

Hur koncentrationen tillgängligt markkväve i matjorden respektive alven varierar inom ett fält på våren beroende på jordens egenskaper

How the concentration of soil mineral nitrogen in the topsoil and the subsoil varies within a field in spring depending on the soil properties

Amanda Jansson



Hur koncentrationen tillgängligt markkväve i matjorden respektive alven varierar inom ett fält på våren beroende på jordens egenskaper

How the concentration of soil mineral nitrogen in the topsoil and the subsoil varies within a field in spring depending on the soil properties

Amanda Jansson

Handledare: Göran Bergkvist, SLU,
Institutionen för biologi, Uppsala

Btr handledare: Carl Blackert, Växa Sverige,
Halland

Examinator: Henrik Eckersten, SLU,
Institutionen för biologi, Uppsala

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E

Kurstitel: Självständigt arbete i biologi - kandidatarbete

Kurskod: EX0689

Program/utbildning: Agronom mark/växt

Utgivningsort: Uppsala

Utgivningsår: 2013

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

Nyckelord: Ammoniumkväve, nitratkväve, markkväve, vår, fältvariation, markegenskaper



Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för naturresurser och lantbruksvetenskap
Institutionen för biologi

Sammanfattning

Variationen i mängden lösligt markkväve inom fält på våren är stor och anledning till variationen är svår att förklara. Syftet med denna undersökning var att ta reda på hur det lösliga kvävet i marken varierar på ett 20 ha stort fält i Halland. Jag ville undersöka om orsakerna till denna variation kan förklaras med olika oberoende faktorer (som kan fås ut vid markkartering) påverkan och om det kan beskrivas med linjära ekvationer. Jag har använt analysdata från 21 platser i fältet för att söka samband mellan markvariabler och mängden lösligt kväve i marken på våren i matjorden respektive alven. Det fanns positiva, men osäkra, samband mellan mängden lösligt kväve och lerhalt respektive pH i matjorden. Mullhalten var den faktor som påverkade mängden kväve mest i alven, där den förklarade ca 46 % av variationen. Det var inte möjligt att öka förklaringsgraden nämnvärt genom att lägga till fler faktorer i analysen.

Nyckelord: Ammoniumkväve, nitratkväve, fältvariation, markegenskaper, fältförsök.

Abstract

The variation of soil mineral nitrogen within field during spring is great and the cause of the variation is difficult to explain. The aim of this investigation was to find out how the soil mineral nitrogen varies and the cause of the variation. I have analyzed soil data for content of mineral nitrogen from samples taken in a 20 ha field in Halland, Sweden, and correlated it to variables measured in the regular soil mapping. There were positive, but vague, correlations between soil mineral nitrogen and clay content pH, respectively, in the topsoil. The biggest influence on soil mineral nitrogen was from organic matter in the subsoil. Adding more factors in the analyses had negligible effects of the explained variation in soil mineral nitrogen.

Keywords: Ammonium nitrogen, nitrate nitrogen, field variation, soil character, field trial.

Innehåll

Förord	6
Introduktion	7
Material och Metod.....	9
Resultat.....	11
Fältvariation.....	11
Mullhalt	11
Textur	12
pH	12
Kalium.....	13
Flerfaktoriella samband.....	14
Diskussion.....	17
Mineralkväve i marken.....	17
Mullhalt	18
Textur	18
pH	19
Kalium.....	20
Flerfaktoriella samband.....	20
Slutsatser	22
Referenser	23

Förord

Denna uppsats är ett arbete på kandidatnivå av Amanda Jansson och omfattar 15 högskolepoäng. Arbetet har gjorts i samarbete mellan SLU, Sveriges lantbruks universitet, och Växa Sverige i Halland.

Introduktion

Övergödning av sjöar- och vattendrag är ett stort problem i Sverige (sammanfattat i Liljelund 2006, s 22). Kvävemängderna i svenska vatten har inte minskat under de senaste tio åren (Naturvårdsverket 2013). Den största andelen kväve som hamnar i Kattegatt kommer via atmosfäriskt nedfall, men vattenkällor från land bidrar också med stora mängder. Exempelvis belastar vattenflöden från svenska källor Västerhavet (Kattegatt och Skagerack) med 30 % mer kväve än vad egentliga Östersjön belastas med från svenska vattenflöden. År 2000 tillfördes Västerhavet drygt 20 kton år^{-1} kväve (N) från jordbruksmark, 5,4 kton år^{-1} N från atmosfäriskt nedfall på sjöar och vattendrag, samt 5,1 kton år^{-1} N från reningsverk (sammanfattat i Liljelund 2006, s 21).

Lantbruket står för huvuddelen av kväveutlakningen i Sverige (sammanfattat i Liljelund 2006, s 22). Enligt Naturvårdsverket (2012) kan förlusterna minskas med 25 % genom bättre anpassning och planering av jordbruket som helhet. Två av de mest effektiva medlen att minska kväveläckage från jordbruk är fånggrödor och minskad höstbearbetning (Naturvårdsverket 2012). Enligt Aronsson (2000, s. 12) visar flera studier att kväveläckaget kan minskas med 50 % med hjälp av fånggrödor, men studierna visar också att reduktionen har stor variation beroende på jordart och väderlek. Även senarelagd höstplöjning kan reducera kväveläckaget, tack vare den minskade mineraliseringen under hösten. Är marken bevuxen med ogräs under hösten leder det också till mindre utlakning tack vare ogräsets näringsupptag. Enligt Malgeryd *et al.* (2008, s. 46), som listade 64 åtgärder för att minska kväveutlakningen, är det viktigt att anpassa gödslingen efter grödans behov. Träd som växer längs med åkerkanter minskar utlakningen, eftersom rötterna bidrar med både växtnäringsupptag och upptag av markvatten som minskar vattentransporten till vattendraget (Eriksson *et al.* 2011, s. 169). För att undvika överdosering av N är det viktigt att fördela gödseln i fältet beroende på behov och med hänsyn till förfrukt. Genom att veta hur markens kvävehalter varierar inom fält kan kvävetillförseln anpassas till detta och riskerna för övergödning därmed minskas. Detta är bra både ur ekonomisk och miljömässig synvinkel (Eriksson *et al.* 2011, s. 294).

Huvuddelen av det lättlösliga kvävet finns ofta i matjorden. Detta gäller i större utsträckning för ammonium än för nitrat (Gustavsson 1984, ss. 31-40).

För att lättare ta reda på hur markens lättlösliga kväve varierar är det viktigt att känna till faktorer som påverkar förekomsten. Mängden organiskt material och därmed mullhalten påverkar andelen lättlösligt kväve i marken, eftersom kvävemineraliseringens råmaterial finns i det organiska materialet (Delin 2005, s. 36). Det är inte ovanligt med högre mullhalt i lågt liggande partier. Är fältet beläget i en sluttning är det ofta skillnad i mullhalt mellan de lägsta och de högsta partierna av fältet (Eriksson *et al.* 2011, s.46). Roland (2010, s.16) menar att en högre skörd bidrar till högre mullhalt på grund av ökad rotvolym och skörderester, och en högre mullhalt leder ofta till högre skördar. Roland (2010, s.16) fann vid en litteraturgenomgång att processerna vid mullbildning är långsamma och det är viktigt att mullhalten inte sjunker lägre än omkring 3,5 %, för att inte riskera minskad skörd. Genom att inkludera vall i odlingsystemet ökar chansen att bibehålla en hög mullhalt. Speciellt viktigt för att behålla och öka mullhalten är att tillföra organiskt material, t.ex. halm och stallgödsel, till odlingsplatsen (Roland 2010, s. 16). Mullhalterna i jordar

på Västkusten har potential till att vara höga, eftersom kusten har ett nederbördsrikt väder. Den höga nederbörden ger en hög primärproduktion. Dock riskeras vattenmättnad vid för mycket nederbörd. Vid höga och låga vattenhalter går nedbrytningsprocesserna långsammare på grund av syre- respektive vattenbrist (Eriksson *et al.* 2011, ss 121-122).

