

En laboratoriestudie om kol-, kväve- och fosforcykeln

Med fokus på kvävemineralisation

Sofia Timén Eriksson

**Degree of Bachelor of Science
with a major in Earth Sciences
15 hec**

**Department of Biological and Environmental Sciences &
Department of Earth Sciences
University of Gothenburg
2021 B-1148**

Faculty of Science



UNIVERSITY OF GOTHENBURG

UNIVERSITY OF GOTHENBURG
Department of Biological and Environmental Sciences &
Department of Earth Sciences
Geovetarcentrum/Earth Science Centre

En laboratoriestudie om kol-, kväve- och fosforcykeln Med fokus på kvävemineralisation

Sofia Timén Eriksson

ISSN 1400-3821

B1148
Bachelor of Science thesis
Göteborg 2021

Mailing address
Geovetarcentrum
S 405 30 Göteborg

Address
Geovetarcentrum
Guldhedsgatan 5A

Telephone
031-786 19 56

Geovetarcentrum
Göteborg University
S-405 30 Göteborg
SWEDEN

Innehållsförteckning

1. Sammanfattning/Abstract	2
2. Introduktion & bakgrund	3
2.1. Bakgrund	3
2.1.1. Jordbildning och jordegenskaper	3
2.1.1.1. Soil organic matter	4
2.1.1.2. Fukthalt	4
2.1.1.3. Kol/kväveknot	4
2.1.2. Kväve och kvävecykeln	4
2.1.3. Kol och kolcykeln	6
2.1.4. Fosfor och fosforcykeln	7
2.1.5. Måta transformation av näringsämnen	8
2.1.6. Skogaryd SITES	9
3. Syfte & frågeställningar	10
4. Metod	10
4.1. Vetenskaplig litteratur	10
4.2. Laborationsarbete	10
4.2.1. Provtagningsplats	10
4.2.2. Sortering av jordprover	11
4.2.3. Fukthalt	12
4.2.4. Innehåll av kol och kväve	13
4.2.5. Halt av organiskt material (SOM)	13
4.2.6. Innehåll av fosfor	14
4.2.7. ¹⁵ N-experiment	14
4.3. Uträkningar och statistiska analyser	17
5. Resultat	18
6. Diskussion	23
7. Slutsats	25
8. Tackord	26
9. Referenser	27
10. Bilagor	30

1. Sammanfattning

Jord är en nödvändighet för människan och bidrar med flertal nyttiga ekosystemtjänster som exempelvis rent vatten, matproduktion och kolbindning. I jorden finner terrestriell växtlighet och jordlevande organismer livsnödvändigt råmaterial som kväve, fosfor och kol. Innan växter och organismer kan ta upp näringsämnen krävs det att mikroorganismer omvandlar (mineraliserar) ämnet till oorganisk form. Studier om jord och näringscykler har gjorts under lång tid och fortsatta studier krävs för att förstå hur dessa påverkas vid klimatförändringar. Denna studie handlar om kol-, kväve- och fosforcykeln och baseras på laborativt arbete med jord från Skogaryd. Syftet är att undersöka delar av näringscyklerna och hur dessa förändras med jorddjupet. Jordegenskaper som fukthalt, innehåll av organiskt material samt halt av kol, kväve och fosfor fastställdes och en längre laboration med isotopen ^{15}N gjordes för att få fram hastighet av kvävemineralisation och -immobilisation. Studiens resultat visar att flertalet jordegenskaper minskar med djupet däribland halt av kol och kväve samt kvoten dem emellan (C/N kvot). Jordens innehåll av fosfor minskar också med djupet men har en mindre varierande halt. Även brutto kvävemineralisationshastighet varierar med djupet, men ett linjärt samband går inte att påvisa. Trenden tyder däremot på att hastigheten minskar med djupgradienten. Ett linjärt positivt samband mellan C/N kvot och N-mineralisationshastighet samt signifikant korrelation mellan organiskt innehåll och N-mineralisationshastighet påträffas. Resultaten fastställer också det grundläggande behovet av tillgänglig näring för produktion av oorganiskt kväve.

Abstract

Soil is essential for humans and contribute to plenty beneficial ecosystem services as clean water, food production and carbon sequestration. Terrestrial plants and soil living organism obtains its vital raw material, as nitrogen, phosphorus, and carbon from the soil. Before plants and organisms can use the nutrients microorganisms need to transform (mineralize) it into inorganic form. Studies on soil and nutrient cycles have been conducted for many years and further studies are needed to be able to understand possible events of climate change and how to prevent it. This is a study about the carbon-, nitrogen-, and phosphorus cycle and is based on laboratory work with soil from Skogaryd. The aim of this study is to investigate parts of the nutrient cycles and how these change with soil depth. The lab work involved determination of soil moisture, soil organic matter, and content of carbon, nitrogen, and phosphorus. To determine gross nitrogen mineralization- and immobilization rate an isotope lab was conducted with ^{15}N as a label. The results of this study shows that many soil properties decrease with depth, including content of carbon and nitrogen and the ratio between them (C:N). The soil content of phosphorus also declined with depth, but the variation was more stable. The gross N mineralization rate varies with depth, but a significant correlation was not demonstrated in the study. However, the trend indicates that the rate decreases with depth. A positive connection between C:N ratio and gross N-mineralization rate and a significant correlation between SOM and N-mineralization rate was found. The results also point out the basic importance of nutrient availability in regulating mineralization.

2. Introduktion

Alla levande organismer kräver råmaterial från sin omgivning för att kunna överleva. Detta råmaterial kan exempelvis vara näringsämnen, så som kväve (N) och fosfor (P), som behövs för att flera funktioner i organismen ska fungera. Ett annat essentiellt grundämne för levande organismer är kol (C) som används för att utvinna energi. Jord är odlingsmedium för terrestriell vegetation och det är här som levande organismer kan finna många av sina livsnödvändiga näringsämnen samt kol. Det är mikroorganismer som gör näringsämnen tillgängliga för jordens levande organismer.

Mikroorganismerna bryter ned organiskt material och biprodukten blir näringsämnen i oorganisk form som är åtkomliga för andra organismer samt växter i jorden. Detta är en biologisk process som kallas mineralisation. Den omvända processen då oorganiskt näringsämne används och inkorporeras i växt eller organism och därmed görs oåtkomligt för andra, kallas för immobilisation. Hur snabbt dessa processer sker är olika beroende på bland annat jordtyp, fukthalt, aktivitet av mikroorganismer, temperatur med mera (Kirkham & Bartholomew, 1955; Booth, Stark & Rastetter, 2005; Puri & Ashman 1998; Björnsne, Rütting, & Ambus, 2014; Darby m.fl. 2020). Andra processer och begrepp som är centrala i jordens näringscykler är till exempel fixering, atmosfärisk deposition och respiration (Cronan, 2018).

En sund jord skapar flera fördelar och ekosystemtjänster som är avgörande för människans livsmedelsproduktion och skogsbruk. Jorden kan till exempel hålla och rena vatten och är dessutom en stor kolsänka (Europeiska Miljöbyrå, 2019). En välmående jord är vital för en fungerande cykel av näringsämnen samt för människors liv vilket gör ämnet intressant och viktigt. Flertal nationella och internationella miljömål talar för en frisk och sund jord. Exempelvis det globala hållbarhetsmålet (SDG) nummer 2 – ”Ingen hunger”, eller de svenska nationella miljömålen ”Ett rikt odlingslandskap” och ”Levande skogar” (UNDP & Sveriges miljömål). Det finns idag flertal studier om näringsämnen och dess cykler som är gjorda i olika ekosystem och i jordar på cirka 0–20 cm djup, men enbart ett begränsat antal studier som är gjorda på djupare jordar, det vill säga >10–20 cm djup (Darby m.fl., 2020; Adhikari m.fl., 2014). Att undersöka näringscykler i jorden är viktigt eftersom dessa ämnen är avgörande för en produktiv jord, livsmedelsproduktion och skogsbruk. Att få vidare förståelse för näringscykler och tillgängliga data kan vara nödvändigt för att förstå hur jordsystem och ekosystem reagerar på klimatförändringar.

2.1. Bakgrund

2.1.1. Jordbildning och jordegenskaper

Jord består av levande och icke-levande komponenter som rötter, svampar, bakterier, djur och icke-levande bergfragment (Sadava m.fl., 2016). Processen för jordbildning kallas för pedogenes och är ett långdraget och pågående skeende som tar vid när mineraler från berg kombineras med organiskt material från djur och växter. Kombinationen av mineral och organiskt material utgör cirka 50% av jordens totala volym, resterande 50% är porer fyllda med vatten eller luft (Ashman & Puri, 2013). Mineraler från berg frigörs genom vittring, en process som kan vara antingen kemisk eller fysikalisk.

Det finns fem faktorer som formar jord: klimat, berggrund, topografi, organismer och tid (Jenny, 1994). Dessa fem faktorer kommer påverka och bestämma hur jorden förändras och utvecklas över tid. Eftersom jord är så beroende av lokal miljö är det inte underligt att det finns en stor variation av jordtyper runt om i världen. En sak jordtyperna däremot har gemensamt är att nästan alla har en

jordprofil med olika horisontella lager som kallas horisonter (Sadava m.fl., 2016). Jordprofilen inkluderar alla horisontella lager från det översta lagret ner till berggrunden. Det är mineraler och organiskt material i jorden som skapar de distinkta horisonterna när de transporteras nedåt från topplagret till underliggande lager. I vissa delar av jordprofilen kommer mineraler och organiskt material ansamlas medan andra delar av profilen kommer urlakas på mineraler och organiskt material. Denna process skapar horisonter med karaktäristiska utseenden, färger och innehåll av mineral och organiskt material (Ashman & Puri, 2013).

