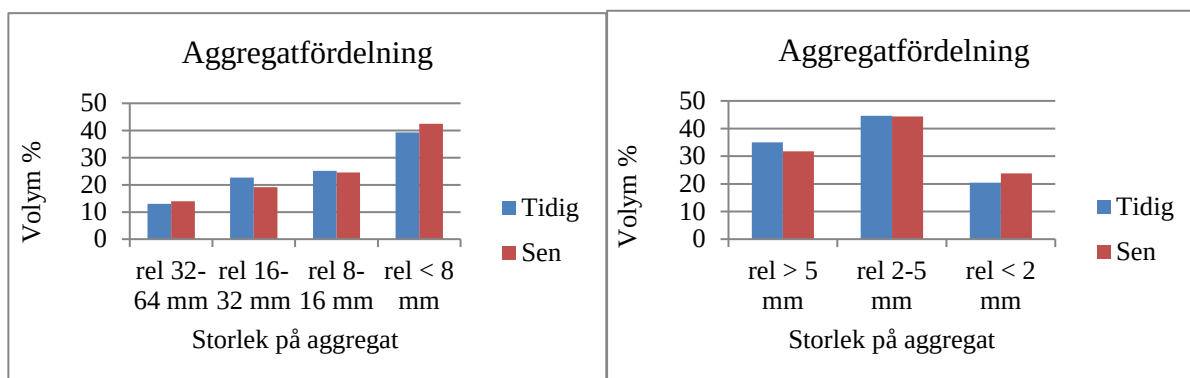
Efter regn 2



Figur 51. LOVA 15, bearbetningsdjupförsöken (grund och djup inblandning). Det andra utlakningsvattnet från Krapperup. Vikt på vattnet som rann genom aggregatproven, den första och andra turbiditetsmätningen, och den elektriska konduktiviteten.

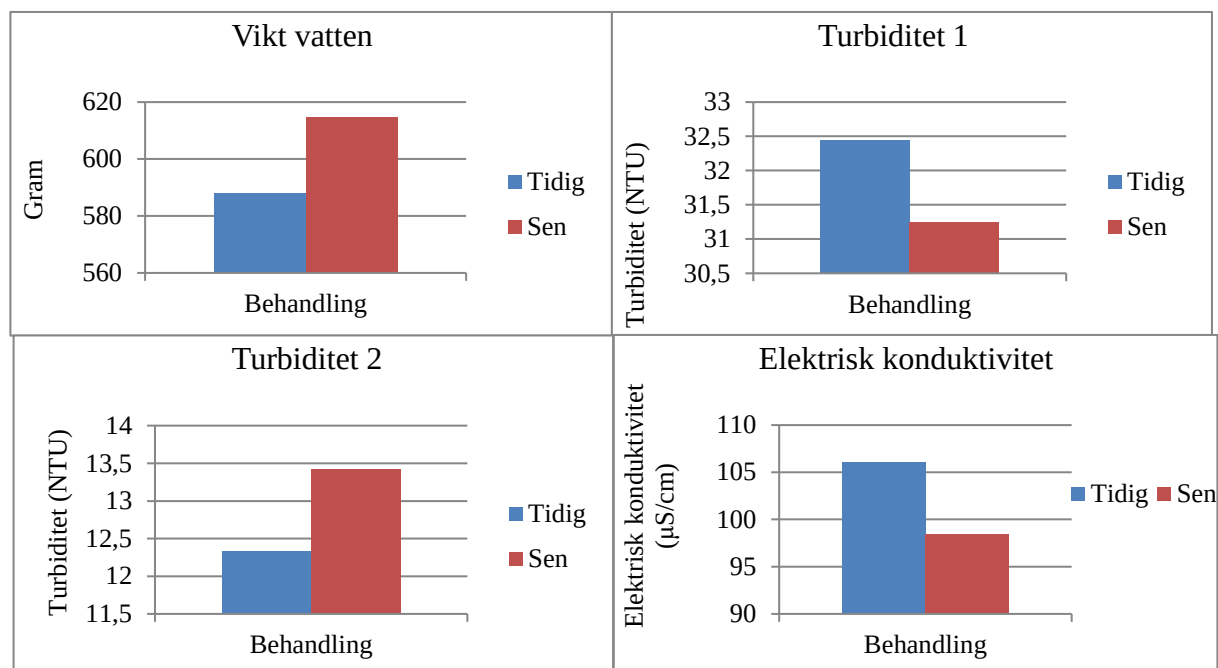
Bilaga 5 LOVA 15 Krageholm tidpunktsförsök

Aggregatfördelning



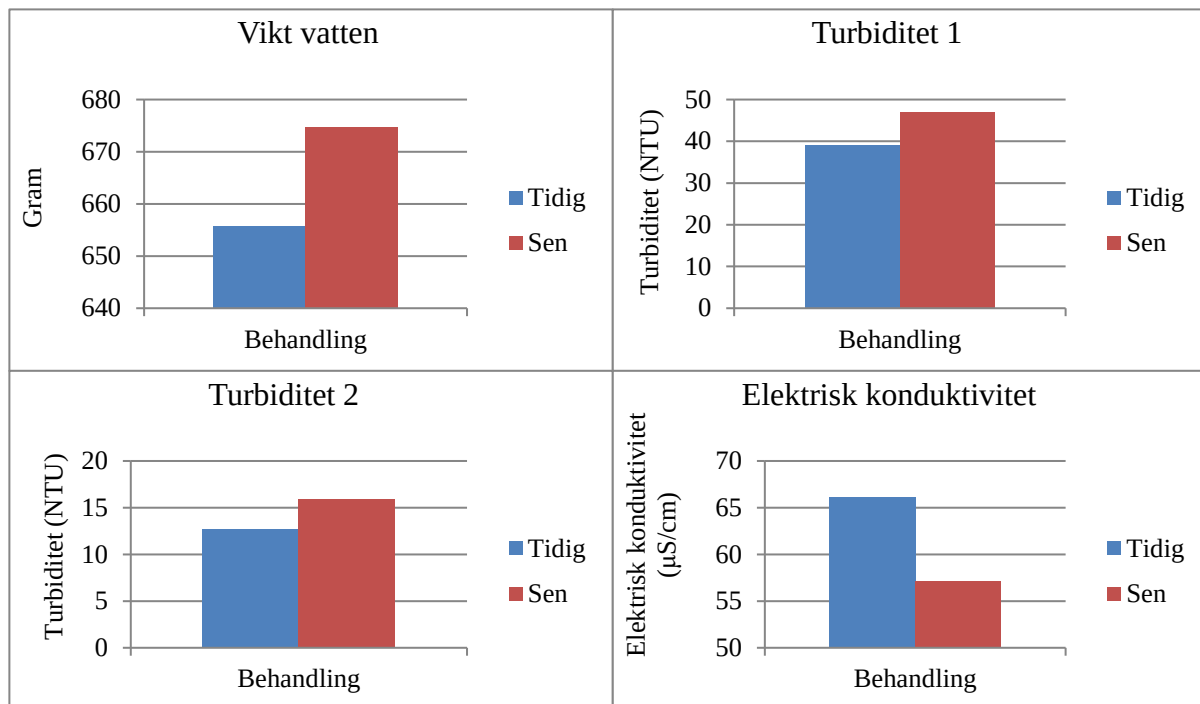
Figur 52. LOVA 15, tidpunktsförsöken (tidig och sen inblandning). Såbäddsundersökning i Krageholm. Aggregatens fördelning på olika storleksklasser efter jordens sållning genom höstbrukssåll och vårbrukssåll. Sannolikhetsvärdena för de olika aggregaten var följande: 32-64 mm $p = 0,881$, 16-32 mm $p = 0,226$, 8-16 mm $p = 0,844$, <8 mm $p = 0,384$, >5 mm $p = 0,098$, 2-5 mm $p = 0,940$, <2 mm $p = 0,383$. Rel visar att det är omgjort till relativt.

Efter regn 1



Figur 53. LOVA 15, tidpunktsförsöken (tidig och sen inblandning). Det första utlakningsvattnet från Krageholm. Vikt på vattnet som rann genom aggregatproven, den första och andra turbiditetsmätningen, och den elektriska konduktiviteten.

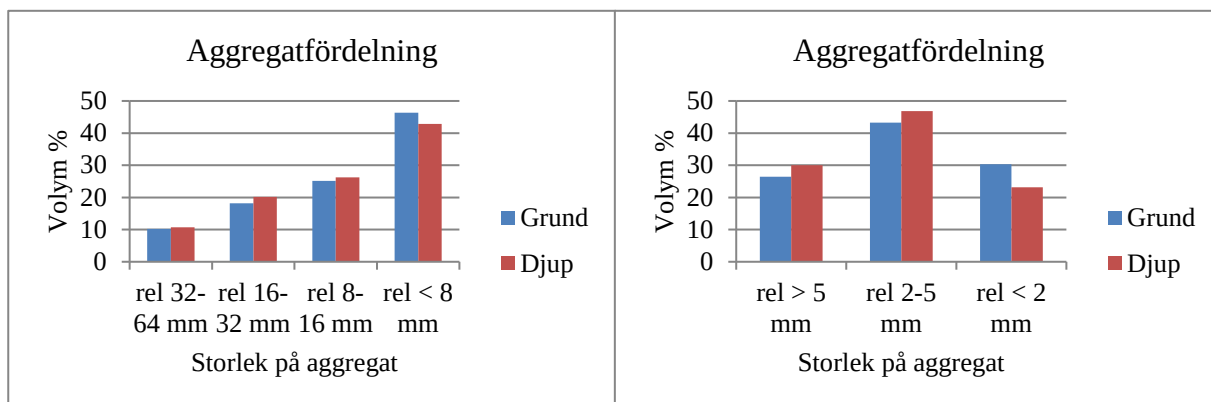
Efter regn 2



Figur 54. LOVA 15, tidpunktsförsöken (tidig och sen inblandning). Det andra utlakningsvattnet från Krageholm. Vikt på vattnet som rann genom aggregatproven, den första och andra turbiditetsmätningen, och den elektriska konduktiviteten.