Eftersom kalkning bidrar till ett högre pH och därmed ökad mikrobiell aktivitet samt snabbare mineralisering av organiskt bundet kväve bör det finnas en positiv korrelation mellan pH-värde och mängder av lösligt kväve (Eriksson *et al.* 2011, s. 244). Det finns försök som visar ett samband mellan ökad nitrifikation och ett högt pH samt ett ökat förråd av ammoniumjoner. Dock menar Eriksson *et al.* (2011, s. 250) att dessa försök inte är kvantitativt pålitliga eftersom den rumsliga variationen av nitrifikationen är stor och därmed försvåras tolkningen av dessa data. Aciego Pietri & Brookes (2008) fann att koncentrationen av ammoniumkväve var högst vid ett pH på 3,7 och sjönk exponentiellt upp till pH 5,5 där koncentrationen var försumbar och förblev försumbar till 8,3, vilket var det högsta pH-värde som undersöktes.

Delin (2005, s. 36) fann endast svaga samband mellan mängden lösligt kväve och funktionen inkluderande lerhalt och organiskt material, $R^2_{adj} = 0.23$. Undersökningen visade negativ korrelation mellan lerhalt och mineraliserat kväve. Det förklarar Delin (2005 s 36) med ökad risk för O_2 -brist och/eller hårt bundet organiskt material till jordaggregat och/eller denitrifikation när lerhalten ökar. Fördelningen av organiskt material i fältet var homogen. I samma undersökning jämfördes sambandet mellan mineraliserat kväve och pH, ingen signifikant korrelation hittades (Delin 2005, ss. 36, 80).

Andelen nitratkväve visade starkt positivt koppling till lerhalten i en undersökning på ön Sumatra i Indonesien. Detta ansåg man vara rimligt eftersom lerpartikelstorleken var lik majoriteten av de positivt laddade Fe- och Al-oxiderna och adsorberade nitratjonerna (Eriksson *et al.* 2011, s. 169). Ju mer ler en sandjord innehåller desto högre blir kvävekoncentrationen, eftersom störst koncentration kväve av finns runt lerpartiklarna i sandjorden.

Korn och vetes upptagningsförmåga av kalium och kväve har undersökts i ett långliggande försök i Storbritannien (Milford och Johnston 2007, s 13, 15-16). Upptaget av kväve och kalium i korn korrelerade till varandra under växtsäsongen. Kväveupptaget i vete minskade betydligt då kalium var begränsande. Det framkom således att det räcker att det finns ett begränsande ämne för att mängden resterande ämne inte skall tas upp för optimal tillväxt. Mycket lösligt kalium bidrar till ett stort kväveupptag och ökad effektivitet i utnyttjandet av tillfört kväve (Johnston 2007, s. 2). Detta visar att det är viktigt att känna till variationen i näringsstatusen i fält för att kunna ge så optimala mängder kväve som möjligt eller korrigera tillgången på andra näringsämnen. I samma undersökning påvisades att magnesium (Mg) kan ersätta kalium när det gäller att behålla turgor i bladcellerna. Är det brist på kalium i fält kan det därmed tänkas att halterna lösligt Mg också kan vara lägre på grund av ett ökat upptag av Mg^{2+} (Johnston 2007, s. 31-32). För att undvika brist av respektive ämne samt snedfördelning i växtupptag och gödselgiva bör K/Mg-kvoten vara

mellan 1,5-2, baserat på lösligt kalium och magnesium bestämt enligt AL-metoden (Kjellquist 1998, s. 10). Alltså kan en anledning till hämmad tillväxt hos en gröda vara en K/Mg-kvot lägre än 1,5 och inte på grund av otillräckligt mängd lösligt kväve.

Det är lättare att kvävegödsla till en mer homogen nivå om fältets kvävestatus är fastställd. Det skulle innebära en stor besparing att kunna förutsäga halterna av mineraliskt kväve i marken utan att årligen provta och analysera jordprover. Syftet med detta arbete är att ta reda på hur halterna lösligt kväve i marken på våren i matjord respektive alv varierar inom ett fält, beroende på variabler som mäts vid en klassisk markkartering. Jag har undersökt sambandet mellan kvävehalten i matjord och alv och uppmätta markvariabler i respektive markskikt.