2.1.1.1 Soil organic matter (SOM)

Jordens organiska material (SOM) inkluderar i vidaste bemärkelse alla levande och döda organismer men begreppet används vanligtvis för att hänvisa till rester av djur och växter i nedbrytningsfas. Dessa rester kan vara nyligen tillkomna eller gamla. Det organiska materialet består till störst del av kol (C) och är en källa till näringsämnen för levande organismer i jorden. För att levande organismer och växter ska kunna ta upp näringsämnen behöver det organiska materialet först mineraliseras av mikroorganismer (Ashman & Puri, 2013). I de flesta jordar är innehållet av organiskt kol som högst vid topplagret och minskar sen med jordprofilens djup (Adhikari m.fl., 2014; Hiederer, 2011). Denna djupvariabilitet är den mest förekommande förutom i jordar som påverkas kraftigt av människan (Adhikari m.fl., 2014). Det lättillgängliga och höga innehållet av organiskt material i topplagret ökar mikrobiell aktivitet som aktiverar mineralisations- och immobilisationsprocesser (Hiederer, 2011; Hatch, Lovell, Antil, Jarvis & Owen, 2000).

2.1.1.2 Fukthalt

Soil moisture, (*sv. fukthalt*), är andel vatten som jorden håller vid en viss tidpunkt. Mängden vatten som kan hållas av jorden beror på flera faktorer däribland storlek och distribution av mineralpartiklar samt innehåll av organiskt material (Ashman & Puri, 2013). Mineralpartiklar kan delas upp i fem breda storleksklasser: sten, grus, sand, silt och lera som tillsammans utgör jordens textur (Ashman & Puri, 2013).

2.1.1.3 Kol/kväveknot

Kol/kväveknot, (C/N), är ration mellan mängd kol och mängd kväve i en jord eller organiskt material. Kvoten varierar mellan olika marker och organiskt material och har en betydelse för nedbrytningsprocesser i jord (Ashman & Puri, 2013). Vid höga kvoter finns det mycket kol jämfört med kväve. Kvoter som är större än cirka 25 räknas enligt SLU (2020) som höga kvoter och påverkar nedbrytningshastigheten negativt. Vid höga kvoter blir konkurrensen om kväve mellan jordlevande organismer stor vilket saktar ned nedbrytningsprocesser och följden kan bli kvävebrist. I svenska skogsmarkens mårager (topplager med högt organiskt innehåll) är medelkvoten runt 30. Med ökande näringsinnehåll minskar kvoten (SLU, 2020). I en studie av Batjes (1996) visas hur C/N kvoten generellt förväntas minska med jordprofilsdjupet. Minskningen tyder på att jorden är äldre och mer nedbruten i djupare gradienter.

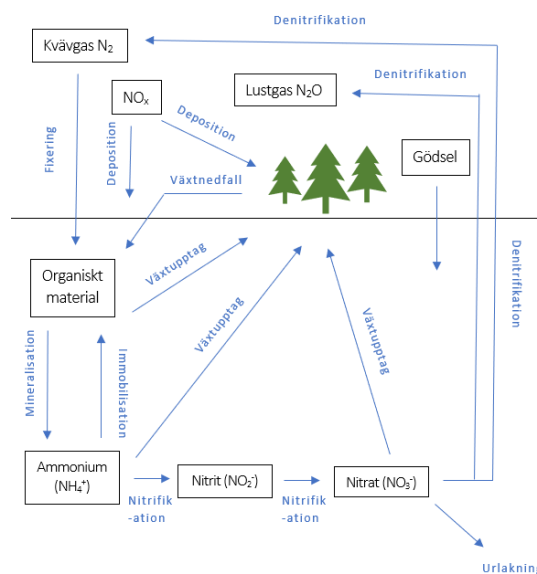
2.1.2. Kväve och kvävecykeln

Det kemiska grundämnet kväve (N) är fundamentalt för liv på Jorden. Atmosfären består av 78% kvävgas (N₂) men trots detta är det få organismer som faktiskt kan använda det atmosfäriska kvävet. Kvävgasens stabila bindningar behöver brytas innan växter och andra organismer kan ta upp det livsnödvändiga näringsämnet. Bindningen kan brytas isär av specialiserade bakterier i jorden som

fixerar det atmosfäriska kvävet. Denna process kallas kvävefixering och har en betydande primär roll i kvävecykeln. Cykeln är komplex och drivs biologiskt av mikroorganismer samt av spontana kemiska reaktioner (Schlesinger & Bernhardt, 2013). Kväve kan även tillföras jorden genom våt- och torrdeposition från atmosfäriskt NO_x , genom gödsling och nedbrytning av växt- och djurmaterial (Björnsne, 2018). Kvävefixerare omvandlar det atmosfäriska N_2 till ammoniak (NH_3) som snabbt omvandlas till ammonium (NH_4^+) (Schlesinger & Bernhardt 2013). Processen mellan det organiska kvävet till det oorganiska kvävet (NH_4^+) är en mineralisationsprocess som genomförs av mikroorganismer i jorden. Det oorganiska ammoniumet kan immobiliseras och användas av växter och djur där kvävet är byggstenar i bland annat proteiner och nukleinsyror (Björnsne, 2018; Sadava m.fl., 2016). Om ammonium inte immobiliseras kan nitrifierande bakterier omvandla ammonium till nitrit (NO_2^-) och till nitrat (NO_3^-). Både nitrit och nitrat kan användas av växter och organismer (Sadava m.fl., 2016). Den omvända processen då nitrat konverteras tillbaka till N_2 som sluter kvävecykeln, kallas för denitrifikation. Processen sker i anaeroba förhållanden och kan även bilda kväveoxid (NO) och lustgas (N_2O) som har negativ miljöpåverkan. Kväveoxid har ozonnedbrytande egenskaper och lustgas är en stark växthusgas med nästan 300 gånger högre uppvärmningspotential än CO_2 (Cronan, 2018; Naturvårdsverket, u.å.). Figur 1 visar hur kvävecykeln i jorden kan se ut.

Figur 1

Flödesschema över kvävecykeln



Figur 1 visar ett flödesschema över hur kvävecykeln kan se ut i jorden. (1) Kvävefixerande bakterier fixerar kväve från atmosfären. (2) I en mineralisationsprocess omvandlar mikroorganismer organiskt kväve till oorganisk form, NH_4^+ . (3) NH_4^+ kan tas upp av växter och organismer i jorden och göra kvävet otillgängligt för andra organismer, immobilisation. När organismerna dör kommer kväve frigöras igen. (4) NH_4^+ kan även nitrifieras till NO_2^- och NO_3^- . (5) NO_3^- kan urlakas ur jorden. (6) Genom denitrifikation kommer NO_3^- att återgå till N_2 alternativt N_2O eller NO . (7) Kväve kan även tillkomma in i cykeln genom atmosfärisk deposition eller gödsling.

Flödet av kväve i jordsystemen varierar med ekosystem, miljö och årstid. Faktorer som påverkar kvävecykeln är bland annat jordens fukttinnehåll, jordtemperatur, pH, SOM, total C-halt, total N-halt och C/N kvot (Booth m.fl., 2005; Puri & Ashman 1998; Björnsne, Rütting, & Ambus, 2014; Darby m.fl., 2020). Booth m.fl. (2005) visar att jordens innehåll av kol och kväve har en negativ korrelation till

mineralisationshastighet och att en hög C/N kvot betyder låg N-mineralisation, och vice versa. Samma resultat visas av Björnsne (2018). Nitrifikation har en tydlig sammankoppling till mineralisation, vilket inte alls är underligt då ammonium (NH_4^+) behöver bildas innan nitrifierande bakterier kan bilda nitrat (NO_3^-). Det är även möjligt att nitrifikation gynnas av lågt pH (Booth, m.fl., 2005). Puri & Ashman (1998) visar att kvävemineralisation varierar över året och att jordfuktighet samt temperatur är två av de viktigaste faktorerna. Minskat vatteninnehåll och minskad temperatur i jorden minskar mineralisation av kväve. Jordens totala innehåll av kväve och kol förväntas generellt att minska med jordprofilens djup vilket saktar ned näringscyklernas transformationer. Detta beror bland annat på att organiskt material är äldre och mer stabilt ju djupare man kommer i jorden, vilket enligt Darby m.fl. (2020) minskar kvävecykelns hastighet. Enligt McGill & Cole (1981) drivs N-mineralisation av organismers behov av kol, det vill säga energi. När organismer i jorden bryter ner organiskt material i jakt på energi oxideras kol och kväve mineraliserar.