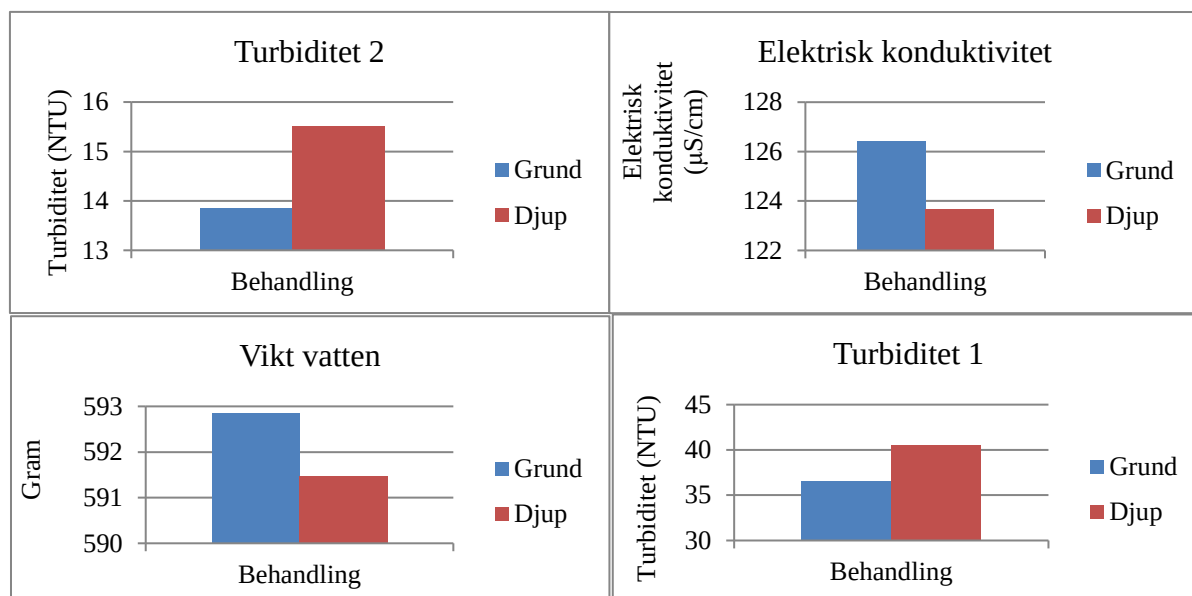
Bilaga 6 LOVA 15 Krageholm bearbetningsdjupförsök

Aggregatfördelning



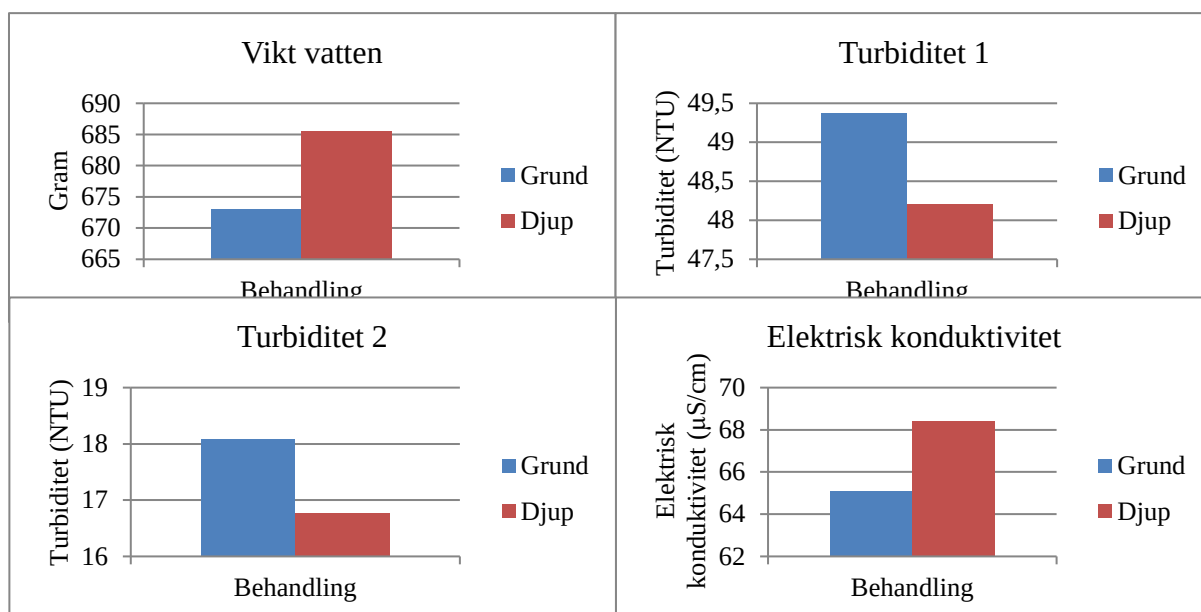
Figur 55. LOVA 15, bearbetningsdjupförsöken (grund och djup inblandning). Såbäddsundersökning i Krageholm. Aggregatens fördelning på olika storleksklasser efter jordens sållning genom höstbrukssåll och vårbrukssåll. Sannolikhetsvärdena för de olika aggregaten var följande: 32-64 mm $p = 0,921$, 16-32 mm $p = 0,108$, 8-16 mm $p = 0,686$, <8 mm $p = 0,090$, >5 mm $p = 0,114$, 2-5 mm $p = 0,230$, <2 mm $p = 0,081$. Rel visar att det är omgjort till relativtal.

Efter regn 1



Figur 56. LOVA 15, bearbetningsdjupförsöken (grund och djup inblandning). Det första utlagningsvattnet från Krageholm. Vikt på vattnet som rann genom aggregatproven, den första och andra turbiditetsmätningen, och den elektriska konduktiviteten.

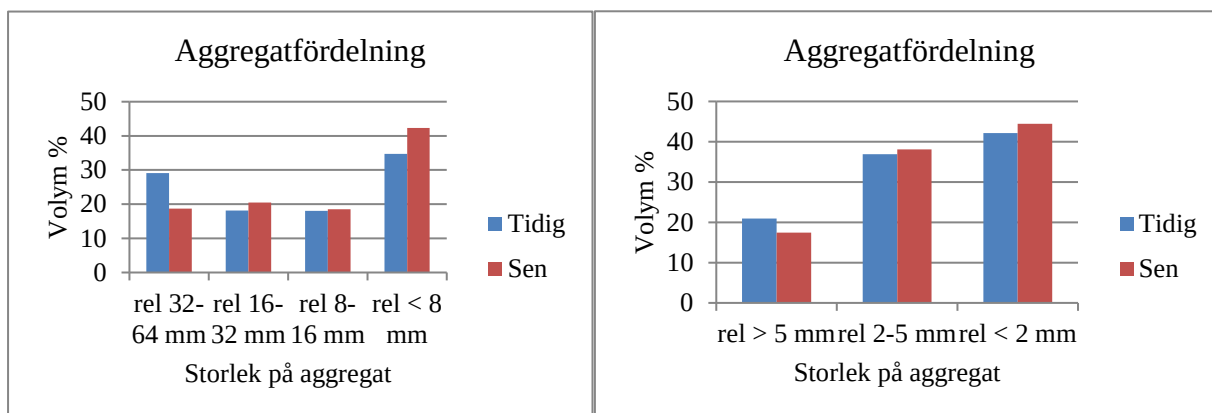
Efter regn 2



Figur 57. LOVA 15, bearbetningsdjupförsöken (grund och djup inblandning). Det andra utlakningsvattnet från Krageholm. Vikt på vattnet som rann genom aggregatproven, den första och andra turbiditetsmätningen, och den elektriska konduktiviteten.

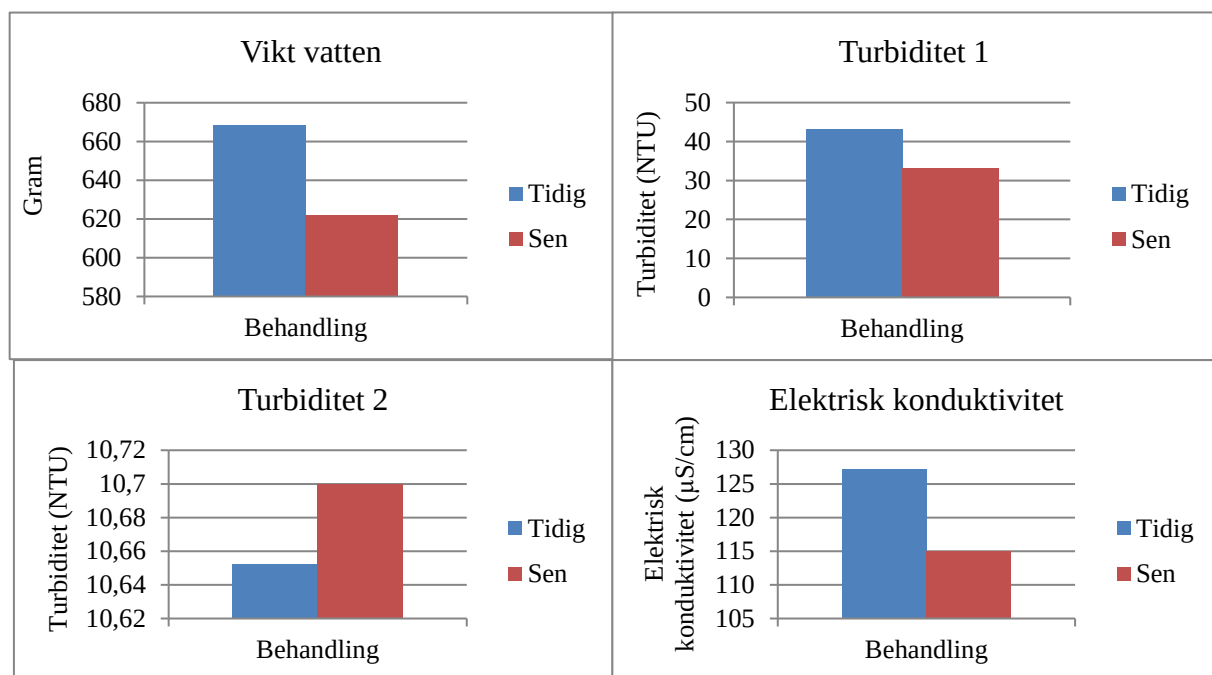
Bilaga 7 LOVA 15 Kornheddinge tidpunktsförsök