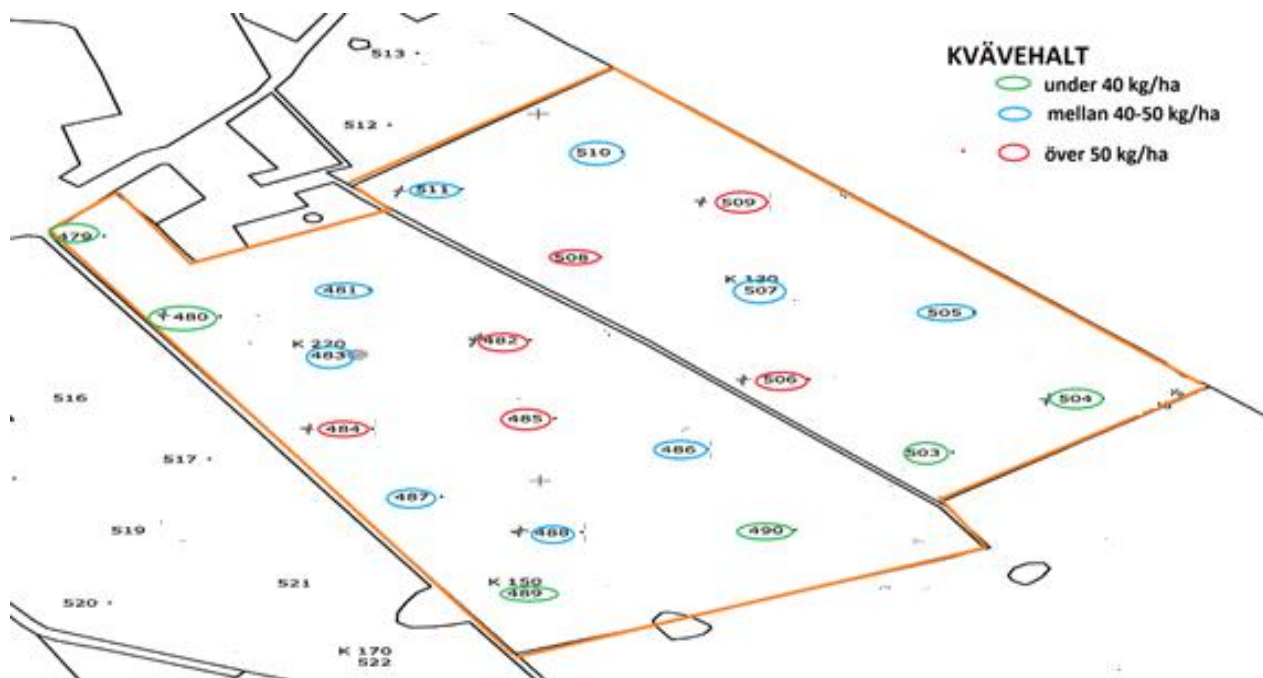
Material och Metod

Den 11 april 2013 togs jordprover på 21 platser på ett 20 ha stort fält hos Per-Ola Carlsson, Börsgård, Vinbergs Socken (koordinat N 6314597/E 1304332 för provtagningspunkt nummer 497), skifte 15A (9,02 ha) och 15F (10,80 ha), (figur 1). Proverna togs i matjord och alv på djupen 0-30 cm respektive 30-60 cm. Cirka tio delprov togs på varje provplats och slogs ihop till ett prov per plats. I matjord analyserades textur, mullhalt, nitratkväve ($\text{NO}_3\text{-N}$), ammoniumkväve ($\text{NH}_4\text{-N}$) och kalcium (Ca). I alv analyserades textur, mullhalt, nitratkväve ($\text{NO}_3\text{-N}$), ammoniumkväve ($\text{NH}_4\text{-N}$), pH (H_2O) samt fosfor (P), kalium (K), magnesium (Mg) och kalcium (Ca). Ammonium och nitrat analyserades efter upplösning av jorden i 2 M kaliumklorid och övriga ämnen enligt Egnérs (1960) med ammoniumlaktatupplösning av jord. För att förhindra mikrobiell aktivitet i väntan på analys frystes proverna, som skulle användas till analys av mineraliskt kväve, när provtagningen var klar. Jord till resterande analyser skickades färsk och ofrysta.

Värden som använts i denna undersökning för pH (H_2O), P-Al, K-Al, Mg-Al och K/Mg-kvot i matjorden togs i samband med markkartering 2009.

Data sammanställdes och statistiska analyser gjordes. Genom att ställa markkvävehalten mot olika oberoende faktorer undersöktes sambanden mellan dessa genom enkel eller flerfaktoriell linjär regression (Minitab, Inc. 2009). Normalfördelning och lika varians undersöktes före analysen och bedömdes som tillfredställande utan transformeringar.

Säsongen 2012 odlades det vårvete av sorten Diskett 240 kg/ha. Fältet fick 25 ton svinflyt på våren 2012 och totalt 80 kg N i form av handelsgödsel under säsongen. År 2011 odlades det vårraps på skiftet. Från och med juli 2012 till och med mars 2013 kom det 602 mm nederbörd över väderstationen "Sannarp" som ligger cirka 6 km från provtagningsplatsen. Under september och oktober månad kom 49 % av nederbörden. Det var först i början på april som dygnsmedeltemperaturen översteg 0°C (Lantmet/SLU Fältforsk och SMHI) och tjälen började gå ur, provtagningen kunde därefter genomföras.



Figur 1. Karta över provtagningsområdet. De 21 proverna är tagna innanför det orangemarkerade området. Figuren visar hur kvävehalten varierar inom fält indelat i klasserna "under 40 kg/ha", "mellan 40-50 kg/ha" samt "över 50 kg/ha" för djupet 0-60 cm.

Resultat

Fältvariation

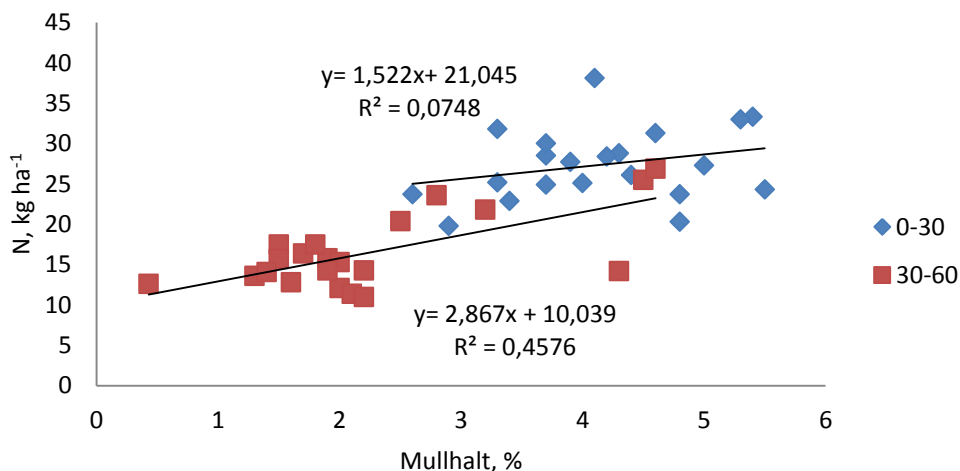
Som förutspått var fältvariationen i halten lättlösligt kväve (nitrat och ammonium) stor. Den totala halten lättlösligt markkväve varierade mellan 31-54 kg/ha, 44 kg/ha i medel, (figur 1, tabell 1). Även mull- och lerhalten varierade mycket inom fält. Däremot var pH förhållandevis stabilt och den jämna pH-nivån kan förklaras med kalkning under tidigt 2000-tal. Medelvärdet för summa lättlösligt kväve i matjorden var drygt 27 kg ha⁻¹ och i alven 16,5 kg ha⁻¹, (tabell 1). Det innebär en skillnad på 10,5 kg ha⁻¹ mellan matjord och alv och att 62,1 % av det lättlösliga kvävet fanns i matjorden.

Tabell 1. Medelvärde, medelfelet, minimumvärde, Q1, median, Q3 samt maxvärde för kväve-, mull- och lerhalt, pH, nitrat, ammonium och summa kväve för matjord respektive alv.

Variable		N	N*	Mean	SE Mean	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
Lättlösligt kväve	0-30	21	0	27,0	0,86	19,8	24,0	27,3	24,0	27,3
	30-60	21	0	16,5	1,00	11,0	13,2	15,3	18,9	26,9
Mullhalt	0-30	21	0	4,1	0,18	2,6	3,6	4,1	4,8	5,5
	30-60	21	0	2,3	0,24	0,4	1,6	2,0	2,7	4,6
Lerhalt	0-30	21	0	20,7	1,07	8,0	17,5	20,0	24,5	29,0
	30-60	21	0	26,8	2,47	6,0	17,5	26,0	34,5	48,0
pH	0-30	21	0	6,6	0,03	6,4	6,5	6,6	6,7	6,8
	30-60	21	0	6,8	0,10	5,5	6,7	6,8	7,1	8,0
Nitrat	0-60	21	0	20,4	1,11	11,9	16,8	20,1	23,4	32,2
Ammonium	0-60	21	0	6,9	0,66	3,6	5,0	6,8	7,7	16,7
Lättlösligt kväve	0-60	21	0	43,9	1,54	31,3	37,5	43,6	50,3	54,2

Mullhalt

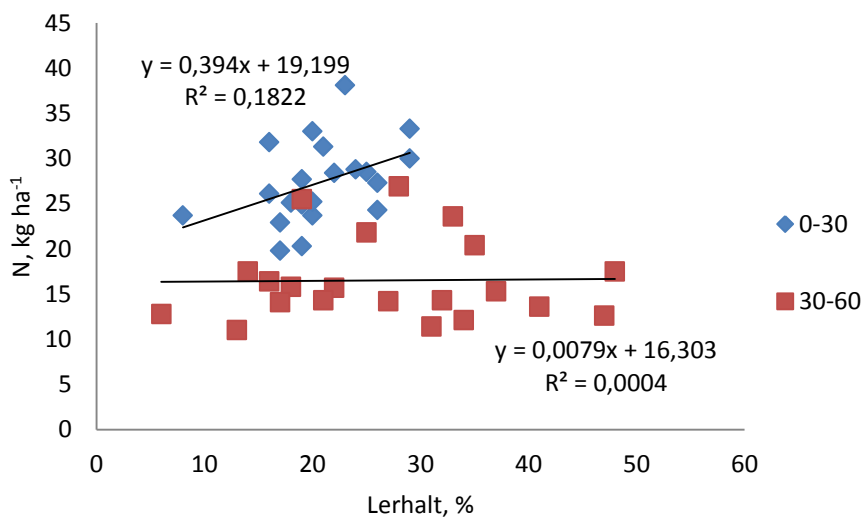
Det starkaste sambandet i hela undersökningen var mellan mängden lättlösligt kväve i alven och mullhalten i alven (figur 2, tabell 2). Kvävehalten ökade nästan 3 kg ha⁻¹ för varje procents ökning av mullhalten. I matjorden fanns dock inget tydligt samband mellan mängden lättlösligt kväve och mullhalten (figur 2, tabell 2).