2.1.3. Kol och kolcykeln

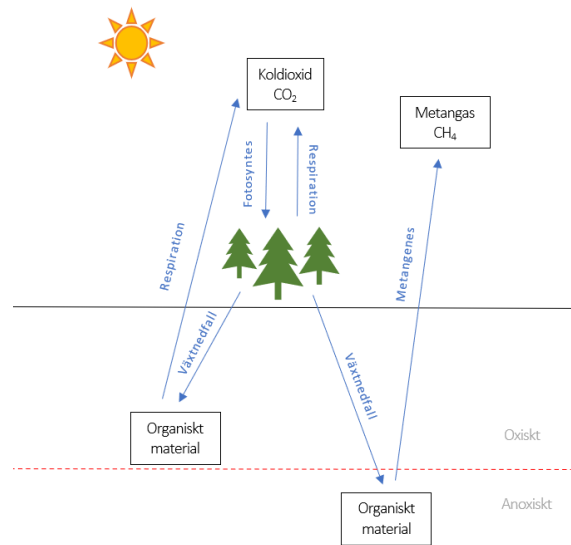
Kol (C) utgör grunden för liv på vår planet och är därmed ett vitalt grundämne för allt och allas överlevnad. Det kemiska grundämnet är det 15:e mest förekommande elementet i jordskorpan, 4:e vanligaste grundämnet i universum och näst vanligaste grundämnet i människokroppen (Hartemink, 2014). Jordsystemet är en av fem globala kolpooler – den pedologiska kolpoolen. En kolpool är en reservoar av kol som har kapacitet att både ta upp och avge ämnet. Resterande fyra kolpooler är den marina-, geologiska-, atmosfäriska- och biosfäriska kolpoolen. I den pedologiska kolpoolen ingår organiskt och oorganiskt kol (Lal, Pollock, Pretty, Crute, Leaver, & Dalton, 2008). Organiskt kol är bundet till organiskt material, det vill säga material som har vegetabiliskt eller animaliskt ursprung och som förekommer i olika nedbrytningsstadier. Massan av det organiska materialet i jorden utgörs av cirka 50% organiskt kol. Det organiska kolet blir primärt en del av SOM vid fotosyntes då vegetation binder koldioxid från atmosfären. Oorganiskt kol finns i jorden främst som beståndsdel av karbonatmineraler som är en vanlig mineralgrupp i jordskorpan.

Kolcykeln är ett flöde av kol som drivs av fysikaliska, kemiska och biologiska processer. Flödet kontrolleras främst av fotosyntes och respiration men även metangenes och fermentation är två viktiga processer (Cronan, 2018). Vid fotosyntes fixeras atmosfäriskt kol av fotosyntetiserande växter som binder kol i sin massa genom omvandling till bland annat kolhydrater, proteiner och fetter. Rubisco (ribulosbisfosfatkarboxylas-oxygenas) är ett enzym i växter som katalyserar delar av koldioxidfixeringen och som till stora delar innehåller både kväve och fosfor. Det betyder att fotosyntesen är beroende av näringsämnen och att tillgången till kväve och fosfor kontrollerar fixeringens tempo (Cronan, 2018). Enligt Lal m.fl. (2008) fotosyntetiserar terrestriell växtlighet årligen omkring 120 petagram ($1 \text{ Pg} = 10^{15} \text{ g}$) kol men att det mesta kolet återgår till atmosfären genom respiration från vegetation och jord. Respiration kan ses som en slutning av kolcykeln.

Metangenes är en anaerob nedbrytning av organiskt material i jorden och är vanlig förekommande i bland annat torvjord. Produkten blir metangas (CH_4) som är en stark växthusgas. Stora delar av den producerade metangasen oxideras till CO_2 innan metangasen hinner nå atmosfären. Denna process görs av metanotrofer, specialiserade mikroorganismer i jorden som använder CH_4 som energikälla (Cronan, 2018).

Figur 2

Flödesschema över kolcykel



Figur 2 visar en förenklad kolcykel mellan atmosfär och jord. (1) Växter tar upp CO_2 från atmosfären. (2) När växter dör faller de mot marken där det organiska materialet bryts ned. (3) Respiration sluter kolcykeln där CO_2 blir restprodukt som återgår till atmosfären. (4) Vid anaerob nedbrytning av organiskt material kan CH_4 bildas som är en stark växthusgas. CH_4 kan användas som energi av specialiserade mikroorganismer i jorden.

2.1.4. Fosfor och fosforcykeln

Till skillnad från både kol och kväve har fosfor ingen atmosfärisk gaskälla utan tillkommer i jorden genom vittring av fosforrikt berg samt genom gödsling och nedbrytning av organiskt material. Fosfor är, efter kväve, det näst mest begränsade näringsämne för terrestriell växtlighet (Blake m.fl., 2008). Näringsämnet är nyckelkomponent i bland annat organismers cellmembran samt DNA och är en viktig del för att fotosyntes hos växter ska fungera (Sadava m.fl., 2016).

I jord finns fosfor i organisk (P_o) och oorganisk (P_i) form. Fosfor i organisk form inkluderar fosfor som är bundet i döda växt- och djurrester samt som mikroorganismer i jorden. P_o behöver mineraliseras av mikroorganismer för att övergå i oorganisk form och bli tillgängligt för växter och andra organismer i jorden. Efter mineralisering finns P_i löst i jorden. Till skillnad från N så kontrolleras fosformineralisation inte av organismers behov av energi utan kontrolleras av tillgång till och behov av näringsämnet själv (McGill & Cole, 1981). P_i finns även i jorden som mineraler (primära och sekundära) och som bundna till jordpartiklar (Prasad & Chakraborty, 2019, 19 april).

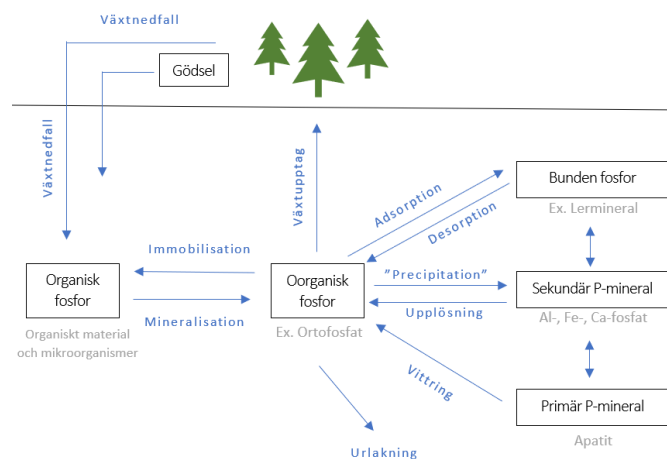
Transformation mellan organisk och oorganisk fosfor är både en biologisk och en fysikalisk-kemisk process. Mineralisation och immobilisation är biologiska processer. Vid mineralisation transformeras organisk fosfor till tillgänglig oorganisk fosfor. Fritt P_i kan immobiliseras av växter och organismer eller binda till jordpartiklar, däribland lerpartiklar. Denna snabba process kallas för adsorption och är reversibel. Den omvända processen kallas för desorption. Jord med högt innehåll av lera har därför hög adsorptionskapacitet och därmed låg halt av tillgänglig fosfor för organismer och växter. Som nämnt är vittring av fosforrikt berg en viktig källa för fosfor i jord och är en långsam geologisk process. Apatit är den mineralgrupp som är den långsiktiga primärkällan för fosfor i jorden, men som också släpper ifrån sig oorganisk fosfor långsamt. Det finns även sekundära mineraler i jorden som

släpper ifrån sig fosfor snabbare. De sekundära mineralerna bildas av fritt P_i och metalljoner som aluminium (Al^{3+}), järn (Fe^{3+}) och kalcium (Ca^{2+}). När dessa reagerar bildas mineraler som aluminiumfosfat, järnfosfat och kalciumfosfat. Genom upplösning kan P_i frigöras från de sekundära mineralerna. Fosfor kan lämna jordsystemen genom avrinning, erosion och lakning (Prasad & Chakraborty, 2019, 19 april; Frossard, m.fl., 2000). Figur 3 visar en förenklad bild över hur fosforcykeln i jordsystemet kan se ut.

Den största delen av jordsystemens fosfor hittas vanligtvis i de översta lagerna av jordprofilen. Det beror på människans tillskott av näringsämnen i form av gödsel, nedfall av organiskt material från vegetation samt att fosfor har en relativt begränsad mobilitet (Blake m.fl., 2008). I en studie från Kina visas däremot att halten av total fosfor (organisk och oorganisk) är relativt stabil genom jordprofilen (Tian, Chen, Zhang, Melillo & Hall, 2009). Halten av fosfor varierar mellan olika regioner men är generellt lägre i äldre jordar som har vittrats och urlakats under lång tid, till exempel jordar i Afrika och Australien (Blake m.fl., 2008).

Figur 3

Flödesschema över fosforcykeln



Figur 3 visar en förenklad bild över hur fosfor kan flöda i marken. (1) Fosfor tillkommer jorden genom vittring av primär fosformineral, växtnedfall och djurrester samt antropogen tillsats av gödsel. (2) Organiskt material bryts ned och näringsämnen mineraliserar till oorganisk form. (3) Fritt oorganiskt P kan immobiliseras och tas upp av växter. (4) Oorganisk fosfor kan binda till jordpartiklar, ex. lera, eller reagera med ex. aluminium och bilda sekundär P-mineral. Både bundet P och sekundära mineraler kan återgå till fritt oorganisk fosfor.

2.1.5. Mäta transformation av näringsämnen

Hur snabbt näringsämnen cirkulerar i jorden och omvandlas mellan organisk och oorganisk form är möjligt att mäta genom att tillsätta "märkta" näringsämnen till jordprover. Genom att följa hur det märkta näringsämnets koncentration förändras under tid och med beräkningar kan hastigheter för ämnets transformation bestämmas. Isotoper av näringsämnet används som märkning/färgning och kan tillsättas i organisk eller oorganisk form till jordprover (Kirkham & Bartholomew, 1955).