Aggregatfördelning



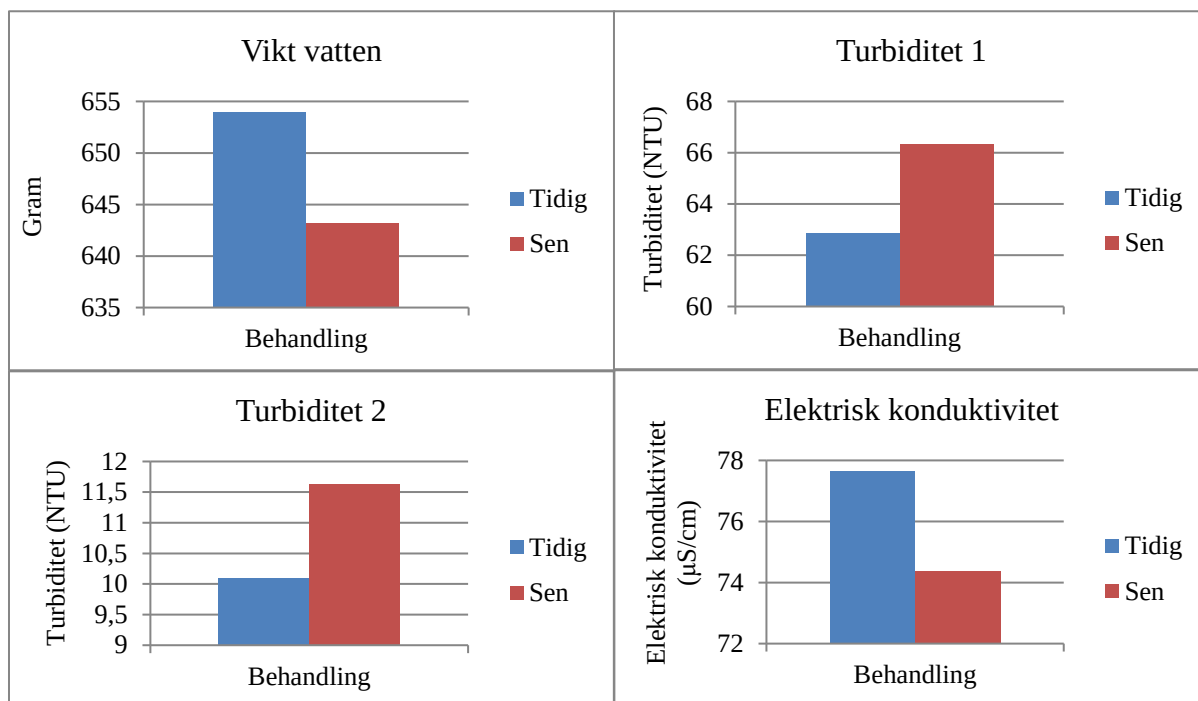
Figur 58. LOVA 15, tidpunktsförsöken (tidig och sen inblandning). Såbäddsundersökning i Kornheddinge. Aggregatens fördelning på olika storleksklasser efter jordens sållning genom höstbrukssåll och vårbbrukssåll. Sannolikhetsvärdena för de olika aggregaten var följande: 32-64 mm $P=0,121$. 16-32 mm $P=0,220$. 8-16 mm $P=0,845$. <8 mm $P=0,035$. >5 mm $P=0,001$. 2-5 mm $P=0,694$. <2 mm $P=0,499$. Rel visar att det är omgjort till relativt.

Efter regn 1



Figur 59. LOVA 15, tidpunktsförsöken (tidig och sen inblandning). Det första utlakningsvattnet från Kornheddinge. Vikt på vattnet som rann genom aggregatproven, den första och andra turbiditetsmätningen, och den elektriska konduktiviteten.

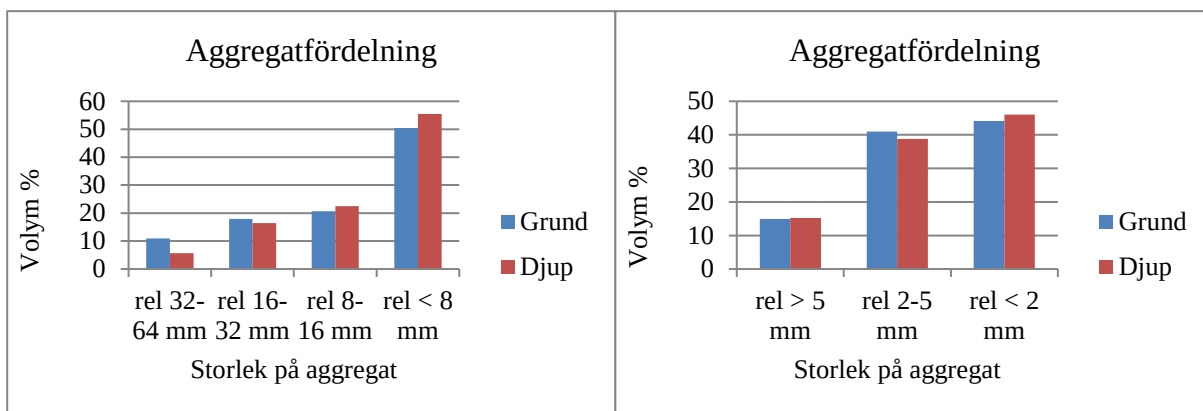
Efter regn 2



Figur 60. LOVA 15, tidpunktsförsöken (tidig och sen inblandning). Det andra utlakningsvattnet från Kornheddinge. Vikt på vattnet som rann genom aggregatproven, den första och andra turbiditetsmätningen, och den elektriska konduktiviteten.

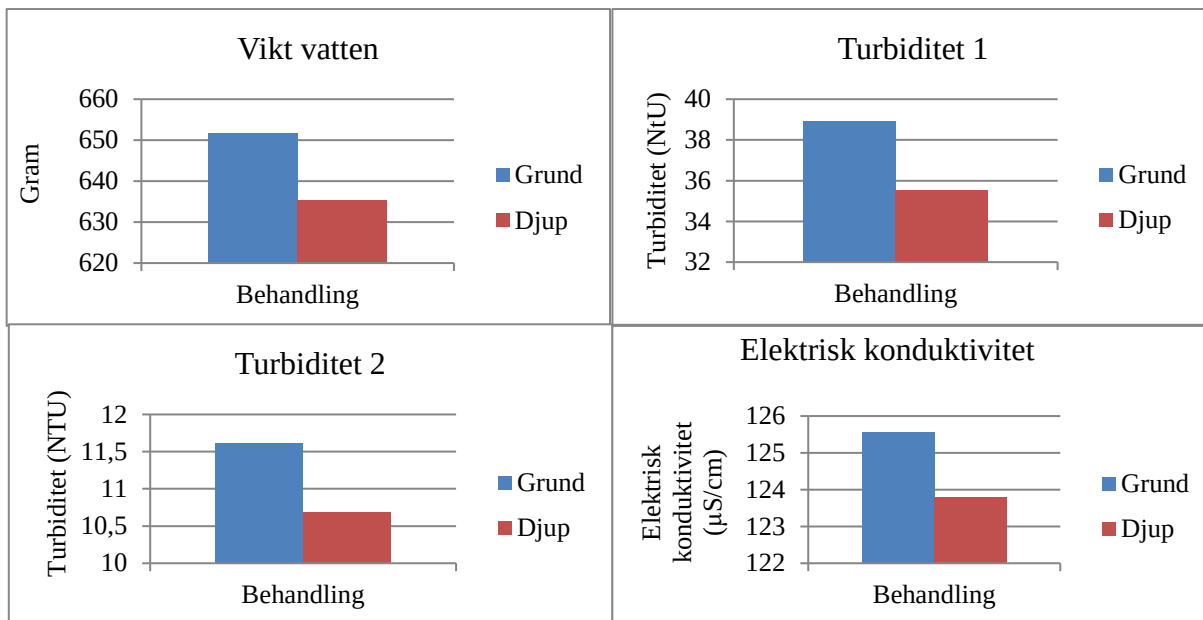
Bilaga 8 LOVA 15 Kornheddinge bearbetningsdjupförsök

Aggregatfördelning



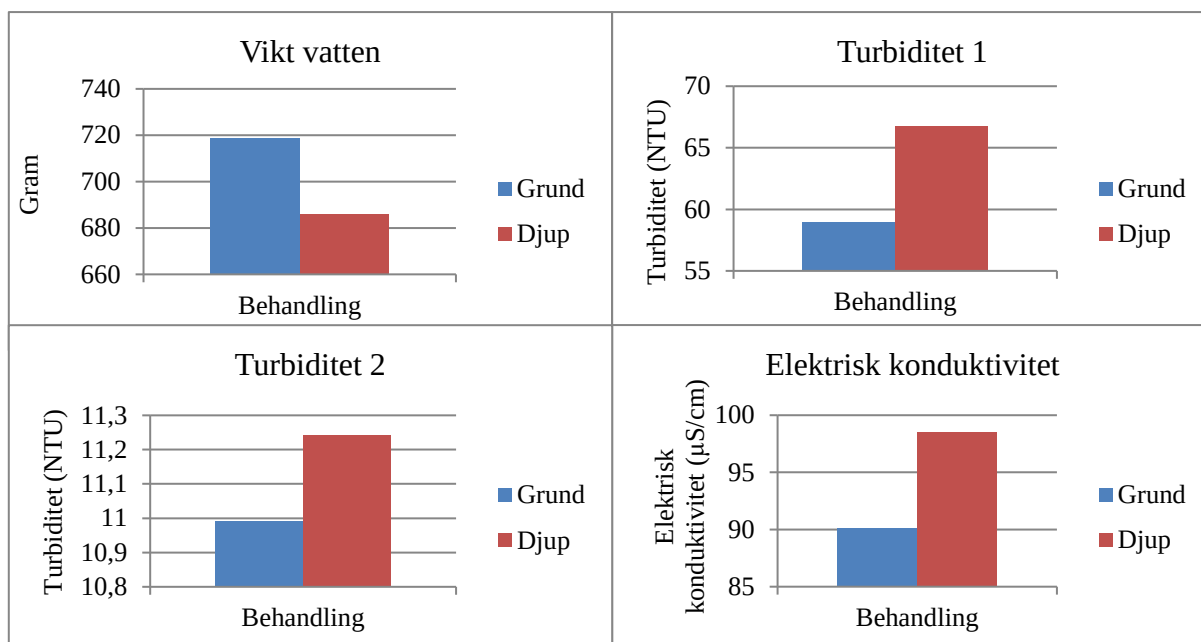
Figur 61. LOVA 15, bearbetningsdjupförsöken (grund och djup inblandning). Såbäddsundersökning i Kornheddinge. Aggregatens fördelning på olika storleksklasser efter jordens sållning genom höstbrukssåll och vårbrukssåll. Sannolikhetsvärdena för de olika aggregaten var följande: 32-64 mm $p = 0,028$, 16-32 mm $p = 0,333$, 8-16 mm $p = 0,281$, <8 mm $p = 0,023$, >5 mm $p = 0,839$, 2-5 mm $p = 0,353$, <2 mm $p = 0,505$. Rel visar att det är omgjort till relativtal.

Efter regn 1



Figur 62. LOVA 15, bearbetningsdjupförsöken (grund och djup inblandning). Det första utlakningsvattnet från Kornheddinge. Vikt på vattnet som rann genom aggregatproven, den första och andra turbiditetsmätningen, och den elektriska konduktiviteten.