Figur 2. Korrelation mellan mängden lättlösligt kväve och mullhalten (0-30 cm och 30-60 cm).

Textur

Sambandet mellan mängden lättlösligt kväve och lerhalt i matjorden visade nästan signifikans (figur 3, tabell 2). Kvävehalterna ökade med nästan 0,4 kg/ha för varje procents ökning av lerhalten i matjorden (figur 3, tabell 2). I alven fanns däremot inget tydligt samband mellan lättlösligt kväve och lerhalt (figur 3, tabell 2). Det fanns också en svag tendens till att mängden lättlösligt kväve ökade med andelen silt (finmo + mjäla) i matjorden (tabell 2).

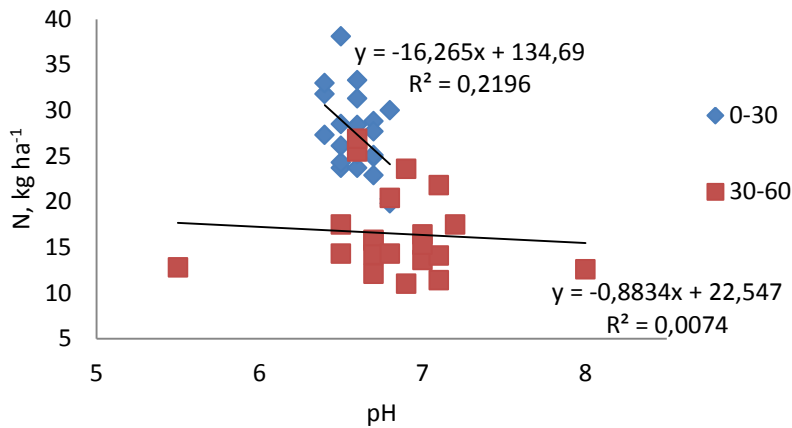


Figur 3. Sambandet mellan mängden lättlösligt kväve och lerhalten (0-30 cm och 30-60 cm).

pH

I matjorden var pH relativt lika mellan provpunkterna, men det fanns ett negativt samband mellan mängden lättlösligt kväve och pH (figur 4, tabell 2). Surhetsgraden förklarade endast en liten del av variationen och sambandet får betraktas som osäkert. I alven var spridningen mellan prov-

punkterna större, men trots det fanns inget tydligt samband med mängden lättlösligt kväve (figur 4, tabell 2).

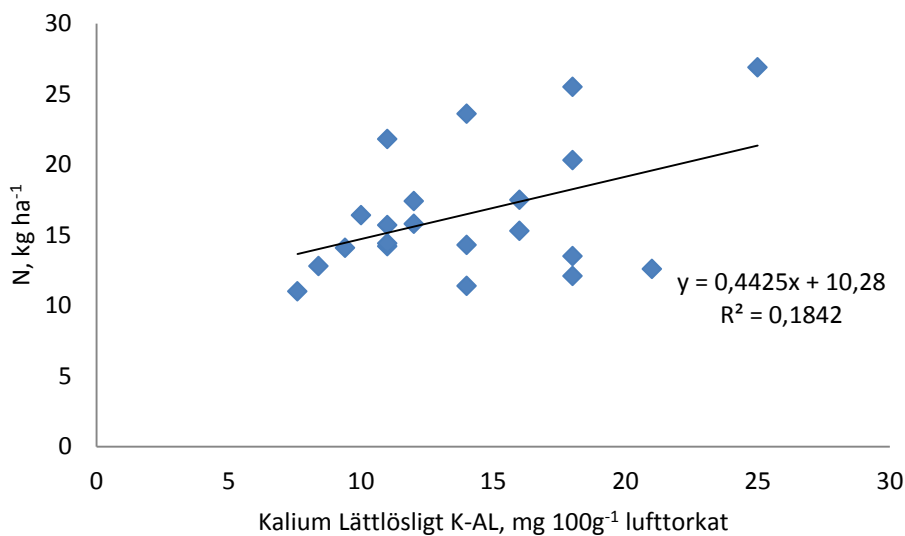


Figur 4. Sambandet mellan mängden lättlösligt kväve och pH (0-30 cm och 30-60 cm).

Topografin för fältet där proverna togs var sluttande. I alven på den högst belägna provtagningspunkten fanns fältets lägsta pH-värde. pH-värdet i matjorden för samma punkt var lägre än fältets medelvärde i matjorden. För samma punkt fanns anmärkningsvärt låga kalciumhalter, i både matjord och alv.

Kalium

I alven var sambandet mellan mängden lättlösligt kväve och kalium positivt, inget samband fanns i matjorden. För varje mg lättlösligt kalium/100g lufttorkad jord ökade mängden lättlösligt kväve med drygt 0,4 kg/ha i alven (figur 6, tabell 2).



Figur 6. Sambandet mellan mängden lättlösligt kväve och kaliumhalten (30-60 cm).

Kväve, fosfor & magnesium

Undersökningen visade inget samband mellan mängden lättlösligt kväve och fosfor och mellan mängden lättlösligt kväve och magnesium.

Flerfaktoriella samband

I både matjord och alv förklaras mängden lättlösligt kväve obetydligt bättre av flera faktorer, jämfört med den faktor som förklarar mängden lättlösligt kväve bäst (tabell 2, tabell 3).

När sambandet mellan mängden lättlösligt kväve och en funktion, inkluderande K/Mg-kvot, mull och lerhalt, studerades hittades avvikande värden i alven, för provtagningspunkterna 490 och 483. Punkt 490 hade fältet lägsta kaliuminnehåll, (7,6 mg/100g lufttorkad jord jämfört med fältets medelvärde på 14 mg/100g lufttorkad jord). Punkt 483 hade en kaliumhalt på 16 mg/100g lufttorkad jord. Både punkt 483 och 490 hade låg K/Mg-kvot, 0,3 respektive 0,5. Magnesiumhalt för respektive punkt var 48 respektive 15 mg/100g lufttorkad jord. Punkt 483 hade en lerhalt på 48 % och punkt 490 på 13 %. Förhållandena var omvända i procentandelen sand och grovmo för de två punkterna, punkt 483 hade en faktionsstorleksandel på 17 % sand och grovmo och punkt 490 på 68 %.

Tabell 2. Sammanställning av delar av ovanstående resultat, R²-värde, P-värde och funktion till olika beroende och oberoende faktorer på djupen 0-30 cm samt 30-60 cm. Kväve anges i kg ha⁻¹, mullhalt och lerhalt i % och K-AL i mg 100g⁻¹lufttorkad jord.