Kväve har två stabila isotoper: ^{14}N och ^{15}N . Den tyngre isotopen, ^{15}N , har en extra neutron och är ovanlig i naturen, det finns bara 0,37% av ^{15}N på vår planet. Av den anledningen samt att ^{15}N har en

tendens att stanna i substrat vid kemisk reaktion används isotopen som markör vid laboration om kvävekretslopp i jordsystem. Med spektrometrianalys kan man skilja ^{14}N och ^{15}N från varandra (Björnsne, 2018). Studier med ^{15}N som isotopsmarkör har genomförts sen mitten av 50-talet då Kirkham och Bartholomew (1955) publicerade en väl citerad artikel om metoden. Med metoden kan brutto- mineralisationshastighet och immobilisationshastighet beräknas. Eftersom man tillsätter extra kväve i form av ^{15}N , kan det betyda att mikroorganismer i jorden blir mer aktiva och att hastigheter därmed blir överskattade. Vidare problem är att få ut all tillsatt kväveisotop från jorden som görs genom extraktion. Vid extraktion vill man få loss så mycket tillsatt ^{15}N som möjligt från jorden men det finns en risk att allt inte går att extrahera. Detta kan bero på att mikroorganismer i jorden har tagit upp det tillsatta kvävet eller att isotopen har adsorberat till lerpartiklar eller organiskt material. Att inte all tillsatt kväve kan extraheras blir ett problem och påverkar resultatet negativt. Metoden kan därmed inte användas på alla jordar, exempelvis kan tillvägagångsättet inte användas på jordar med lågt kväveinnehåll (Björnsne, 2018).

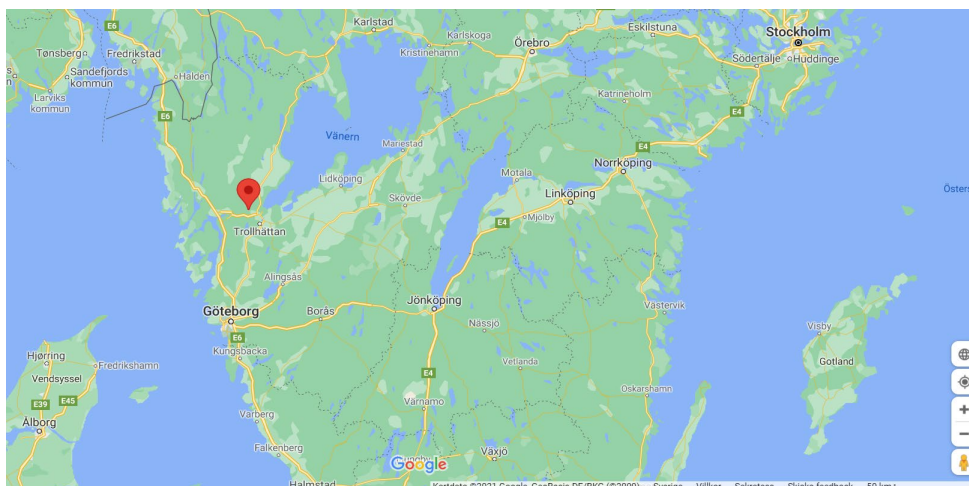
Tunga isotoper finns även naturligt i jorden men väljs oftast bort vid biologiska processer. Detta kallas för isotopdiskriminering och är en process som innebär att halten av tunga isotoper i jorden ökar med djupet (Högberg, 1997; Fry, 2006; Krüger, Leifeld, & Alewell 2014). Fry (2006) beskriver att de tunga isotoperna ofta väljs bort av organismer i jorden eftersom bindningarna tar längre tid att bryta än de lätta isotopernas bindning. Äldre jord som hittas i djupare profillager och som är mer bearbetad kan därför ha en ansamling av tunga isotoper som ^{15}N eller ^{13}C .

2.1.6. Skogaryd SITE

Skogaryds forskningsstation ligger ungefär 10 mil norr om Göteborg i närheten av Vänersborg och är en del av SITES (Swedish Infrastructure for Ecosystems Science). Forskningsstationen etablerades 2013 med syfte att belysa utsläpp av växthusgaser från skogsmark. Skogaryd erbjuder olika forskningsmiljöer så som myr, skog och sjö i en hemiboreal klimatzon där forskare kan bedriva observationer, miljöövervakning eller olika högteknologiska experiment. Latitud och longitud: 58.3738 N, 12.1648 E. Höjd över havet: 79 meter (SITES, u.å. & University of Gothenburg, 2020).

Figur 4

Karta över Sverige med Skogaryd utmarkerad



3. Syfte och frågeställning

Syftet med detta kandidatarbete är att studera delar av kol-, kväve-, och fosforcykeln, med ett fokus på brutto N-mineralisationshastighet. Med hjälp av laboratoriearbete kommer delar av näringscyklerna och jordens egenskaper undersökas med förändrat jordprofildjup.

Nedan frågor avses att besvaras i detta kandidatarbete:

- i. Hur varierar jordprovernas brutto N-mineralisationshastighet med profildjup?
- ii. Hur varierar jordprovernas innehåll av kol, kväve och fosfor med profildjup?
- iii. Finns det ett samband mellan brutto N-mineralisationshastighet och C/N kvot?
 - Om samband finns, vad är anledningen till sambandet?

4. Metod

I metoden ingår laborationer, informationshämtning från vetenskaplig litteratur samt beräkningar och statistiska analyser.

4.1. Vetenskaplig litteratur

Den vetenskapliga litteraturen har till störst del hämtats från Göteborgs universitetsbiblioteks sökmotor "supersök", men även genom Google Scholar och Web of Science. Nyckelord som har använts vid sökning är: C cycle, N cycle, P cycle, N mineralization, soil formation, C:N ratio, N:P ratio. Kurslitteratur och vetenskaplig litteratur som hänvisats av handledare har också använts i arbetet.

4.2. Laborationsarbete

I laborationsarbetet ingick flertal steg och experiment som listas nedan:

- Sortering av jordprover
- Fukthalt
- Innehåll av organiskt material
- Totalt innehåll av kol, kväve och fosfor
- ¹⁵N-experiment och mikrodiffusion
- Analys med IRMS

4.2.1. Provtagningsplats

Jordproverna som detta kandidatarbete baseras på är tagna i Skogaryd, mars 2021. Platsen där jorden är från kallas för Följemaden och är ett kalhygge som sen tidigare varit en myr. Kring 1870-talet dikades och dränerades platsen för jordbruk innan granskog planterats för cirka 70 år sen (Hill, 1999). 2019 höggs träden i Följemaden ned och under 2020 pågick olika projekt vid platsen för att bland annat minska utsläpp av växthusgaser från den tidigare myren. Jorden här är torvjord som har ett högt innehåll av organiskt material (SITES, 2020). Bild 1 är en karta över provtagningsområdet och visar sju provtagningspunkter, 22–28. I punkt 22–25 har jordprov från 0–5,5 m djup tagits, i punkt 26 har prov tagits från 0–2,76 m djup, i punkt 27 har prov tagits från 0–2,9 m djup och i punkt 28 har prov tagits från 0–4,5 m djup, se tabell 1. Proven har sedan delats upp i halvmeterssektioner. I detta projekt ingick inte fältarbete och jordprovstagning. Skälet till att proverna togs var för att det ska byggas en barriär i området och att geologiska uppgifter om berggrundens djup, lager av lera och sand, med mera, behövs för att bygget ska kunna planeras.

Bild 1

Karta över provtagningsplats – Skogaryd



Tabell 1

Provplatser och djup

Punkt:	22	23	24	25	26	27	28
Djup (m):	0–0,5	0–0,5	0–0,5	0–0,5	0–0,5	0–0,5	0–0,5
	0,5–1	0,5–1	0,5–1	0,5–1	0,5–1	0,5–1	0,5–1
	1–1,5	1–1,5	1–1,5	1–1,5	1–1,5	1–1,5	1–1,5
	1,5–2	1,5–2	1,5–2	1,5–2	1,5–2	1,5–2	1,5–2
	2–2,5	2–2,5	2–2,5	2–2,5	2–2,5	2–2,5	2–2,5
	2,5–3	2,5–3	2,5–3	2,5–3	2,5–2,76	2,5–2,9	2,5–3
	3–3,5	3–3,5	3–3,5	3–3,5			3–3,5
	3,5–4	3,5–4	3,5–4	3,5–4			3,5–4
	4–4,5	4–4,5	4–4,5	4–4,5			4–4,5
	4,5–5	4,5–5	4,5–5	4,5–5			
	5–5,5	5–5,5	5–5,5	5–5,5			
				5,5–5,83			

4.2.2. Sortering av jordproverna

Materiell och utrustning:

- Jordprover
- Bricka eller balja
- Förslutbara plastpåsar
- Plasthandskar
- Markeringspenna
- Tidtagarur

Ett första steg för att kunna genomföra alla laborationer var att rensa och sortera jorden från större organiskt och oorganiskt material, som till exempel rötter, vegetation och gruskorn. Detta genomfördes genom att jord hälldes i en vit plastbalja och därefter rensades förhand i 10 minuter (\pm 2 min) med plasthandskar. Den rensade jorden förvarades i förslutbara plastpåsar som markerades med provtagningspunkt och djup. Påsarna med jordproverna förvarades i ett 5 gradigt kylrum.

I brist på mängd jord poolades jordprover samman från två olika provtagningspunkter från samma djup i 5 minuter (± 1 min). Dessa sammanmixade prover namngavs på nytt. I tabell 2 och 3 visas hur det nya namnsystemet fungerar. Denna mixade jord användes för ^{15}N -experimentet.

Tabell 2

Punkt:		Bokstav:
22 + 23	→	A
24 + 25	→	B
26 + 27	→	C
28	→	D

Tabell 3

Nytt namnsystem – tabell 2 och 3 visar det nya namnsystemet efter sammanblandning av jord. Ex. jord från punkt 22 blandas med jord från punkt 23 och får en bokstav som namn: A. Beroende på vilket djup jorden var från får bokstaven sällskap av ett nummer. Jord A1 är jord från punkt 22 och 23 från djup 0–0,5 m.

Djup (m):		Nr:
0–0,5	→	1
0,5–1	→	2
1–1,5	→	3
1,5–2	→	4
2–2,5	→	5
2,5–3	→	6
3–3,5	→	7
3,5–4	→	8
4–4,5	→	9
4,5–5	→	10
5–5,5	→	11
5,5–5,83	→	12



Bild 2 & 3 visar jord i osorterad form.