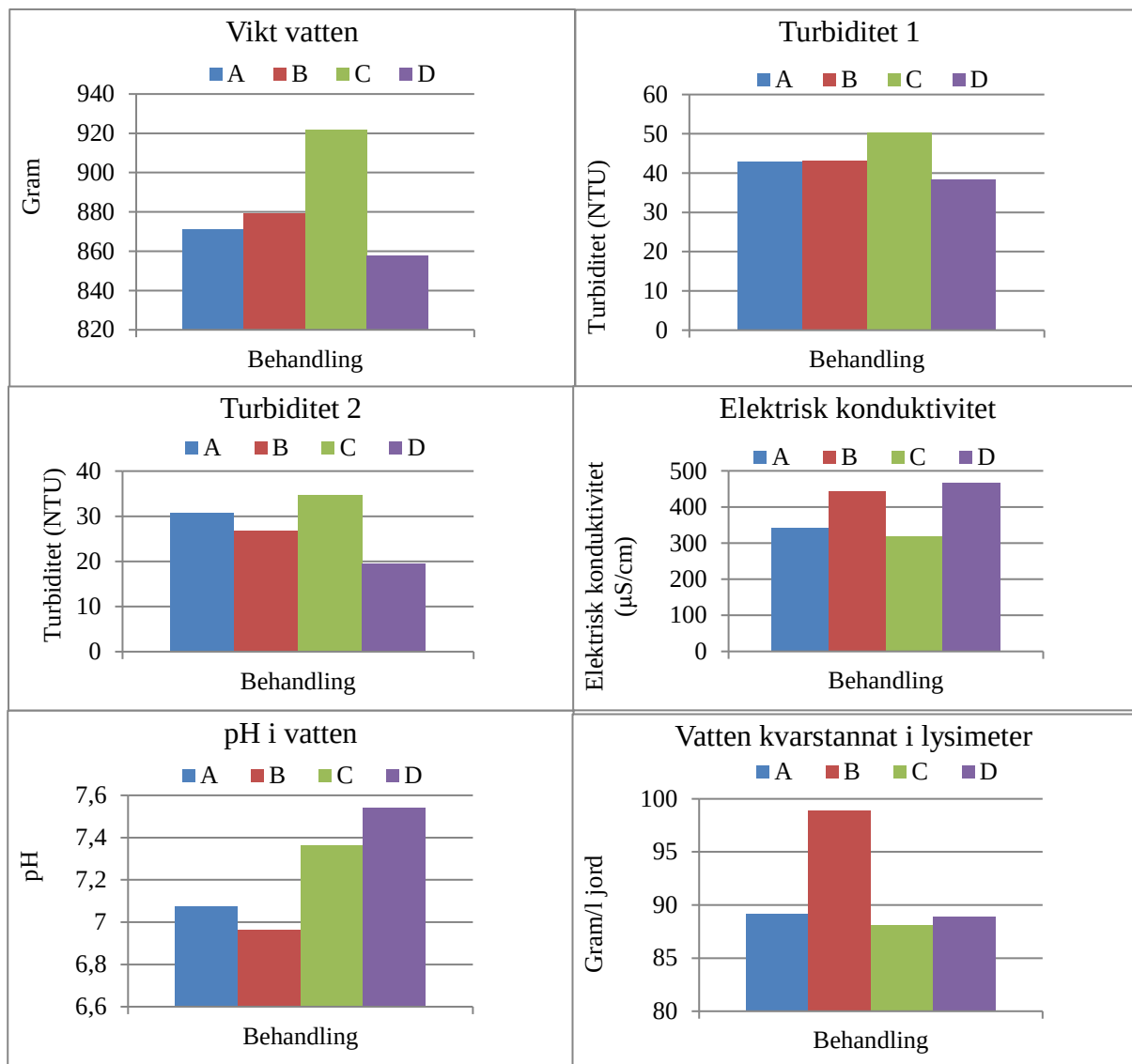
Efter regn 2



Figur 63. LOVA 15, bearbetningsdjupförsöken (grund och djup inblandning). Det andra utlakningsvattnet från Kornheddinge. Vikt på vattnet som rann genom aggregatproven, den första och andra turbiditetsmätningen, och den elektriska konduktiviteten.

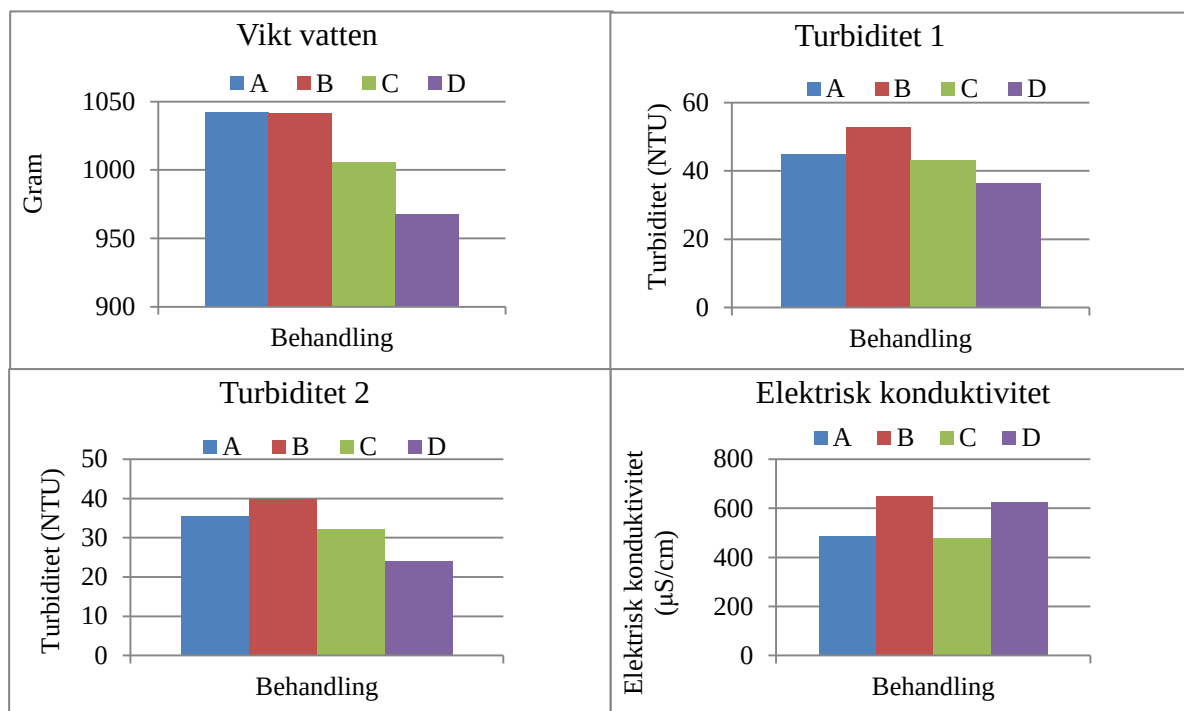
Bilaga 9 LOVA 14 Lönhult B1

Efter regn 1



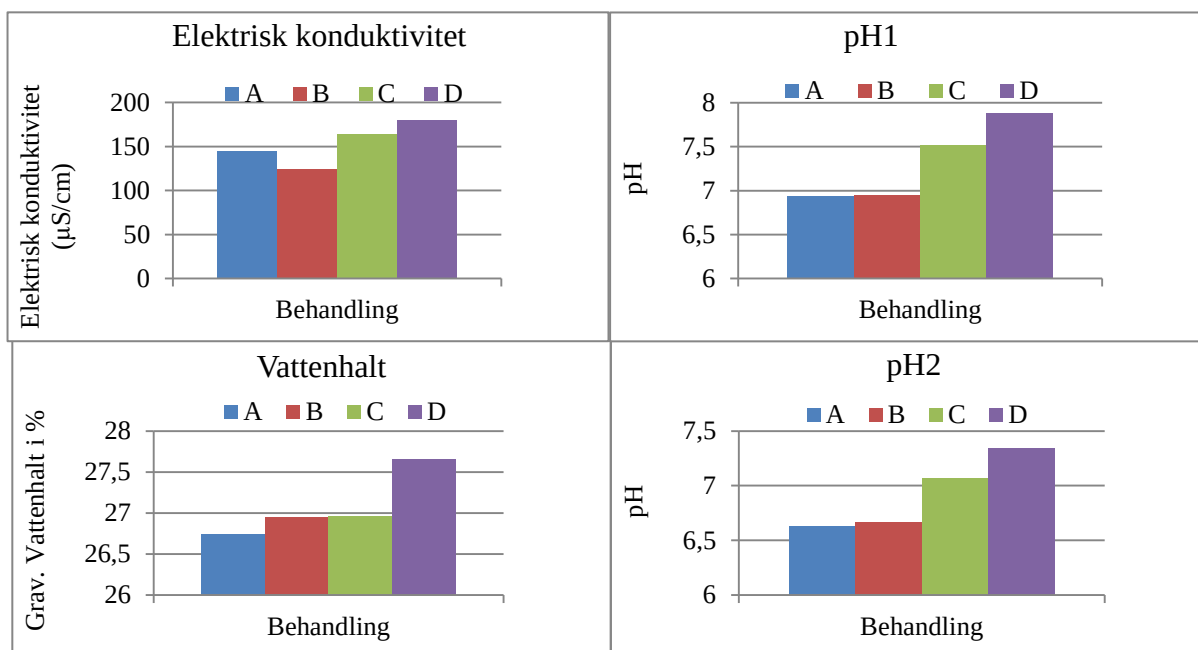
Figur 64. LOVA 14 försök med olika kalkgivor. A=obehandlad ruta, B=4 ton/ha strukturkalk, C=8 ton/ha strukturkalk och D=16 ton/ha strukturkalk. Resultat från det första utlakningsvattnet från lysimetrarna. Lönhult B1. Vikten av utlakningsvattnet, den första och andra turbiditetsmätningen, elektrisk konduktivitet, pH i vattnet och vattnet som kvarstannade i lysimetrarna efter simuleringen.

Efter regn 2



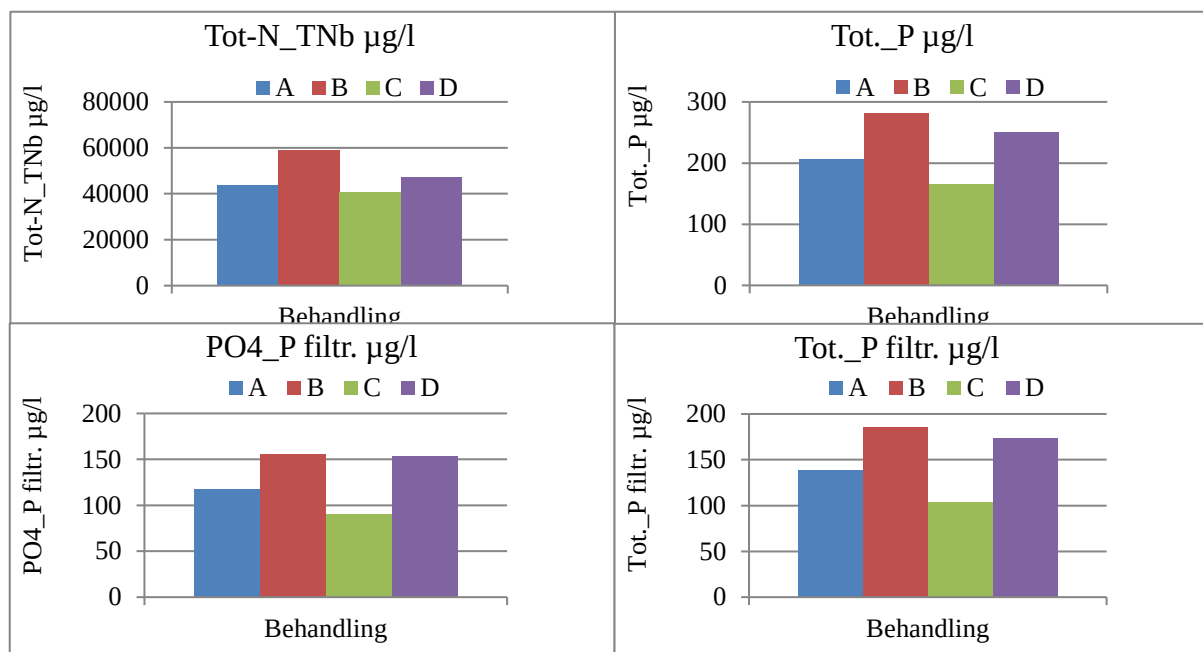
Figur 65. LOVA 14 försök med olika kalkgivor. A=obehandlad ruta, B=4 ton/ha strukturkalk, C=8 ton/ha strukturkalk och D=16 ton/ha strukturkalk. Resultat från det andra utlakningsvattnet från lysimetrarna. Lönhult B1. Vikten av utlakningsvattnet, den första och andra turbiditetsmätningen och elektrisk konduktivitet.