Beroende faktor	Oberoende faktor	Djup, cm	R ² -värde	P-värde,	P-värde, faktor	Funktion ³	
Lättlösligt kväve	Mullhalt	0-30	0,0748	0,23		y = 1,522x + 21,045	
	Mullhalt	30-60	0,4576	0,001		y = 2,867x + 10,039	
	Lerhalt	0-30	0,1822	0,054		y = 0,394x + 19,199	
	Lerhalt	30-60	0,0004	0,934		y = 0,0079x + 16,303	
	pH	0-30	0,2196	0,032		y = -16,265x + 134,69	
	pH	30-60	0,0074	0,711		y = -0,8834x + 22,547	
	Silt	0-30	0,1220	0,120		y = 0,205x + 20,1	
	Silt	30-60	0,0046	0,769		y = 0,0381x + 15,181	
	Kalium	0-30	0,0054	0,753		y = 0,06x + 25,809	
	Kalium	30-60	0,1842	0,052		y = 0,4425x + 10,258	
	Nitrat	pH	0-30	0,1263	0,114		y = -13,824x + 111,64
	Ammonium	pH	0-30	0,0112	0,648		y = -2,4412x + 23,055
	Lättlösligt kväve	K-AL	0-60	0,3083	<0,001		y = 0,7054x + 9,7777
		K-AL	30-60	0,1857	0,051		y = 0,4447x + 10,258
Mullhalt, Lerhalt		0-30	0,183 ¹	0,162	Mullhalt: 0,892 Lerhalt: 0,140 Konstant: 0,002	y = 18,8 + 0,20a + 0,375b	
Mullhalt, Lerhalt		30-60	0,475	0,003	Mullhalt: 0,001 Lerhalt: 0,461 Konstant: 0,008	y = 8,42 + 0,0528b + 2,95a	
Mullhalt, Sand grovmo		30-60	0,472	0,003	Mullhalt: 0,001 Sand grovmo: 0,492 Konstant: 0,000	y = 11,1 + 2,92a - 0,0318c	
Mullhalt, Lerhalt, K/Mg-kvot		30-60	0,475	0,01	Mullhalt: 0,001 Lerhalt: 0,483 K/Mg-kvot: 0,861 Konstant: 0,037	y = 8,05 + 0,0608b + 0,098d + 2,98a	
Mullhalt, lerhalt, K/Mg-kvot		30-60 ²	0,601	0,002	Mullhalt: 0,002 Lerhalt: 0,104 K/Mg-kvot: 0,029 Konstant: 0,469	y = 2,83 + 0,142b + 2,59a + 6,36d	

¹R²adj=0,092;

² Utan punkt 479. Vid borttagning av värdena från punkt 479, eftersom de avviker stort från resterande data, blir korrelationen starkare, R² = 60,1% samt R²(adj) = 52,6%. För avvikande värden, se tabell 3;

³a=mullhalt, b=lerhalt, c=andels sand och grovmo, d=K/Mg-kvot

Tabell 3. Skillnaden i data för punkt 479 jämfört med resterande punkter för faktorerna K/Mg-kvot, Mg-AL, Ca-AL, lerhalt samt andel sand grovmo.

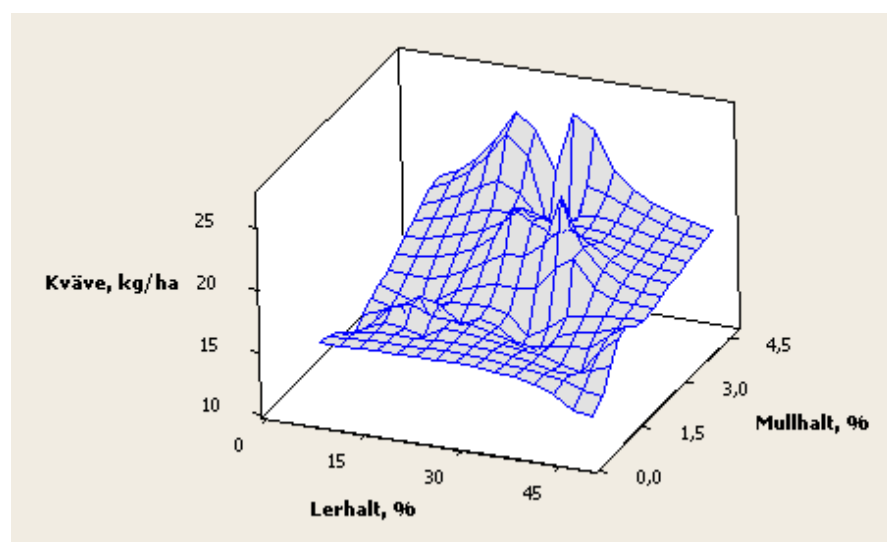
Faktor	Provtagningspunkt 479		Medelvärde för fältet ¹	
	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm
K/Mg-kvot	5,4	8,4	1,1	0,63
Mg-AL ²	2,6	1	19,8	27,6
Ca-AL ²	45	24	182	175,6 ²
Lerhalt ³	8	6	21,3	27,9
Sand grovmo ³	76	82	44	36

¹Exklusive data för punkt 497;

² Enhet mg 100g⁻¹;

³Enhet %;

⁴Exklusive data från punkt 505



Figur 7. 3D-diagram för mängden lättlösligt kväve, lerhalt och mullhalt för alven, 30-60 cm. Visar när alvens kväveinnehåll är som högst i förhållande till ler- och mullhalt.

För att undersöka när störst mängd lättlösligt kväve fanns tillgängligt i alven gjordes ett 3D-diagram innehållande de variabla faktorerna mull- och lerhalt (figur 7). Störst mängd lättlösligt kväve, ca 25 kg ha⁻¹, hittas i kombination med en lerhalt på ca 20-30 % och med mullhalt på ca 5 % (figur 7).

Variansen och normalfördelningen för sambandet, i alven, mellan mängden lättlösligt kväve och en funktion, inkluderande mull- och lerhalt, var nästan identiskt likt sambandet mellan mängden lättlösligt kväve och en annan funktion, inkluderande mullhalt, andel sand och andel grovmo. I de båda ekvationerna hade mullhalt signifikant betydelse för sambanden (tabell 2). Varken lerhalt eller andelen sand och grovmo hade signifikant betydelse för respektive samband (tabell 2). För de båda regressionerna utmärkte sig data från samma provtagningspunkt, nummer 503. Vid sub-

traktion av data från provtagningspunkt nummer 479 minskade variansen för båda regressionerna.

Diskussion

Mineralkväve i marken

I det undersökta fältet fanns ca 62,1 % av det lättlösliga kvävet i matjorden (74 % $\text{NH}_3\text{-N}$), vilket motsvarar ca 27 kg N ha^{-1} . Jämfört med en undersökning i Uppsala är denna mängd liten (Eriksson & Niklasson 1998, s. 26). Skillnaden kan bero på parametrar som mull- och lerhalt. En annan förklaring till skillnaden i mängd kan vara provtagningsdatum och väder. Mängden lättlösligt kväve i matjorden för denna undersökning stämmer inte heller så bra överrens med Gustafssons (1984, s 31-40) observationer, vilka visade en mängd 22 kg N ha^{-1} . Gustafssons (1984, s 31-40) observationer av mängden lättlösligt kväve sträckte sig dock ner till 5 m djup. Eftersom matjorden, i denna undersökning, klassas till och med djupet 30 cm blir jämförelsen mellan de två undersökningarna inte helt rättvis. Om man istället jämför Gustafssons (1984, s 31-40) observationer med denna undersökningens mängd lättlösligt kväve ner till 60 cm djup ökar jämförelsens trovärdighet. Även skillnaden mellan de två undersökningarna lättlösliga kvävemängder ökar. Medelvärdet för mängden lättlösligt kväve på djupet 0-60 cm i denna undersökning är nästan 44 kg ha^{-1} , det vill säga nästan dubbelt så mycket som Gustafssons (1984, s 31-40) observationer ner till 5 m visade. Skillnaden mellan de två undersökningarna kan precis som ovan vara mullhalt och textur. Ytterligare en förklaring (även förklaring till skillnaderna från Eriksson och Niklasson (1998, s. 26)) kan vara skillnad i växtföljd, som har genererat i olika förutsättningar, för marken, till att bygga upp ett kväveförråd i form av lättlösligt kväve.