4.2.3. Fukthalt – Gravimetriskt vatteninnehåll

Materiell och utrustning:

- Våg
- Sked
- Papperspåsar
- Ugn, 50°

För att räkna fram jordprovernas fukthalt vägdes ca 5–10 g jord upp i små papperspåsar. Påsarnas massa noterades innan jorduppvägningen och efter. I en 50 graders varm ugn torkades jorden. Efter torkning vägdes påsarna med innehåll och med hjälp av nedan ekvation räknas det gravimetriska vatteninnehållet ut. Jord från samtliga provtagningsplaster och djup användes.

$$\text{Gravimetriskt vatteninnehåll} = \frac{m_{\text{vatten}}}{m_{\text{torr jord}}} \times 100\%$$



Bild 4 & 5 visar papperspåsar med jord som ska torkas i ugn på 50 grader.

4.2.4. Innehåll av kol och kväve

Materiell och utrustning:

- Kulkvarn
- Våg
- Pincett
- Provbrickor
- Tennbehållare
- Standardjord

Torkad jord från föregående steg användes för att få fram jordens totala innehåll av kol och kväve. Jord från samtliga provtagningsplaster och djup användes. Jorden maldes i en kulkvarn där två mindre kulor maler ner den torkade jorden till ett fint pulver med hjälp av skakningar från maskinen (se bild 6 och 7). Efter varje malning diskades utrustningen ur noga och torkades torrt med papper.

Jordproverna placerades i tennkapslar och analyserades sedan i Isotope Ratio Mass Spectrometry (IRMS). Tennkapslarna förberedes förhand med pincetter och noga precision. 5 mg respektive 40 mg jord placerades i kapslarna som veks ihop med hjälp av pincetter, rullades till en boll och placerades i en provbricka för analys. Alla kapslar hade ett unikt namn och massa antecknades. Om tennkapslarna skulle innehålla 5 mg eller 40 mg jord berodde på innehåll av lera. I de djup där lera dominerade jordtexturen, ungefär från 3 meters djup och nedåt, skulle 40 mg jord användas för analys. Detta fastställdes efter testomgångar. I dessa prover var innehållet av C och N mycket lägre än prover där lera inte dominerade texturen och därmed behövdes mer jord för att IRMS-analys skulle lyckas.

För var tionde kapsel med jord skulle två standardreferenser skapas med standardjord. För detta kandidatarbete användes "high organic content soil standard" och "low organic content soil standard". Vilken standardjord som skulle användas berodde på jordprovets innehåll av C och N. Vid djup 0-ca 3 meter var halten av lera låg och C-, N-innehåll hög. 5 mg jord från respektive punkt och djup behövdes och till dessa prov användes "high organic content soil standard" för att matcha det organiska innehållet i jorden. Vid djup ca 3–5,5 meter användes "low organic content soil standard".



Bild 6 & 7 visar utrustning och skakmaskin som malde jordproverna.

4.2.5. Halt av organiskt material, soil organic matter (SOM)

Materiell och utrustning:

- Porslinsdeglar
- Skedar
- Våg
- Blyertspenna
- Ugn

Torkad och mald jord från samtliga provtagningsplaster och djup användes vid detta steg. Porslinsdeglar märktes upp på undersidan av degeln med blyertspenna och vägdes för att anteckna degelns massa. Cirka 2 gram torkad jord tillsattes och massa antecknades. I en ugn på 550 grader brändes proven under 8 timmar för att sedan vägas om på nytt. Med hjälp av nedan ekvation räknades jordens organiska innehåll ut:

$$SOM = \frac{m_{torr} - m_{bränd}}{m_{torr} - m_{degel}} \times 100\%$$



Bild 8 visar porslinsdeglar med jord i en ugn som användes för att bestämma SOM.

4.2.6. Innehåll av fosfor

Metoden för att bestämma halt fosfor i jordproven baseras på Saunders och Williams (1955) arbete om fosforextrakt samt Ohno och Zibilske (1991) arbete om hur fosfor kan detekteras i extrakt med hjälp av färgämnet malakitgrönt och spektrometri. Laborationen har genomförts av handledare Louise C. Andresen.

Materiell, utrustning och kemikalier:

- Plastmuggar
- Filterpapper
- Skakbord
- Pipetter
- Spektrofotometer
- Vatten
- 0,5 M svavelsyra, H₂SO₄
- Kaliumhydroxid, KOH
- Reagent I och II

Bränd jord från varje punkt och djup från föregående steg (SOM) användes vid laboration. Till varje jordprov hölls 10 respektive 20 ml svavelsyra som sen ställdes på skakbord i 16 timmar för omrörning. Därefter filtrerades proven. I 1 ml extrakt tillsattes 6 ml vatten, 0,81 ml KOH och totalt 1 ml av reagent I och II. Reagenterna innehöll färgämnet malakitgrönt för att göra lösningen grönfärgad. Med spektrofotometri analyserades proven för att få fram fosforinnehållet i jorden.

4.2.7. ¹⁵N experiment – brutto N-mineralisationshastighet

Materiell, utrustning och kemikalier:

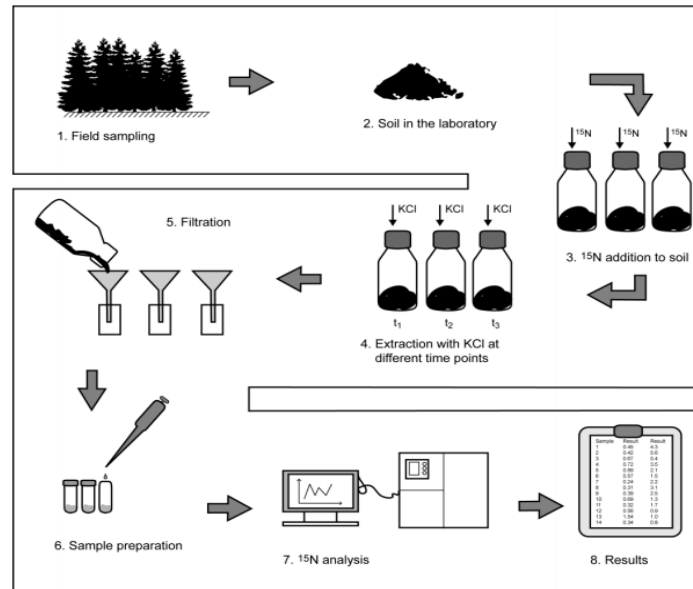
- Våg
- Flaskor, 81st
- Burkar, 162 st
- Markeringspenna
- Skedar
- Inkubationsskåp
- Spruta, 6 x 25 mm
- Tidtagarur/klocka
- Mätglas, 100 ml, 25 ml, 10 ml
- Skakbord
- Whatman filterpapper
- Förslutbara plastpåsar
- Eppendorfrör
- Ståltråd och bitar av filterpapper (Whatman Glass microfibre filters)
- Pipetter och pincetter
- Salt av ammoniumsulfat ((NH₄)₂SO₄), 99% ¹⁵N samt 5,5% ¹⁵N
- 1 M KCl
- Magnesiumoxid, MgO
- 2 M svavelsyra, H₂SO₄

Flera olika delsteg ingick i experimentet som i stora drag listas nedan och som visas i figur 5:

1. Markera glasflaskor och plastmuggar
2. Väga 10 g jord i flaskor → inkubation
3. Tillsätta ammoniumsulfat – "labeling"
4. Extraktion och filtrering
5. Mikrodifffusion
6. Bereda prov för IRMS

Figur 5

Flödesschema över ^{15}N -experiment



Figur 5 visar ett flödesschema över ^{15}N -experimentet. (1) Jordprov från Skogaryd togs och i labb (2) sorterades och förberedes jorden inför "labeling", (3), det vill säga tillsats av ammonium berikat med ^{15}N . (4) Efter tre olika tider extraherades proven med KCl. (5) Filtrering och (6) mikrodifffusion innan (7) IRMS analys av proven som gav (8) resultaten. Flödesschema av Björnsne (2018).

Inför experimentet hade jord mixats samman som beskrivs i **punkt 4.2.2**. Jorden som används sträcker sig från 0–3,5 meter. Detta intervall valdes ut eftersom djupare jord domineras av lera vilket inte lämpar sig för denna metod. Leran hade absorberat tillsatt ^{15}N och extraktion hade inte varit möjlig. 10 g ($\pm 0,2$ g) jord vägdes upp i respektive glasflaska och massa antecknades. Glasflaskorna med jord i fick sen stå i inkubationsskåp i två dagar, 20 °C. Flaskorna hade förberetts och märkts upp dagen innan och för varje jordprov behövdes tre glasflaskor för tre olika tidsserier, T_1 , T_2 , T_3 . Dubbelt så många plastmuggar hade samtidigt förberetts och märkts upp.

En lösning av ^{15}N -ammonium blandades samman genom att väga upp 3,017 mg, salt av ammoniumsulfat, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, och blanda med 45 ml vatten. Saltet var berikat med ^{15}N isotoper, 99%. 0,5 ml av ^{15}N -ammonium fördelades jämt över jorden i respektive flaska med hjälp av en spruta. Det betyder att 0,75 μg ^{15}N per gram jord tillsattes. Tillsatsen gjordes under tre olika tillfällen med ordningen T_3 , T_2 , T_1 . Exakt tid när tillsatsen gjordes och hur lång tid det tog antecknades. Tidserie T_3 stod i inkubationsskåp i 4 dagar med ^{15}N -ammonium innan extraktion, T_2 stod i inkubationsskåp under 24h och T_1 stod under 30 minuter med ^{15}N -ammonium innan extraktion.