Jordprov



Figur 66. LOVA 14 försök med olika kalkgivor. A=obebehandlad ruta, B=4 ton/ha strukturkalk, C=8 ton/ha strukturkalk och D=16 ton/ha strukturkalk. Resultatet från jordproven från lysimetrarna. Lönhult B1. Den elektriska konduktiviteten, den första pH-provtagningen, vattenhalten och den andra pH-provtagningen.

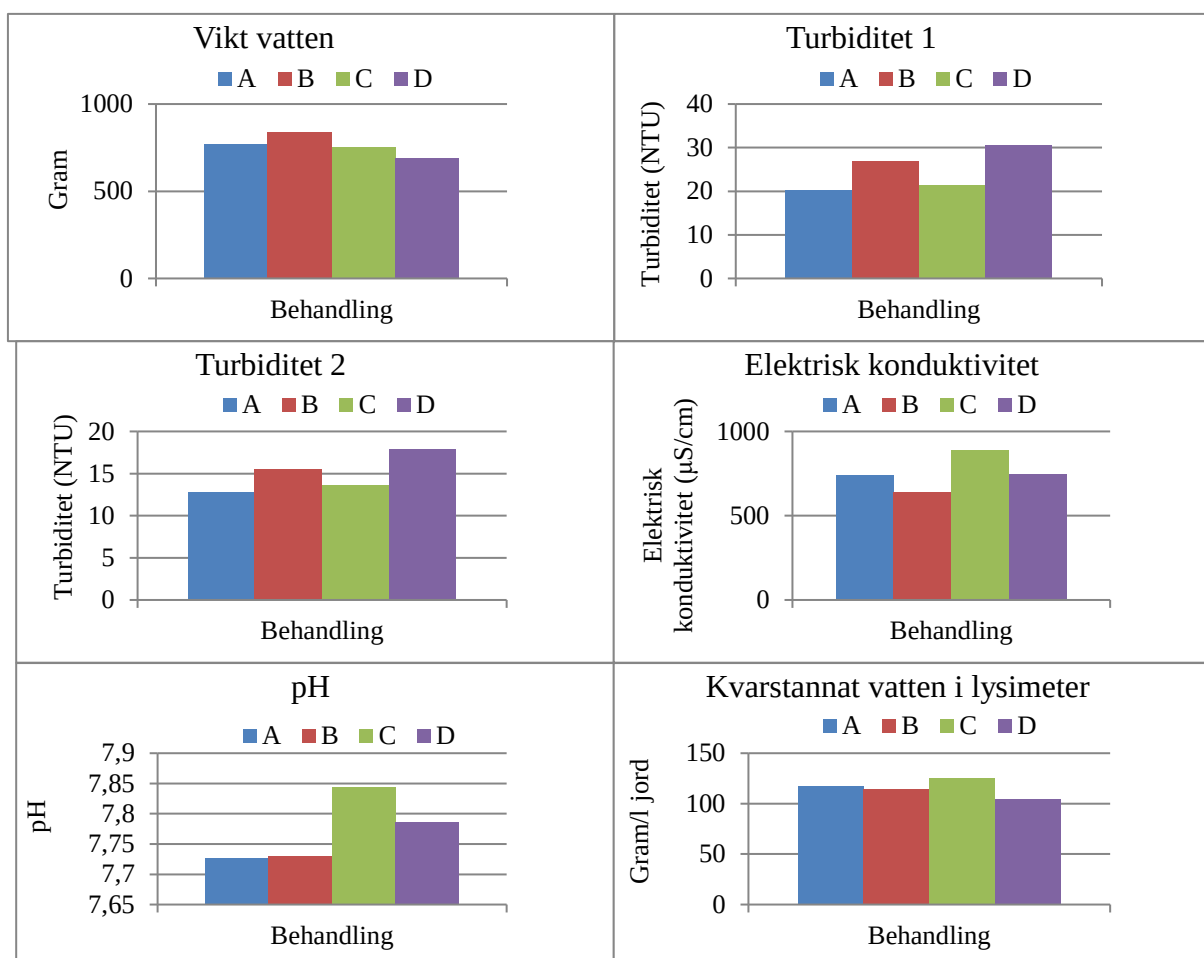
Näringsinnehåll i vatten



Figur 67. LOVA 14 försök med olika kalkgivor. A=obehandlad ruta, B=4 ton/ha strukturkalk, C=8 ton/ha strukturkalk och D=16 ton/ha strukturkalk. Resultatet från näringsanalysen. Lönhult B1. Totalkväve, totalfosfor, fosfatfosfor och filtrerat totalfosfor.

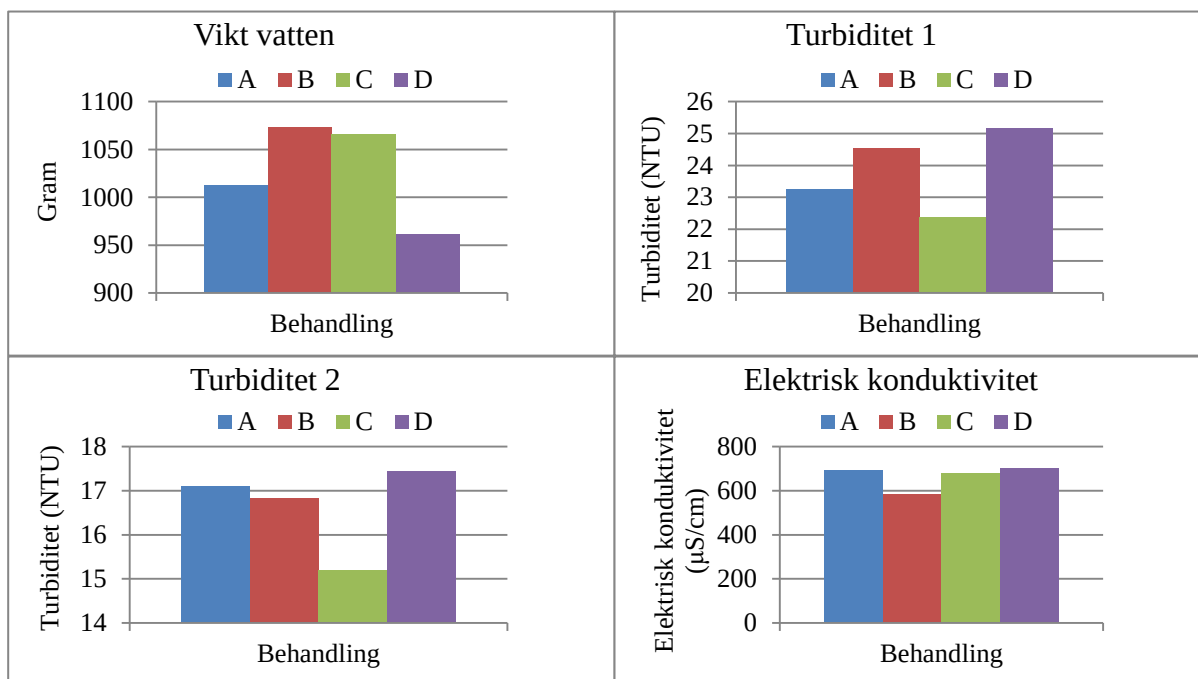
Bilaga 10 LOVA 14 Lönhult B4

Efter regn 1

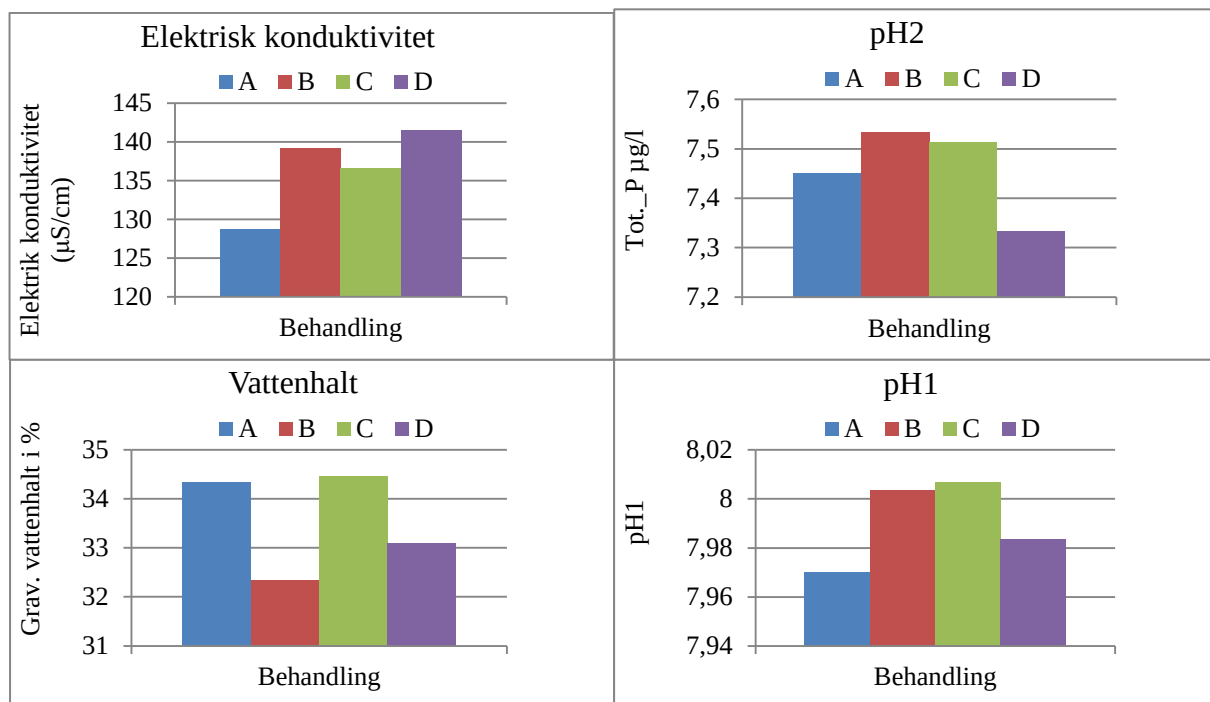


Figur 68. LOVA 14 försök med olika kalkgivor. A=obehandlad ruta, B=4 ton/ha strukturkalk, C=8 ton/ha strukturkalk och D=16 ton/ha strukturkalk. Resultat från det första utlakningsvattnet från lysimetrarna. Lönhult B4. Vikten av utlakningsvattnet, den första och andra turbiditetsmätningen, elektrisk konduktivitet, pH i vattnet och vattnet som kvarstannade i lysimetrarna efter simuleringen.