Eftersom nitrat är mer utlakningsbenäget än ammonium är det logiskt att andelen nitrat sjunker mer än andelen ammonium vid utlakning. Under hösten 2012 kom stor mängd nederbörd på området som innefattar undersökningen, utlakningen av nitrat var därför potentiellt hög. Undersökningen visar en andelen på 74 % $\text{NH}_3\text{-N}$ (av mängden lättlösligt kväve), vilket inte tyder på större utlakning av nitratkväve jämfört med Eriksson och Niklasson (1998, s. 26). Eriksson och Niklassons (1998, s. 26) observationer visade en andel på 50 % $\text{NH}_3\text{-N}$ i fältet, alltså en mindre andel än fältet i denna undersökning. Dock är det inte omöjligt att växttillgängliga ämnen potentiellt kan ha lakats ut under höst och vinter, med tanke på den stora nederbörden (Jordbruksverket 2013).

Denna undersökning har inte visat att det är möjligt att säkert förutsäga markkvävehalten med hjälp av data från markkartering. Sannolikt är det bättre att försöka använda teknik som mäter grödans behov i olika punkter i samband med kompletteringsgödsling. Ett exempel på sådan teknik är N-sensor.

Eftersom all data som använts i denna undersökning inte kommer från samma provtagningsstillfälle finns det en möjlighet att det skulle kunna påverka sambanden i undersökningen. Vissa fak-

torer har analyserats 2013, men de skiljer sig inte på något tydligt sätt från de data jag använt från 2011. Därför har jag valt att inte göra om analyserna med data från 2013.

Mullhalt

Undersökningens starkaste samband var mellan mängden lättlösligt kväve och mullhalt i alven (figur 2, tabell 2). Sambandet kan delvis förklaras med mineraliseringsprocesser. Mullhalten var genomsnittligt högre i matjorden än i alven, vilket är väntat med tanke på förmultningsprocesser då skörderester inte blandas in längre ner än till plöjningsdjupet.

Fältet där proverna togs inkluderas i ett lerområde med något topografisk lutning i nord-sydlig riktning. Mullhalten skiljer mellan de högst och de lägst belägna punkterna. Andelen mull var högre längst ner i fältet än högst upp. Denna observation styrks delvis av Eriksson *et al* (2011, s.46). Eriksson *et al* (2011, s.46) menar att mullhalten i ett lerområde kan vara högre i lågt liggande terräng jämfört med i sluttning. Undersökningens lägsta mullhalt, 2,6 % i matjorden, fanns på fältets högst belägna punk. Jämfört med fältets totala mullhalts-medelvärde för matjorden, 4,1 %, var mullhalten betydande lägre på den högst belägna punkten. Bidragande orsak till detta kan vara att vändtegen fanns på denna punkt. Den lägre mullhalten kan ha orsakats av markpackning, vilket genererat i lägre tillväxt och därmed mindre tillförsel av organiskt material i form av rötter och andra växtrester. Mellan matjord och alv skiljde sig mullhalten med ca 2 procentenheter för respektive punkt. Det fanns dock vissa undantag, vilket resulterade i att mullhaltvariationen inom fält var större i alven än i matjorden. Orsak till detta kan vara att rottillväxten försvåras djupare i profilen och är jorden dessutom packad försvåras tillväxten ännu mer, vilket bidrar med lägre mullhalt.

Undersökningens lägsta mullhalt, 0,43 % i alven, fanns inte i fältets högst belägna provtagningspunkt. Differensen i andel mullhalt mellan matjord och alv, i denna punkt, var undersökningens största, 4,97 procentenheter. Orsaken till den stora skillnaden mellan den låga mullhalten i alven och den höga i matjorden kan vara att det i provet för matjorden kommit med växtrester som ökat mullhalten, men antagligen är förklaringen till mullhaltsvariationen endast en naturlig avspiegling av sammansättning.

Om den topografiska skillnaden inom fältet varit större finns ökad möjlighet att skillnaden i mullhalt också varit det.

Textur

Det positiva sambandet mellan kväve och lerhalt (Figur 3) var väntat enligt Matus observationer (1994, s. 93) och kan kanske förklaras med att kväveutlakningen blir lägre vid hög lerhalt. Det tydliga sambandet mellan kväve och lerhalt i matjorden i denna undersökning ökar marginellt om den oberoende faktorn mullhalt adderas till regressionen, dock minskar P-värdet (tabell 2). Jämfört med Delins undersökning (2005, s. 36) är sambandet (mellan mängden lättlösligt kväve och funktionen inkluderande ler- och mullhalt) för denna undersökning lägre. Delin (2005, s. 36) menar däremot att sambandet i hennes undersökning var lågt och förklarar det med att fältets orga-

niska material är homogent fördelat. Hon menar att sambandet potentiellt skulle kunna öka vid en mer heterogen fördelning av fältets organiska material. Denna teori är inte omöjlig men lite svår att använda som förklaring i denna undersökning, eftersom det finns stor heterogenitet i mullhalten för fältet, i både matjord och alv (tabell 1).

Fältet har kalkats baserat på lerhalt (se nästa stycke). Alltså bör det finnas likheter mellan sambandet mellan mängden lättlösligt kväve och ler och sambandet mellan mängden lättlösligt kväve och pH. Undersökningen visar marginella skillnader mellan dessa samband (tabell 2). Innan kalkning kan skillnaderna varit ännu mindre, eftersom pH då var mer heterogent överfältet och hade större naturlig motsvarighet till markens lerhalt. Dock gjordes kalkningen 2009 och marken har haft god möjlighet att ställa in sig på de nya kemiska förhållandena. En annan teori är att sambandet innan kalkning skulle varit bättre, men detta styrks inte om man skall anta att detta samband var mer likt sambandet mellan mängden lättlösligt kväve och ler (då detta samband är svagare än sambandet mellan mängden lättlösligt kväve och pH).

pH

Sambandet mellan lättlösligt kväve och pH (figur 4) visade det statistiskt säkraste sambandet, för matjorden i denna undersökning. Detta var inte väntat, speciellt med tanke på det homogena pH-värdet. Sambandet mellan lättlösligt kväve och pH kan delvis förklaras med att det finns ett samband mellan lättlösligt kväve och lerhalt i matjorden. pH-värdet har nämligen påverkats av lerhalten eftersom skiftet är precisionskalkat. Ju högre lerhalt desto mer kalk har lagts på, t.ex. har mål-pH varit ca 6,1–6,2 vid en lerhalt på 5 % och ca 6,5 vid lerhalt > 15 %. Kalkningen har troligen gynnat nedbrytningen av organiskt material. Det eftersom ett högre pH gynnar nedbrytningsprocesserna. Ett stort antal organismer (som är verksamma vid nedbrytning) trivs nämligen sämre i ett lägre pH, deras aktivitet minskar. Vid ett ökat pH fås alltså en ökad mikrobiell aktivitet, ökad nedbrytning och därmed ökad mängd lättlösligt kväve.