Vid extraktion tillsattes 20 ml av 1 M KCl till jordproven. Tid antecknades. Direkt efter tillsats skruvades locket på flaskan och försiktigt skakades provet i ca 10–15 sekunder innan flaskan ställdes på ett skakbord som blandar proverna i 60 minuter, 120 rpm. Filtrering genomfördes efter 30 minuters sedimentation. Efter filtrering torkades alla filterpapper som förvarades i förslutbara

plastpåsar. Extrakten förvarades i kylskåp fram till nästa steg; mikrodifffusion, som baseras på Brooks, Stark, McInteer & Preston (1989) framarbetade metod.

Inför mikrodifffusionen förberedes Eppendorfrör med 0,2 g magnesiumoxid, MgO. Ståltråd böjdes och provades ut för horisontell placering i plastmuggar. Små bitar av filterpapper skars med skalpell som firades på ståltråden med hjälp av pincetter, se bild 14. En standardlösning skapades för standardreferenser. 83,61 mg ammoniumsulfat, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 5,5% ^{15}N , vägdes upp och blandades ut med 100 ml KCl. 10 ml av lösningen spädes ut med 90 ml KCl. I plastmuggar skapades referenslösning genom att späda ut lösningen ytterligare; 0,2 ml av utspädd lösning + 8 ml KCl. För var tionde extrakt behövdes 2 standardreferenser.

I dragskåp blötlades de hängande bitarna av filterpapper med 2 x 10 μl droppar av 2 M svavelsyra, H_2SO_4 . Pappersbitarna vilade därefter i maximum 10 minuter för att syran skulle fördelas jämnt över ytan. I ett snabbt flöde tillsattes MgO till extraktet/standardreferensen och ståltråden med filterpapper placerades tvärsöver muggens väggar med pincetter. Detta gjordes under en fläkt och locket sattes snabbt på efter beredning och rördes om försiktigt. Extrakt och standardreferenser stod i rumstemperatur i 6 dagar. Även tre blankprov gjordes. När MgO tillsattes extraktet blev lösningen basisk och ammonium, (NH_4^+) , omvandlas till ammoniak, (NH_3) . Filterpapperet som hade blötlagts med syra fångade upp ammoniak från extraktet. Efter 6 dagar kunde locken öppnas och de små bitarna av filterpapper placerades i små silverkapslar (se bild 15) där pappret skulle torka innan kapseln stängdes igen och omslötts av en tennkapsel som sedan analyserades i IRMS.



Bild 9: 0,5 ml ^{15}N -ammonium tillsätts med spruta



Bild 10: extraktion, 20 ml KCl tillsätts med mätglas



Bild 11: direkt efter extraktion ställs jordproverna på skakbord i 60 minuter

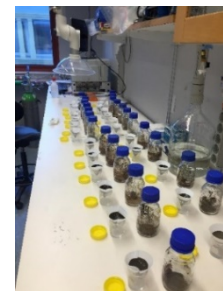


Bild 12: jord filtreras



Bild 13: torkade filterpapper förvarades i plastpåsar

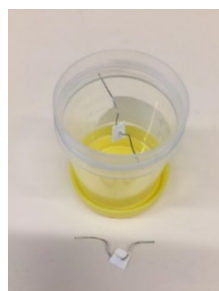


Bild 14: mikrodifffusion, bitar av filterpapper trådes på ståltråden som placerades tvärsöver muggens innerväggar



Bild 15: filterpapper torkar på utbredda silverkapslar. Intakta silverkapslar syns i vänstra nedre hörnet

4.3. Beräkningar och statistiska analyser

Med följande ekvation, som har utvecklats av Kirkham och Bartholomew (1955) beräknades brutto N-mineralisationshastighet. Ekvationen presenteras enligt Davidson, Hart, Shanks, & Firestone (1991).

$$(1) m = \frac{M_0 - M_1}{t} \times \frac{\ln(H_0 M_1 / H_1 M_0)}{\ln(M_0 / M_1)}$$

$$(2) c = \frac{M_0 - M_1}{t} \times \frac{\ln(H_0 / H_1)}{\ln(M_0 / M_1)}$$

M_0 = initial $^{14+15}\text{N}$ pool
 M_1 = efter inkubation $^{14+15}\text{N}$ pool
 H_0 = initial ^{15}N pool
 H_1 = efter inkubation ^{15}N pool
 m = mineralisationshastighet
 c = immobilisationshastighet
 t = tid

Beräkningarna genomfördes mellan de olika tidsserierna T_1 , T_2 och T_3 (T_1-T_2 , T_1-T_3 , T_2-T_3) där jord från fyra olika provplatser ingick (A, B, C, D) från 0–3,5 meters djup. Därmed blev resultatet av beräkningarna tre serier av brutto N-mineralisationshastigheter. Det var skillnader i ammoniumhalt och ^{15}N mellan tidsserierna som användes vid beräkning. Avvikande och orealistiska data valdes bort.

Genom att jämföra de framräknade hastigheterna med tidigare studier valdes en representativ serie ut. Tidigare studier som användes i jämförelsen är Holz m.fl. (2016), Bjørsne (2010) och Andresen m.fl. (2016). I tabell 4 syns tidigare brutto N-mineralisationshastigheter som skulle ge en indikation på vilken serie av hastigheter som var representativ för arbetet. Studierna av Holz (2016), Bjørsne (2010) och Andresen (2016) är gjorda med jord från samma område som detta arbete men från olika år och djup. Studien av Holz m.fl. använder jord från maj 2013 och är en in situ studie vilket den är ensam om. Bjørsnes jordprover är tagna i april 2010 och Andresens jordprover är från april 2014. Dessa två är gjorda i labb. Den utvalda serien av mineralisationshastigheter blev T_1-T_3 med en medelhastighet på 0,29 $\mu\text{g N g}^{-1} \text{h}^{-1}$ vid djup 0–0,5 m. Vid djup 1,5–2 m fanns avvikande data som behandlades genom att göra ett medelvärde från tidsserien T_2-T_3 .

Tabell 4

Jämförande studier

	m ($\mu\text{g N g}^{-1} \text{h}^{-1}$)	Djup (cm)
Holz m.fl. (2016)	0,18	0–5,5
Bjørsne (2010)	0,18–0,33	0–10
Andresen m.fl. (2016)	0,24	0–10

I Excel har tabeller och figurer tagits fram och i SPSS har statistiska analyser genomförts. I denna studie har korrelationsanalys utförts, vilket visar det linjära sambandet mellan två variabler. Vald signifikansnivå för studien är 5%.

5. Resultat

Tabell 5

Korrelationsanalys – i tabellen visas korrelationskoefficient som Pearson Correlation och p-värde efter Sig. (2-tailed). Ett negativt värde på Pearson Correlation tyder på en negativ korrelation. En stark korrelation ligger nära 1 alternativt -1. Signifikanta p-värden är markerade i fetstilt.

		Djup	Fosforhalt	Mineralisations- hastighet	C/N kvot	SOM	Kolhalt	Kvävehalt	Fukthalt	N/P kvot
Djup	Pearson Correlation	1	-0,785**	-0,709	-0,920**	-0,922**	-0,919**	-0,924**	-0,895**	-0,877**
	Sig. (2-tailed)		0,004	0,075	0,003	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000
	N	11	11	7	7	7	11	11	11	11
Fosforhalt	Pearson Correlation	-0,785**	1	0,964**	0,835*	0,882**	0,934**	0,932**	0,948**	0,597
	Sig. (2-tailed)	0,004		0,000	0,019	0,009	0,000	0,000	0,000	0,053
	N	11	11	7	7	7	11	11	11	11
Mineralisations- hastighet	Pearson Correlation	-0,709	0,964**	1	0,861*	0,916**	0,914**	0,921**	0,926**	0,288
	Sig. (2-tailed)	0,075	0,000		0,013	0,004	0,004	0,003	0,003	0,532
	N	7	7	7	7	7	7	7	7	7
C/N kvot	Pearson Correlation	-0,920**	0,835*	0,861*	1	0,977**	0,980**	0,914**	0,858*	0,454
	Sig. (2-tailed)	0,003	0,019	0,013		0,000	0,000	0,004	0,013	0,306
	N	7	7	7	7	7	7	7	7	7
SOM	Pearson Correlation	-0,922**	0,882**	0,916**	0,977**	1	1,000**	0,980**	0,934**	0,518
	Sig. (2-tailed)	0,003	0,009	0,004	0,000		0,000	0,000	0,002	0,233
	N	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Kolhalt	Pearson Correlation	-0,919**	0,934**	0,914**	0,980**	1,000**	1	0,986**	0,961**	0,776**
	Sig. (2-tailed)	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000		0,000	0,000	0,005
	N	11	11	7	7	7	11	11	11	11
Kvävehalt	Pearson Correlation	-0,924**	0,932**	0,921**	0,914**	0,980**	0,986**	1	0,986**	0,825**
	Sig. (2-tailed)	0,000	0,000	0,003	0,004	0,000	0,000		0,000	0,002
	N	11	11	7	7	7	11	11	11	11
Fukthalt	Pearson Correlation	-0,895**	0,948**	0,926**	0,858*	0,934**	0,961**	0,986**	1	0,817**
	Sig. (2-tailed)	0,000	0,000	0,003	0,013	0,002	0,000	0,000		0,002
	N	11	11	7	7	7	11	11	11	11
N/P kvot	Pearson Correlation	-0,877**	0,597	0,288	0,454	0,518	0,776**	0,825**	0,817**	1
	Sig. (2-tailed)	0,000	0,053	0,532	0,306	0,233	0,005	0,002	0,002	
	N	11	11	7	7	7	11	11	11	11

Kommentar: För alla jordegenskaper, förutom mineralisationshastighet, används jord från samtliga provplatser och djup. För mineralisationshastighet används ihop-poolad jord mellan 0–3,5 m. *Korrelation är signifikant på 0,05-nivå. **Korrelation är signifikant på 0,01-nivå.