Efter regn 2

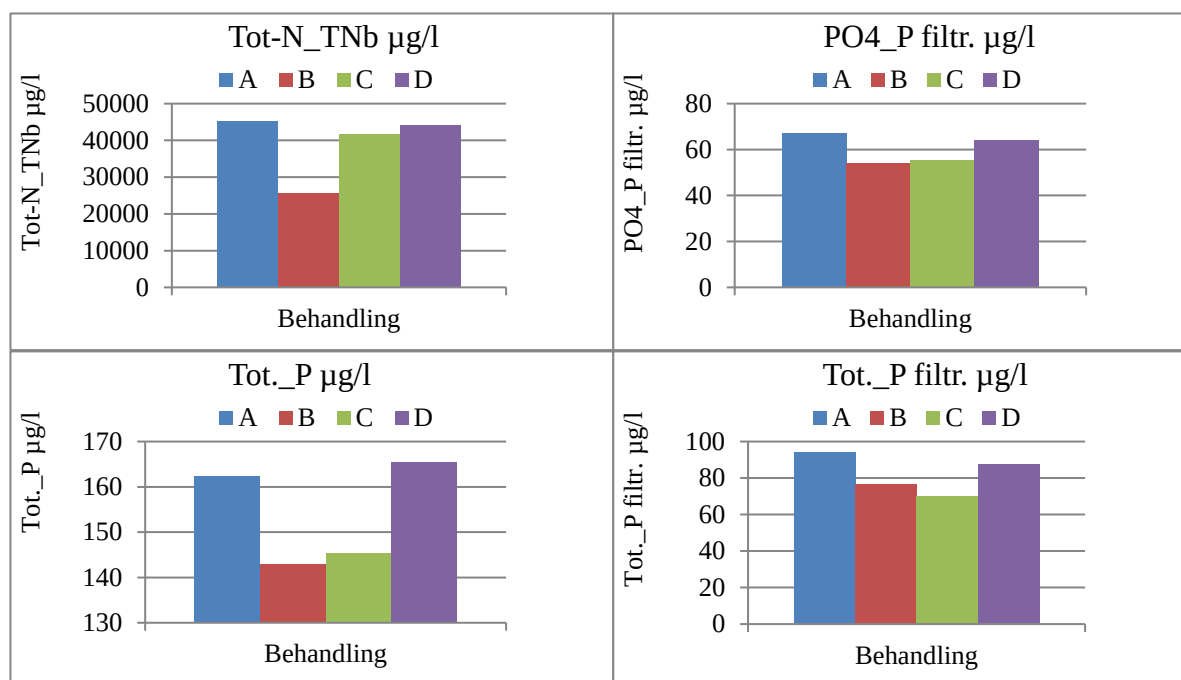


Figur 69. LOVA 14 försök med olika kalkgivor. A=obebehandlad ruta, B=4 ton/ha strukturkalk, C=8 ton/ha strukturkalk och D=16 ton/ha strukturkalk. Resultat från det andra utlakningsvattnet från lysimetrarna. Lönhult B4. Vikten av utlakningsvattnet, den första och andra turbiditetsmätningen och elektrisk konduktivitet.



Figur 70. LOVA 14 försök med olika kalkgivor. A=obehandlad ruta, B=4 ton/ha strukturkalk, C=8 ton/ha strukturkalk och D=16 ton/ha strukturkalk. Resultatet från jordproven från lysimetrarna. Lönhult B4. Den elektriska konduktiviteten, den första pH-provtagningen, vattenhalten och den andra pH-provtagningen.

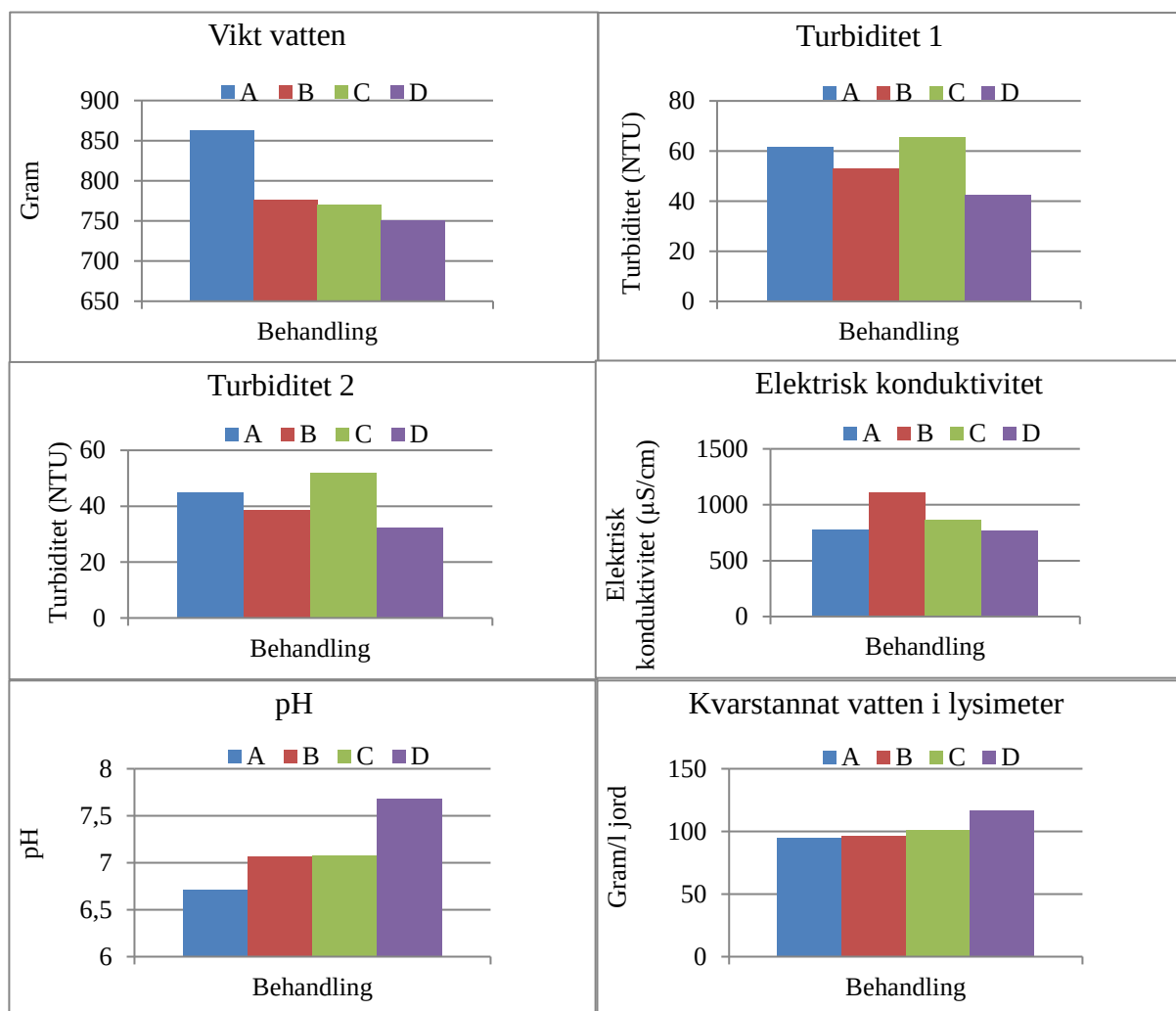
Näringsinnehåll i vatten



Figur 71. LOVA 14 försök med olika kalkgivor. A=obehandlad ruta, B=4 ton/ha strukturkalk, C=8 ton/ha strukturkalk och D=16 ton/ha strukturkalk. Resultatet från näringsanalysen. Lönhult B4. Totalkväve, totalfosfor, fosfatfosfor och filtrerat totalfosfor.