Trots att skillnaderna i pH över fält var små kan man se ett negativt samband mellan mängden lättlösligt nitratkväve och pH. Nitrifikationsprocessen pågår i större omfattning vid högre pH, vilket motsäger sambandet i denna undersökning. Dock kan det förklaras med att växterna tar upp mer NO_3 vid ett högre pH (Aciego Pietri & Brookes 2008, s. 1) och därför är sambandet negativt. Om denna teori stämmer har upptaget av NO_3 i så fall skett under föregående säsong(er) eftersom inga grödor vuxit precis innan/under denna provtagning. Kalkningen på detta fält gjordes år 2009, vilket betyder att marken har kunnat ställa in sig till de nya kemiska förhållandena under en period, innan provtagningen till denna studie.

Förklaring till de lägre pH-värdena i fältets högst belägna punkt kan vara att en mindre mängd kalcium tenderar att leda till ett lägre pH-värde. Ytterliggare en förklaring kan vara att kalciumupptaget är större och därmed fås ett lägre pH-värde (Eriksson *et al.* 2011, ss. 239, 246). Det lägre pH-värdet genererar en mindre mängd lättlösligt kväve.

Kalium

Förklaring till varför det inte finns något samband mellan mängden lättlösligt kväve och kalium i matjorden är svår att hitta. Enligt Milford och Johnston (2007, s. 15-16) fanns ett positivt samband mellan en växts upptag av kväve och kalium, vilket stämmer för alven i denna undersökning (figur 6). Anledning till att deras resultat inte motsvarar resultatet för matjorden i denna undersökning kan exempelvis bero på kaliumgödsling som gjort på fältet i denna undersökning. Kalium är ett lätttröligt ämne och på Hallands lätta jordar blir det påtagligt, större mängder kalium kan alltså ha perkolerat tillsammans med vatten ner i profilen.

Sambandet mellan mängden lättlösligt kväve och lerhalt skulle kunna tänkas vara ungefär lika stort som sambandet mellan lättlösligt kväve och kalium, eftersom mängden kalium delvis påverkas av vittring från lermineraler. Denna teori stämmer inte i denna undersökning. Korrelationen mellan mängden lättlösligt kväve och ler är bäst i matjorden, men korrelationen mellan mängden lättlösligt kväve och kaliumhalten är bäst i alven och alltså inte lika (tabell 2).

En anledning till detta kan vara lerets mineralsammansättning och utlakningsprocesser av kaliumjoner. Lermineralerna i denna undersökning kanske inte är så kaliumrika och därmed finns inga likheter för sambanden mellan mängden lättlösligt kväve och ler respektive kalium.

Ytterligare en förklaring till varför det inte finns något samband kan vara att systemets markförhållanden rubbats av att fältet gödslats, med både handelsgödsel och organiskt material.

Flerfaktoriella samband

Mängden lättlösligt kväve förklaras inte bättre av flera faktorer. Utan som tidigare nämnts var det starkaste sambandet i matjorden mellan mängden lättlösligt kväve och ler och det starkaste sambandet i alven mellan mängden lättlösligt kväve och mull. Vid användning av båda faktorerna (mull- och lerhalt) ökar sambanden marginellt, för respektive djup (tabell 2). Dock finns det inget som tyder på att analysen försämras när båda faktorerna ingår i analysen. Sambandet mellan mängden lättlösligt kväve och ler i alven är nästan obefintligt, R^2 -värde 0,0004. Det svaga sambandet kan dock vara en av förklaringarna till lerhaltens svaga påverkan på sambandet i regressions mellan mängden lättlösligt kväve och funktionen inkluderande mull- och lerhalt. Sambandet mellan mängden lättlösligt kväve och mullhalt i matjorden var större, R^2 -värde 0,08, än sambandet mellan lättlösligt kväve och ler i alven. Trots detta ökar förklaringsgraden mer i alven när båda faktorerna (mull- och lerhalt) tas med i analysen, jämfört med analysen i matjorden inkluderande båda faktorerna.

Skillnaden i förklaringsgrad mellan mängden lättlösligt kväve och funktionen inkluderande mull- och lerhalt, i alven, och mellan mängden lättlösligt kväve och funktionen inkluderande mullhalt, andel sand och andel grovmo, i alven, var små. De små skillnaderna kan delvis förklaras av fraktionsstorlekarna. Fraktionerna (ler och andel sand samt andel grovmo) motsvarar varandra och tillsammans med fraktionsstorleken silt blir de cirka 100 %, (beroende på frekvensen av andelen

fraktioner större än sand). En anledning till den svaga skillnaden mellan regressionerna kan just vara att de motsvarar varandra. Mullhalten är den faktor som har signifikant betydelse för båda regressionerna, det var väntat då mullhalten har signifikant betydelse vid enkel regression (tabell 2) i alven. Fraktionsfaktorernas icke signifikanta betydelse var också väntad, på grund av deras icke signifikanta betydelse som oberoende faktor i alven, vid enkel regression. I båda regressionerna utmärkte sig punkt 503 genom att den standardiserade residualen är högre än för resterande punkter. (Den standardiserade residualen beskriver standardavvikelsen till punkterna runt trendlinjen för en linjär ekvation och värdet anger hur stor del den beroende variabeln beror på den oberoende variabeln.) Förklaring till att den standardiserade residualen är hög i denna punkt kan vara den låga K/Mg-kvot, 0,3, vilken var den tydligt lägsta kvoten i hela fältet och kan delvis förklaras med en hög magnesiumhalt. Magnesiumhalten i denna punkt var över fältets medelhalt. Mullhalten på platsen var också hög, 4,3 % jämfört med fältets medelvärde på 2,3 %. Den höga mullhalten kan förklaras med att punkten ligger i en svacka och i svackor är ofta mullhalten högre, än i sluttningar (Eriksson *et al.* 2011, s. 46). Trots den höga mullhalten var nitratkvävehalten låg, men ammoniumhalten är över fältets medel. Detta kan bero på att nitrifikationsprocesserna går långsammare vid syrebrist och det kan vara så att jorden i svackan där punkten är placerad ofta är vattenmättad.

Mängden lättlösligt kväve är som högst, ca 25 kg ha⁻¹, när lerhalten är ca 20-30 % och mullhalten som högst (figur 7). Andelen mull minskar när lerhalten ökar respektive minskar. Minskad biologisk aktivitet och packningsskador kan vara två orsaker till att kväveförrådet inte ökade vid en högre lerhalt. Mullhalt och mängd lättlösligt kväve skulle därmed kunna öka om lerhalten varit mer homogen, med en andel på 20-30 %, över fältet. Mull- och lerhalten är beroende av varandra, R²-värde = 0,34. Förklaring till det positiva sambandet mellan mull- och lerhalt är exempelvis bådadas påverkan på markens pH-värde. Yterliggare en förklaring är att rottillväxten, till viss del, gynnas av ökad lerhalt. Den ökade rottillväxten ökar markens mullhalt efter nedbrytning. Dock kan det diskuteras hur pålitligt sambandet i figur 7 är. Eftersom p-värdena för sambandet mellan lättlösligt kväve och funktionen inkluderande mull- och lerhalt (tabell 2) endast tyder på att mullhaltens påverkan är signifikant. Denna undersökning visar inga tecken på att finns det någon helt optimal mull- eller lerhalt för att marken skall innehålla så mycket lättlösligt kväve som möjligt. Många andra faktorer påverkar markens innehåll och utveckling, exempelvis grödval, typ av dominerande lermineral, klimat och årsvariationer.