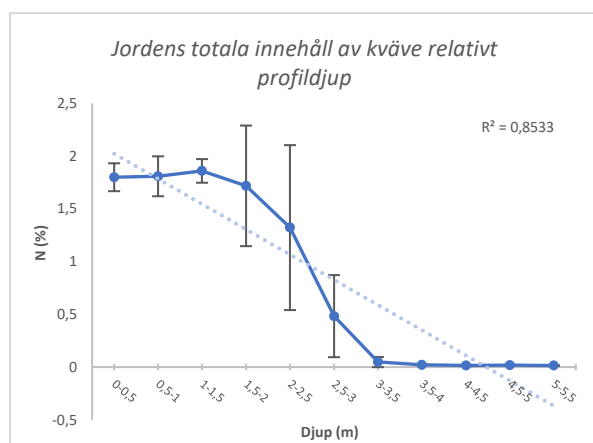
Tabell 6.

Jordegenskaper relativt profildjup – i tabellen syns hur medelvärden av fukthalt, SOM, C/N och N/P varierar med djup. Samtliga jordegenskaper minskar med profildjupet och de negativa korrelationerna är signifikanta. p -värde $<0,01$. Medelvärdena (standardavvikelse) är baserade på data från alla provtagningspunkter och djup.

Djup (m)	0–0,5	0,5–1	1–1,5	1,5–2	2–2,5	2,5–3	3–3,5	3,5–4	4–4,5	4,5–5	5–5,5	Sig.
Fukthalt (%)	74,5 (2,7)	83,4 (2,1)	87,5 (2)	83,2 (8,5)	73,4 (22,5)	53,7 (23,8)	33,2 (11,3)	33,3 (9,8)	31,9 (11,1)	34,6 (7,9)	32,5 (8)	0,000
SOM (%)	70,1 (5,8)	72,9 (6)	77,4 (5,7)	60,1 (19,9)	37,9 (22,4)	14,1 (8,9)	0,9 (2)	1 (2,1)	1 (2,2)	2,4 (2,8)	0	0,000
C/N	21,45	22,41	23,15	19,05	15,37	14,04	12,61	14,58	13,31	12,14	12,74	0,003
N/P	59,41	35,65	30,41	33,02	37,01	42,25	5,19	2,43	1,67	1,84	1,53	0,000

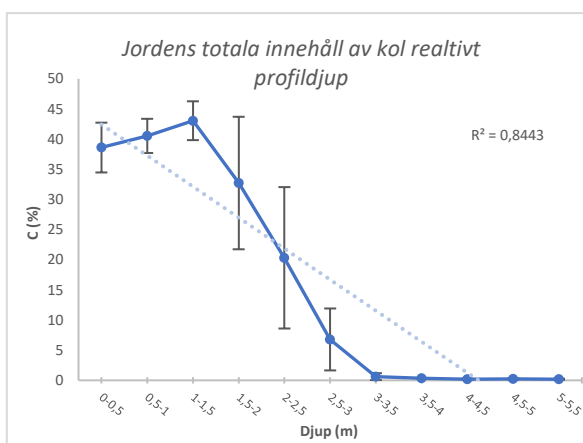
Figur 6, 7 och 8 visar hur jordens totala innehåll av kväve, kol och fosfor varierar med jordprofildjup. Punkterna är medelvärden med data från samtliga provtagningspunkter och djup. Figur 6 och 7 visar starka negativa korrelationer med korrelationskoefficient på $-0,92$ för kväve respektive $-0,92$ för kol samt förklaringsgrad på $85,33\%$ respektive $84,43\%$. Fosfor (figur 8) visar också negativ korrelation med en korrelationskoefficient på $-0,79$ och en förklaringsgrad på $61,68\%$. De linjära sambanden mellan djup och näringsinnehåll är signifikant med p -värden $<0,01$. Halt av kol minskar snabbare och mer radikalt med djupet än halt av kväve och fosfor.

Figur 6



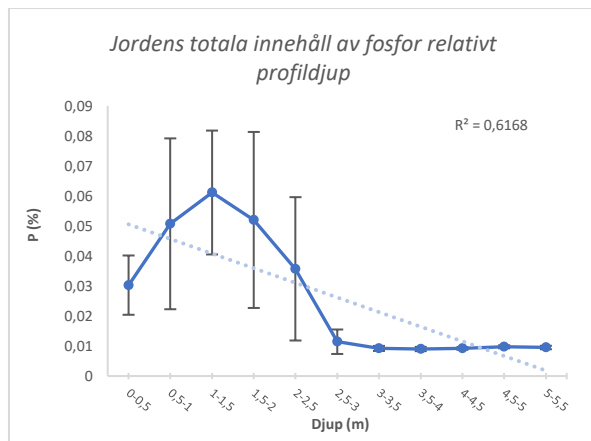
Figuren visar hur jordens innehåll av N minskar med jorddjupet. Korrelationen är starkt negativ med en korrelationskoefficient på $-0,92$ och en förklaringsgrad $85,33\%$. p -värde $<0,01$. Felstaplar visar standardavvikelse och streckad linje är trendlinje. Jord som använts vid analys är från samtliga provtagningsplatser och djup.

Figur 7



Figuren visar hur innehåll av C minskar med jorddjupet. Korrelationen är starkt negativ med en korrelationskoefficient på $-0,92$ och en förklaringsgrad på $84,43\%$. p -värde $<0,01$. Felstaplar visar standardavvikelse och streckad linje är trendlinje. Jord som använts vid analys är från samtliga provtagningsplatser och djup.

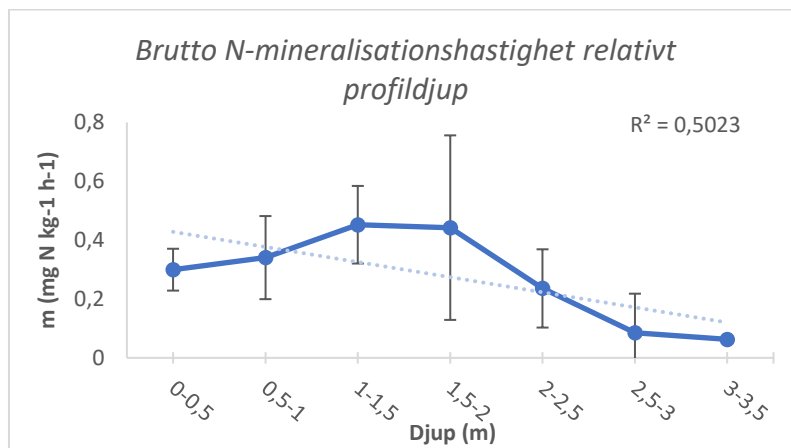
Figur 8



Figuren visar hur jordens innehåll av P minskar med jorddjupet. Korrelationen är negativ med en korrelationskoefficient på $-0,79$ och en förklaringsgrad på $61,68\%$. p -värde $<0,01$. Felstaplar visar standardavvikelse och streckad linje är trendlinje. Jord som använts vid analys är från samtliga provtagningsplatser och djup.

I figur 9 syns hur brutto N-mineralisationshastighet varierar med profildjup. På x-axel syns djup (m) och y-axel visar mineralisationshastighet ($\text{mg N kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$). Den streckade trendlinjen visar en negativ trend med en korrelationskoefficient på $-0,71$ och en förklaringsgrad på $50,23\%$. Det linjära sambandet är inte signifikant då p -värde $>0,05$. (p -värde= $0,075$). Figuren visar resultat mellan tidsserie T_1 och T_3 vilket blev den utvalda serien av mineralisationshastigheter. Datapunkterna är medelvärden av hastigheter i respektive djup från poolade prov A, B, C och D.

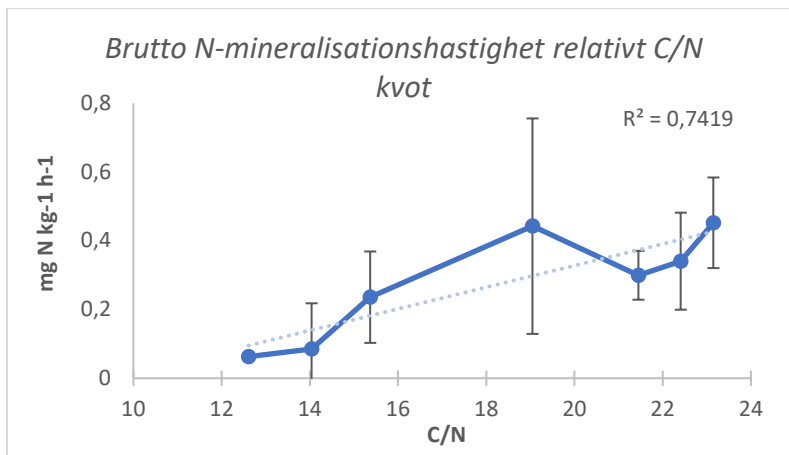
Figur 9



Figuren visar hur brutto N-mineralisationshastighet minskar med djupet. x-axel visar djup (m) och y-axel visar hastighet ($\text{mg N kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$). Jorden som används vid analys är ihop-poolad jord (A, B, C, D) från djup 0–3,5 m. Felstaplarna visar standardavvikelse och den streckade linjen är trendlinje. Korrelationen mellan mineralisationshastighet och djup är inte signifikant (p -värde= $0,075$).