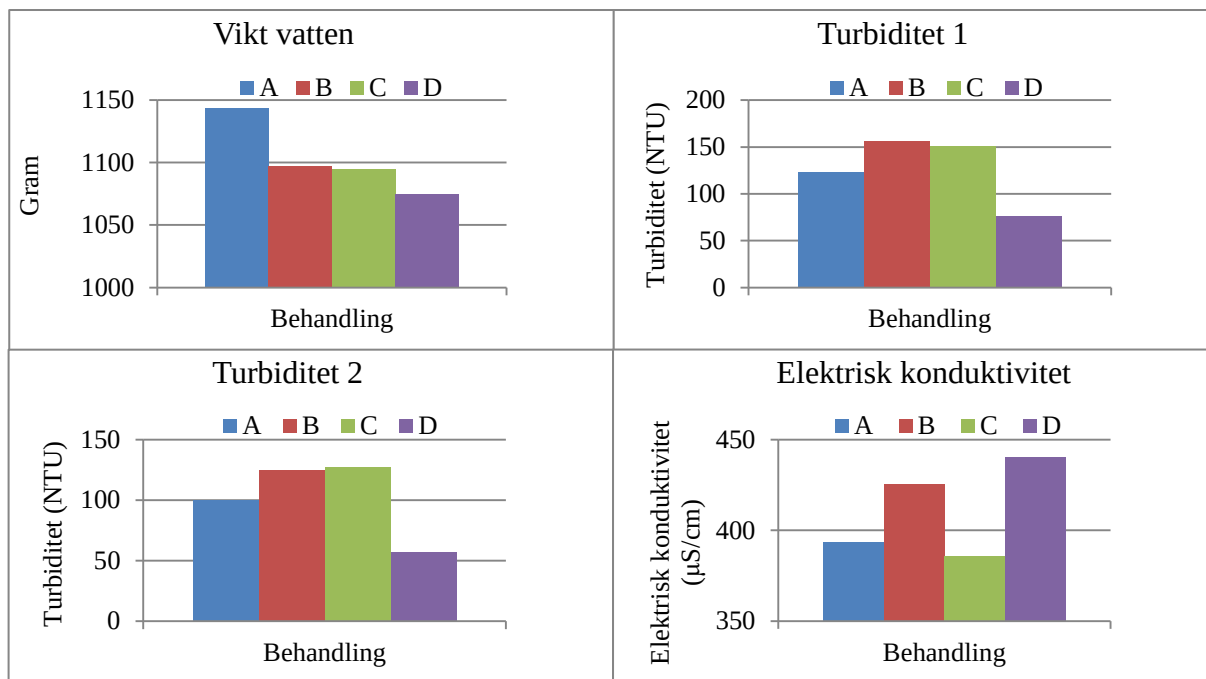
Bilaga 11 LOVA 14 Vadensjö C1

Efter regn 1



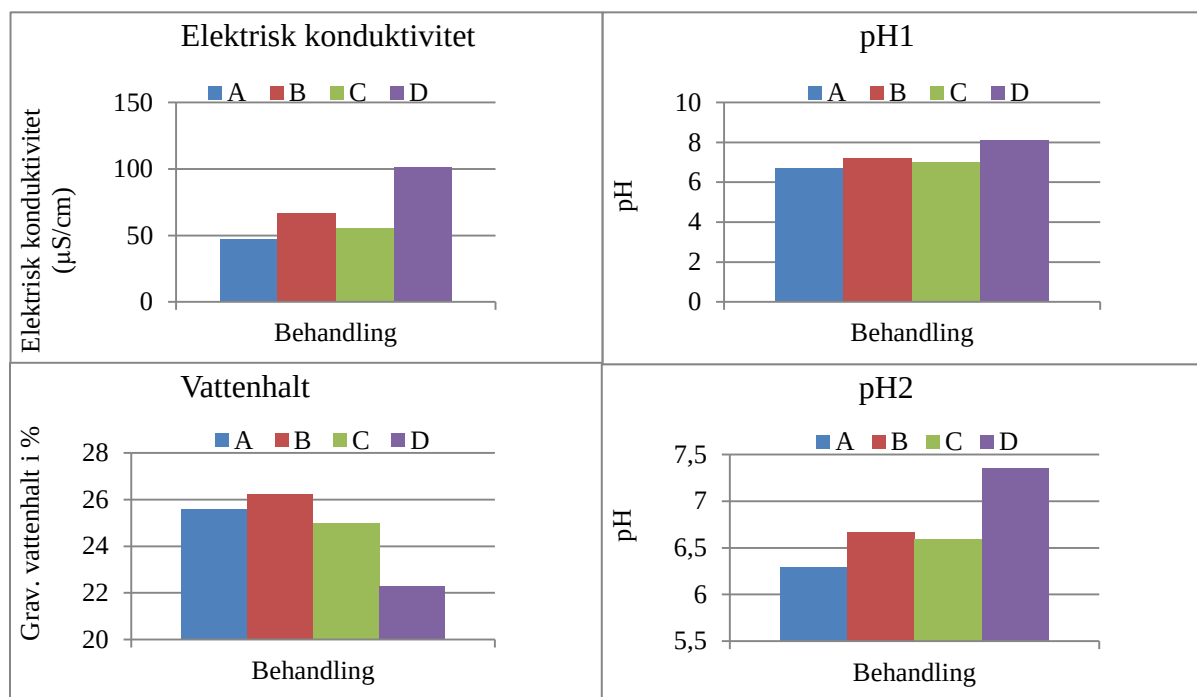
Figur 72. LOVA 14 försök med olika kalkgivor. A=obebehandlad ruta, B=4 ton/ha strukturkalk, C=8 ton/ha strukturkalk och D=16 ton/ha strukturkalk. Resultat från det första utlakningsvattnet från lysimetrarna. Vadensjö C1. Vikten av utlakningsvattnet, den första och andra turbiditetsmätningen, elektrisk konduktivitet, pH i vattnet och vattnet som kvarstannade i lysimetrarna efter simuleringen.

Efter regn 2



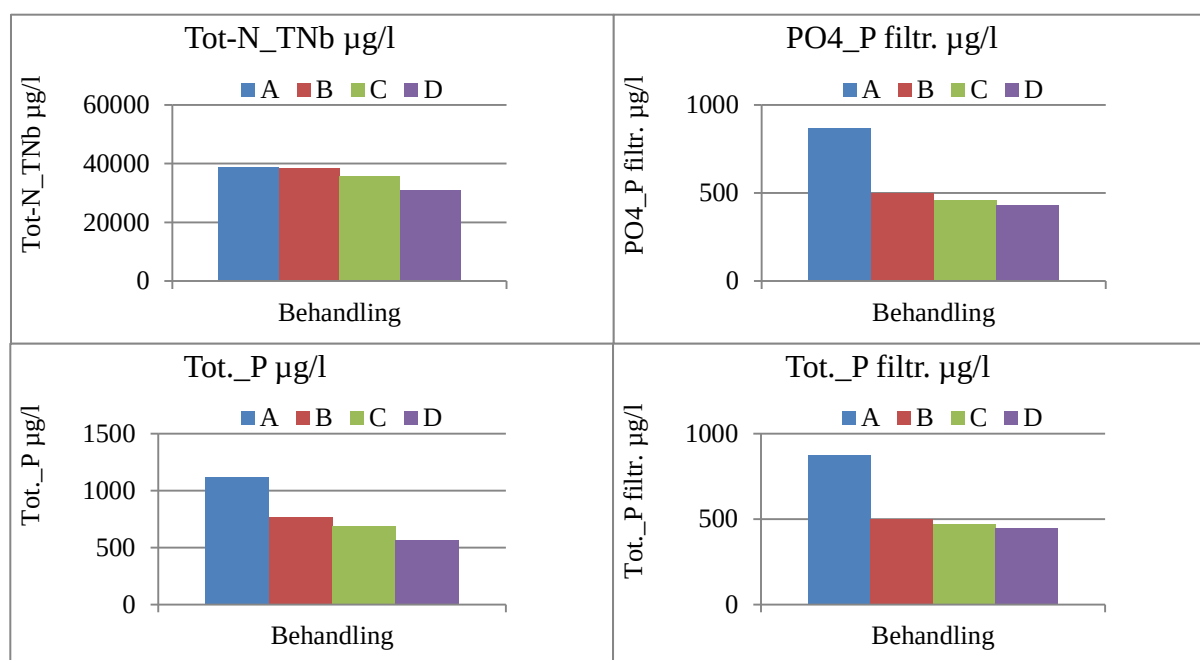
Figur 73. LOVA 14 försök med olika kalkgivor. A=obehandlad ruta, B=4 ton/ha strukturkalk, C=8 ton/ha strukturkalk och D=16 ton/ha strukturkalk. Resultat från det andra utlakningsvattnet från lysimetrarna. Vadensjö C1. Vikten av utlakningsvattnet, den första och andra turbiditetsmätningen och elektrisk konduktivitet.

Jordprov



Figur 74. LOVA 14 försök med olika kalkgivor. A=obehandlad ruta, B=4 ton/ha strukturkalk, C=8 ton/ha strukturkalk och D=16 ton/ha strukturkalk. Resultatet från jordproven från lysimetrarna. Vaden-sjö C1. Den elektriska konduktiviteten, den första pH-provtagningen, vattenhalten och den andra pH-provtagningen.

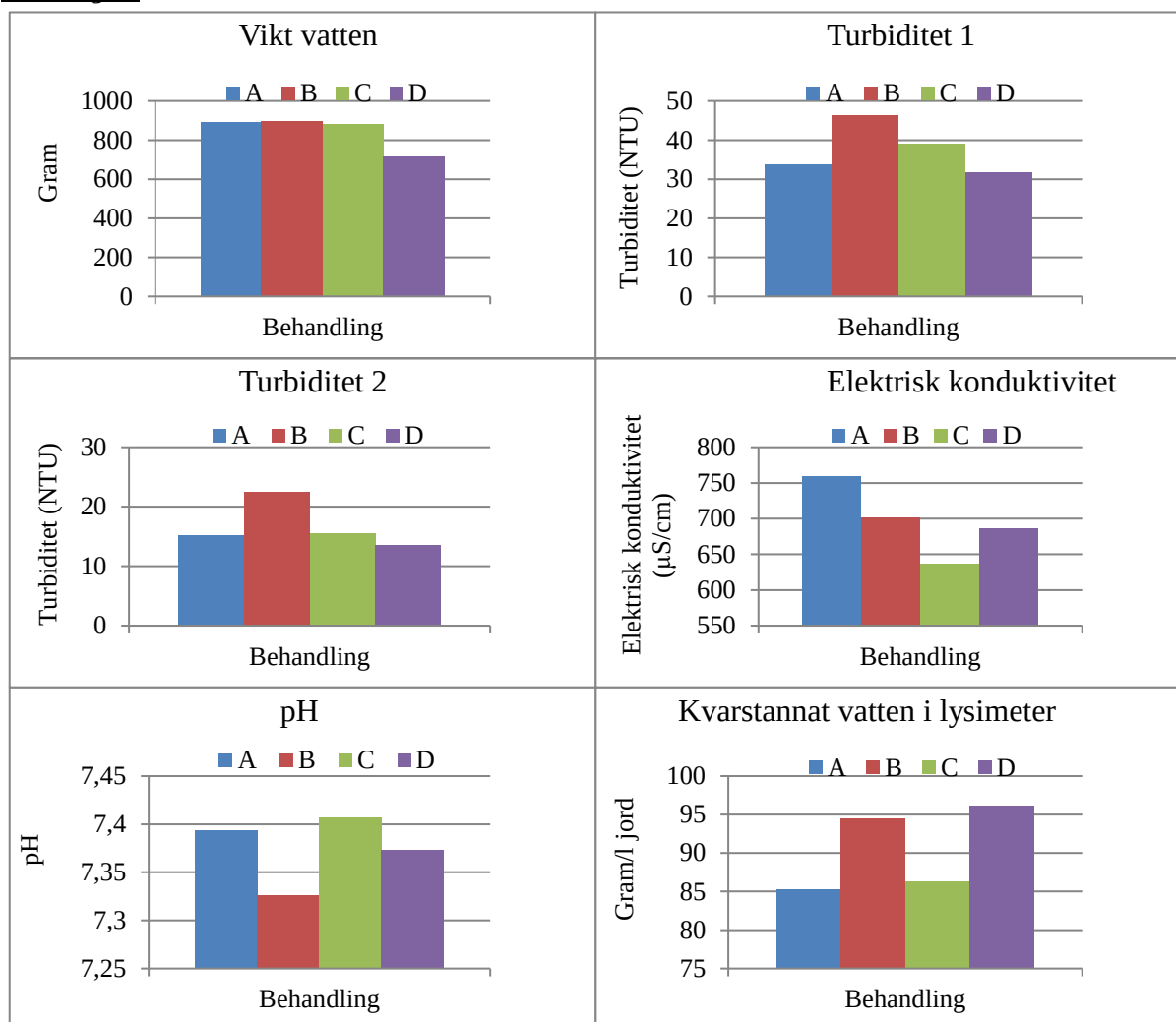
Näringsinnehåll i vatten



Figur 75. LOVA 14 försök med olika kalkgivor. A=obebehandlad ruta, B=4 ton/ha strukturkalk, C=8 ton/ha strukturkalk och D=16 ton/ha strukturkalk. Resultatet från näringsanalysen. Vadensjö C1. Totalkväve, totalfosfor, fosfatfosfor och filtrerat totalfosfor.