De lägre K/Mg-kvoterna kan delvis förklara varför värdena för provtagningspunkterna 483 och 490, i alven, stack ut från sambandet mellan mängden lättlösligt kväve och funktionen inkluderande, K/Mg-kvot, mull- och lerhalt. K/Mg-kvoterna var förhållandevis lika, 0,3 respektive 0,5 (kvotens medelvärde i alven är 0,5). Dock var halterna för både magnesium och kalium högre i punkt 483. En till bidragande orsak till avvikandet är låg nitratkvävehalt i punkt 490. Halten är endast en tredjedel av fältets medelvärde. Ammonium är den dominerade kvävefraktionen i samma punkt. Fördelningen mellan kvävefraktionerna kan förklaras med att punkt 490 ligger i en svacka och att nitrifikation hämmas av syrebrist eller att nitratjoner bildats i nitrifikationsproces-

sen och därefter utlakats. Fraktionsstorlekarna skiljer sig också dels mellan provtagningspunkterna 483 och 490 och dels jämfört med resterande provtagningspunkter. Lerhalten i punkt 483 är nästan dubbels så hög som fältets medelvärde och i punkt är den ca 2/3 av fältets medelvärde. Andelen sand och grovmo utskiljer sig också för de båda punkterna. Andelen är nästan dubbelt så stor i punkt 490, men mindre än hälften i punkt 483, jämfört med fältets medelvärde. Förklaring till skillnad mellan punkterna skulle kunna vara lägesbundet, men eftersom punkt 483 har en högre altitud skulle man kunna tänka sig att andelen grövre material var större i denna punkt jämfört med punkt 490 med en lägre altitud. Alltså, styrks inte denna teori. Förklaring till varför punkterna urskiljer sig så mycket från fältets medelvärde är svårt att definiera och kan endast förklaras med att spridningen i fraktionsstorlek inom fältet är stort.

Då punkt 479 togs bort från sambandet mellan mängden lättlösligt kväve och funktionen inkluderande K/Mg-kvot, ler- och mullhalt blev normalfördelningen och variansen lägre. Vid subtraktionen minskade P-värdet från 0,01 till 0,002 och R^2 -värdet ökade från 0,475 till 0,601. En förklaring till det bättre sambandet är att avvikande data togs bort från regressionen (tabell 3). Att K/Mg-kvoten i punkt 479 var mycket högre än resterande kan förklaras med dess låga magnesiumhalter. Andelen silt var mindre i punkt 479 än i resterande punkter, vilket skulle kunna förklara vissa av skillnaderna mellan punkterna. Halten lättlösligt kväve i punkt 479 var lägre än fältets medelvärde så som medianvärde, både för matjorden och för alven. Avvikande punkter för denna regression var 484 och 503. För delvis förklaring varför punkt 503 utmärker sig se diskussion ovan. I både matjord och alv var mängden lättlösligt kväve i punkt 484 högre än fältets medel- och medianvärde, vilket är den enda tydliga förklaringen, som kan utläsas i befintlig data, till varför punkt 484 utmärker sig. Varför kvävehalten är högre i denna punkt finns det ingen tydlig förklaring till, dock syns ett mönster som ett stråk tvärs genom fältet innehållande punkter med en högre kvävehalt (figur 1).

Slutsatser

Jag har visat att det finns tydlig variation i markkvävehalten och att den beror på flertalet faktorer. Mullhalten var den faktor som spelade störst roll i alven. I matjorden tenderade kvävekoncentrationen att öka med pH och lerhalt, men ingen av faktorerna förklarade speciellt stor del av variationen och sambanden måste betraktas som osäkra.

Referenser

Aciego Pietri, J.C. & Brookes, P.C. (2008). *Nitrogen mineralisation along a pH gradient of a silty loam UK soil*. *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 40 (3), ss. 797-802.

Andersson, S., Nilsson, S.I. & Saetre, P. (2000). *Leaching of dissolved organic carbon (DOC) and dissolved organic nitrogen (DON) in mor humus as affected by temperature and pH*. Diss. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet

Aronsson, H. (2000). *Nitrogen turnover and leaching in cropping systems with ryegrass catch crops*. Diss. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet

Delin, S. (2005). *Site-specific Nitrogen Fertilization Demand in Relation to Plant Available Soil Nitrogen and Water*, Sveriges Lantbruksuniversitet. Avdelningen för soil science. (Doktorsuppsats 2005:6) s 36.

Delin, S. & Lindén, B. (2002). *Relations Between Net Nitrogen Mineralization and Soil Characteristics Within an Arable Field*. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science*, vol. 52 (2), ss. 78-85.

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

Eriksson, K. & Niklasson, M. (1998). *Kväveutnyttjande genom växtanpassad gödsling*. Uppsala: Jordbrukstekniska institutet. (Rapportnummer 245).

Gustavsson, A. & Torstensson, G. (1984). *Växtnäringsförluster i Boda [Gävleborgs län] = Losses of nutrients at Boda*. Uppsala: Avdelningen för vattenvård SLU (Ekohydrologi 17).

Johnston, A.E. (2007). *Potassium, magnesium and soil fertility: long term experimental evidence*, Proceeding 613. International Fertiliser Society, York, UK. ss. 1 & 31-32.

Jordbruksverket (2013-02-21). *Vatten i framtiden*.

<http://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/miljoklimat/klimatanpassningavjordbruket/merochmindrevatten.4.e01569712f24e2ca09800016406.html> [2013-05-24]

Kjellquist, T. (1998). *K/ Mg-kvoten – Ett exempel på samspel mellan näringsämnen*. *Växtpressen*, vol. 27 (3).

Lantmet/SLU Fältforsk och SMHI. *Väderdata och tillämpningar*. Station: ”Sannarp i Falkenberg”. [2012-05-19]

Liljelund, L-E. (2006). *Övergödning av Sveriges kuster och hav*. Stockholm: Naturvårdsverket (Rapport 2006:5587).

Malgeryd, J. (2008). *64 åtgärder inom jordbruket för god vattenstatus*. Linköping: Växtnäringsenheten i Linköping, Jordbruksverket (Rapport 2008:31).

Mattsson, L., Börjesson, T., Ivarsson, K. & Gustafsson, K. (2001). *Utvidgad tolkning av P-AL för mark- och skördeanpassad fosforgödsling*. Uppsala. Institutionen för markvetenskap Avd. för växtnäringslära (Rapport 2001:202).

Milford, G.F.J. & Johnston, A.E. (2007). Potassium and nitrogen interactions in crop production, Proceeding 615. International Fertiliser Society, York, UK. ss. 13, 15-16.

Minitab, Inc. (2009). Minitab Statistical Software, Release 16 for Windows, State College, Pennsylvania. Minitab® is a registered trademark of Minitab, Inc.

Naturvårdsverket (2012-12-14). *När vi Hallands läns miljömål?*
<http://www.miljomal.se/Miljomalen/Regionala/Regionalt/?eqo=7&t=Lan&l=13>
[2013-05-09]

Naturvårdsverket (2013-03-27). *Kväve i havet*.
<http://www.miljomal.se/Miljomalen/Alla-indikatorer/Indikatorsida/?iid=93&pl=1>
[2013-05-09]

Power, J.F., Alessi J., Reichman G.A., Grunes D.L. (1972). Effect of Nitrogen Source on corn and Bromegrass Production, soil pH and Inorganic Soil Nitrogen. *Agronomy Journal*, vol. 64, ss. 341-344.

Roland, B. (2010). Växtföljden påverkar bördighet. *Jordbiten*, vol. 3, s.16.

Sorensen, L.H. (1981). Carbon-nitrogen relationships during the humification of cellulose in soils containing different amounts of clay. *Soil Biology and Chemistry*, vol. 13. s. 1.