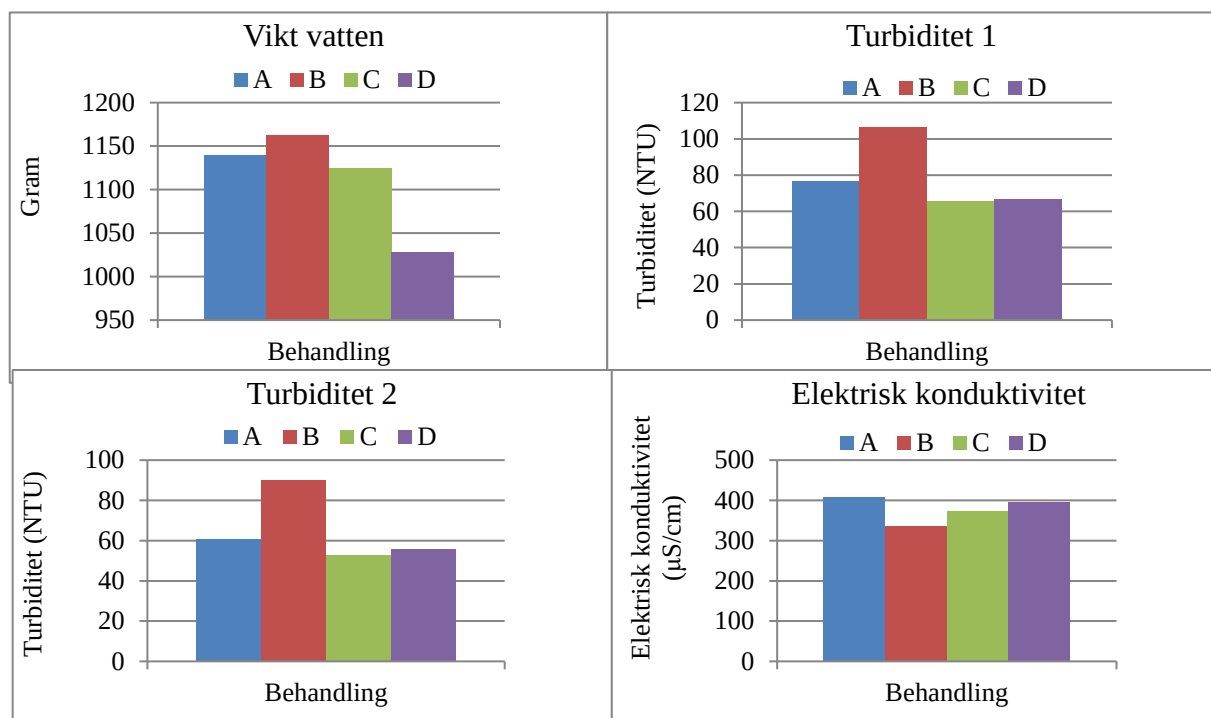
Bilaga 12 LOVA 14 Vadensjö C4

Efter regn 1



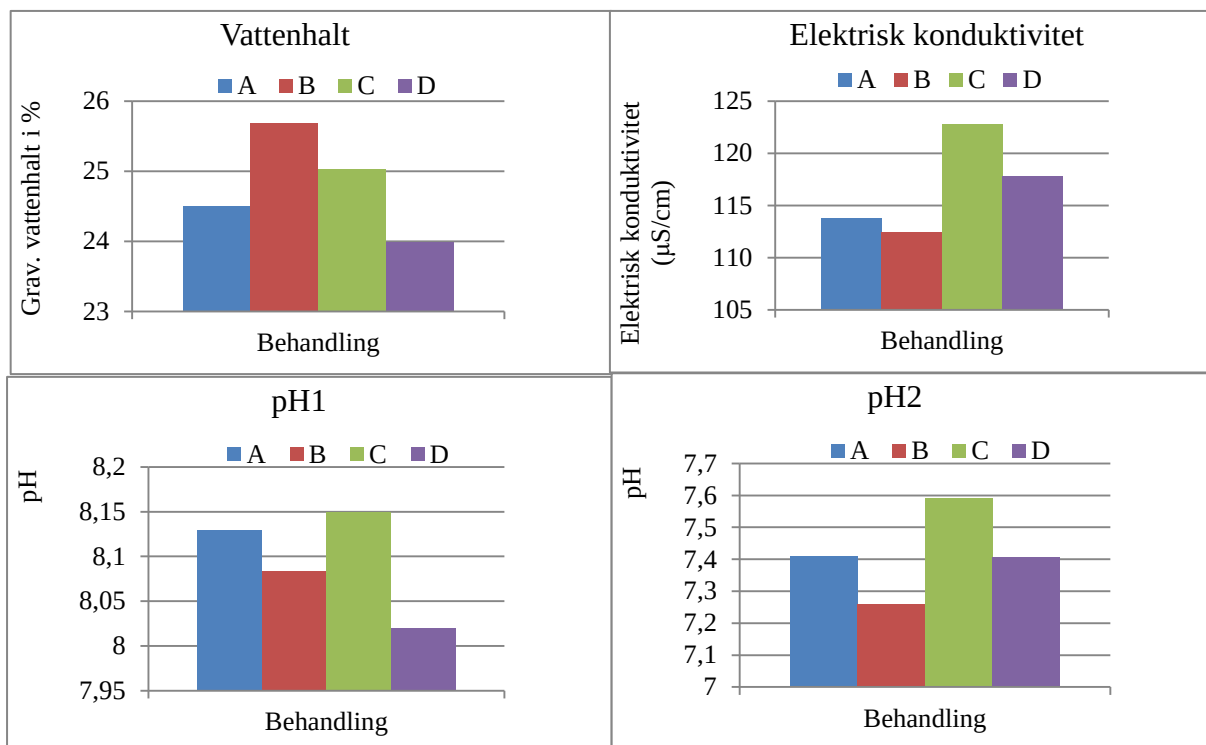
Figur 76. LOVA 14 försök med olika kalkgivor. A=obebehandlad ruta, B=4 ton/ha strukturkalk, C=8 ton/ha strukturkalk och D=16 ton/ha strukturkalk. Resultat från det första utlakningsvattnet från lysimetrarna. Vadensjö C4. Vikten av utlakningsvattnet, den första och andra turbiditetsmätningen, elektrisk konduktivitet, pH i vattnet och vattnet som kvarstannade i lysimetrarna efter simuleringen.

Efter regn 2



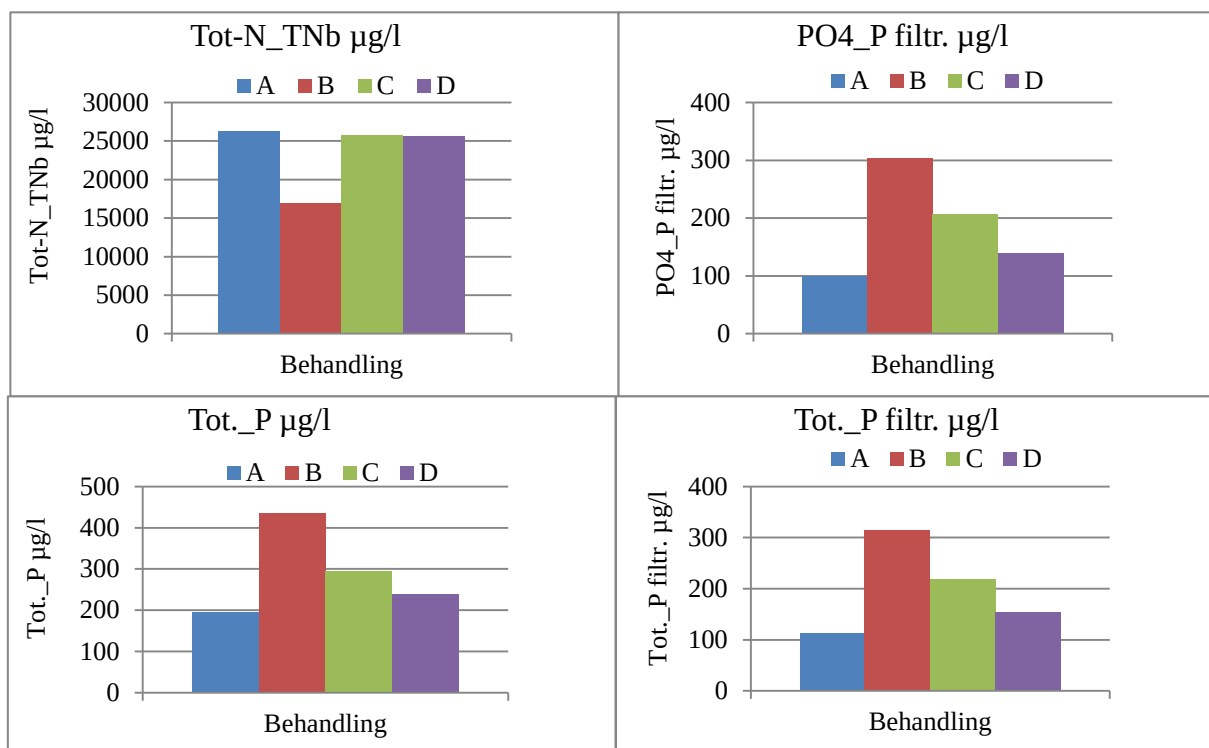
Figur 77. LOVA 14 försök med olika kalkgivor. A=obehandlad ruta, B=4 ton/ha strukturkalk, C=8 ton/ha strukturkalk och D=16 ton/ha strukturkalk. Resultat från det andra utlakningsvattnet från lysimetrarna. Vadensjö C4. Vikten av utlakningsvattnet, den första och andra turbiditetsmätningen och elektrisk konduktivitet.

Jordprov



Figur 78. LOVA 14 försök med olika kalkgivor. A=obehandlad ruta, B=4 ton/ha strukturkalk, C=8 ton/ha strukturkalk och D=16 ton/ha strukturkalk. Resultatet från jordproven från lysimetrarna. Vaden-sjö C4. Den elektriska konduktiviteten, den första pH-provtagningen, vattenhalten och den andra pH-provtagningen.

Näringsinnehåll i vatten



Figur 79. LOVA 14 försök med olika kalkgivor. A=obehandlad ruta, B=4 ton/ha strukturkalk, C=8 ton/ha strukturkalk och D=16 ton/ha strukturkalk. Resultatet från näringsanalysen. Vadensjö C4. Totalkväve, totalfosfor, fosfatfosfor och filtrerat totalfosfor.