I figur 10 visas sambandet mellan brutto N-mineralisationshastighet och C/N kvot. Det linjära sambandet är positivt med en korrelationskoefficient på $0,86$ och en förklaringsgrad på $74,19\%$. Korrelationen är signifikant då p -värde $<0,05$ (p -värde= $0,013$).

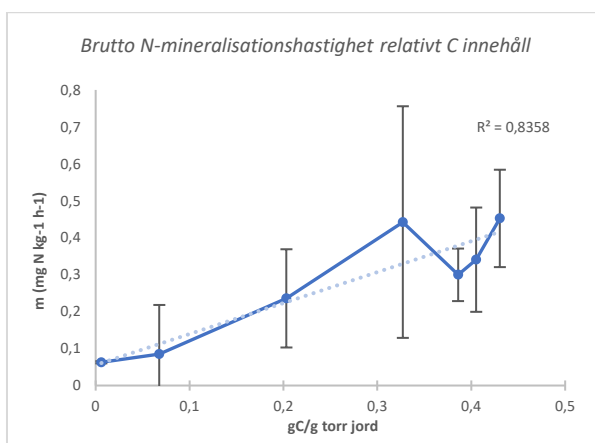
Figur 10



Figur 10 visar en signifikant positiv korrelation mellan N-mineralisationshastighet och C/N kvot. Felstaplarna visar standardavvikelse och den streckade linjen är trendlinje. Data över C/N kvot baseras på jord från samtliga provtagningsplatser och data över mineralisationshastighet baseras på poolad jord.

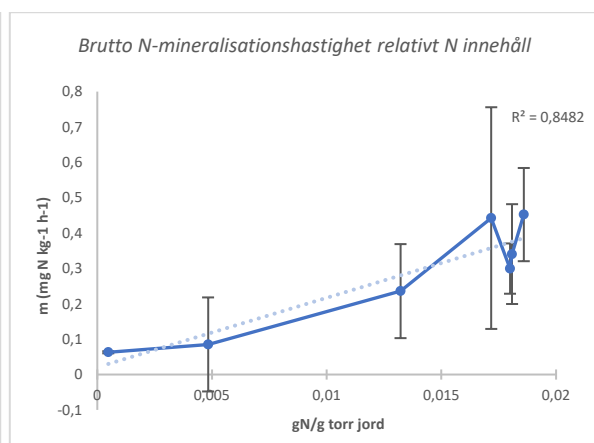
Figur 11 och 12 visar hur brutto N-mineralisationshastigheten varierar med jordens innehåll av kol respektive kväve. x-axeln i figur 11 visar jordens innehåll av kol som gram kol per gram torr jord och x-axeln i figur 12 visar jordens innehåll av kväve som gram kväve per gram torr jord. y-axeln visar mineralisationshastighet i mg N kg⁻¹ h⁻¹. Sambandet mellan mineralisationshastighet och mängd kol i jorden är positivt med en korrelationskoefficient på 0,91 och en förklaringsgrad på 83,58%. *p*-värdet för korrelation ligger på 0,004 vilket tyder på ett signifikant resultat. Sambandet mellan mineralisationshastighet och kväveinnehåll i jorden är positivt med en korrelationskoefficient på 0,92 och en förklaringsgrad på 84,82%. Korrelationen är signifikant då *p*-värde < 0,05 (*p*-värde=0,003).

Figur 11



I figuren visas hur N-mineralisationshastighet ökar vid en ökad halt C i jorden. Sambandet är signifikant. Felstaplar visar standardavvikelse och streckad linje är trendlinje. Data över kolinnehåll baseras på jord från samtliga provtagningspunkter och data över mineralisationshastighet baseras på ihop-poolad jord.

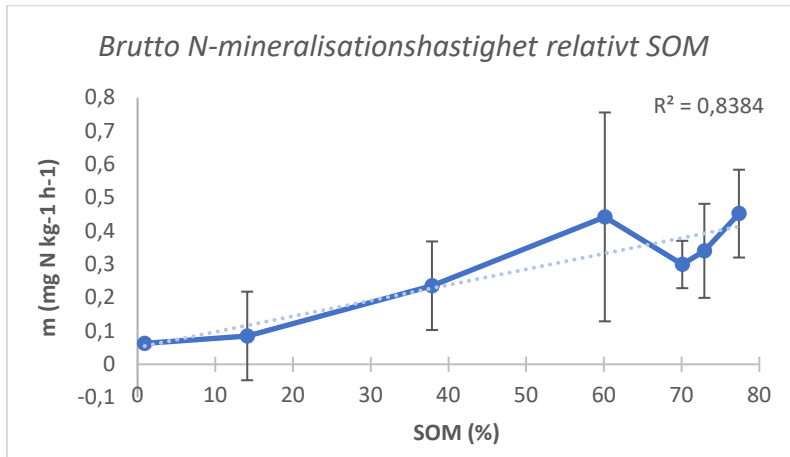
Figur 12



I figur 12 syns hur N-mineralisationshastighet ökar vid en ökad halt N i jorden. Sambandet är signifikant. Felstaplar visar standardavvikelse och streckad linje är trendlinje. Data över kväveinnehåll baseras på jord från samtliga provtagningspunkter och data över mineralisationshastighet baseras på ihop-poolad jord.

Figur 13 visar sambandet mellan brutto N-mineralisationshastighet och jordens innehåll av organiskt material. Korrelationen är signifikant (p -värde=0,004) och sambandet är positivt med en korrelationskoefficient på 0,92 och en förklaringsgrad på 83,84%.

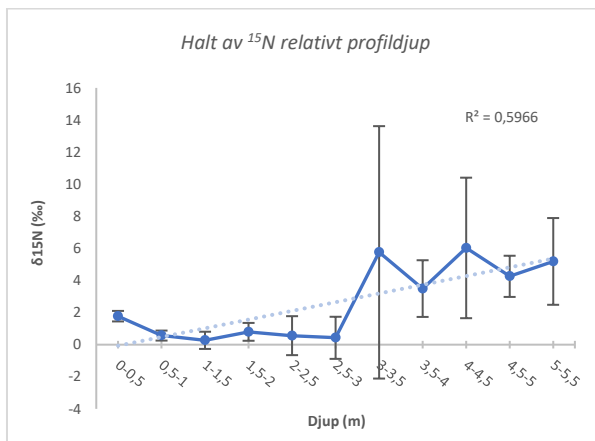
Figur 13



Figur 13 visar hur brutto N-mineralisationshastigheten ökar vid en ökad halt av SOM i jorden. Korrelationen är signifikant. Felstaplar visar standardavvikelse och streckad linje är trendlinje. Data över SOM-halt baseras på jord från samtliga provtagningspunkter och data över mineralisationshastighet baseras på ihop-poolad jord.

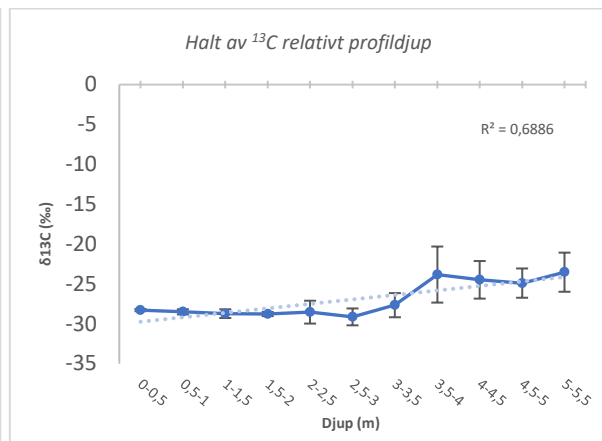
I figur 14 och 15 syns hur halten av isotoperna ¹⁵N och ¹³C ökar i jorden med ökat djup. Sambanden är signifikanta med p -värden <0,05, se tabell 7. x-axel visar djup (m) och y-axel visar halt av ¹⁵N respektive ¹³C, (‰). Punkterna är medelvärden med data från samtliga provtagningsplatser och djup. Värdena i figur 14 och 15 är relativa till en internationell standard därav är negativa värden möjliga vilket syns för ¹³C. Negativa värden tyder på att halten är lägre än referensstandardern.

Figur 14



I ovan figur visas hur halt av isotopen ¹⁵N varierar med jordprofildjupet. x-axel visar djup och y-axel visar innehåll av ¹⁵N (‰). Trendlinjen tyder på ett positivt samband med en korrelationskoefficient på 0,77 och en förklaringsgrad på 59,66%. Korrelationen är signifikant med ett p -värde på 0,005. Jord som används vid analys är från samtliga provtagningsplatser och djup.

Figur 15



Figuren visar hur halt ¹³C varierar med djupet. Resultatet tyder på att halten ökar med ett ökat djup. Korrelationskoefficienten ligger på 0,83 och förklaringsgraden på 68,86%. Korrelationen är signifikant, p -värde=0,002. Skälet till negativa värden är att halten ¹³C är lägre i jordproverna relativt internationell referensstandard. Jord som används vid analys är från samtliga provtagningsplatser och djup.

Tabell 7

Korrelationsanalys – I tabellen visas korrelationskoefficient som Pearson Correlation och p-värde efter Sig. (2-tailed). Ett negativt värde på Pearson Correlation tyder på en negativ korrelation. En stark korrelation ligger nära 1 alternativt -1. Signifikanta p-värden är markerade i fetstilt.

	Djup	¹³ C	¹⁵ N	
Djup	Pearson Correlation	1	0,830**	0,772**
	Sig. (2-tailed)		0,002	0,005
	N	11	11	11

Kommentar: Data över ¹³C-halt och ¹⁵N-halt är från samtliga provtagningspunkter och djup. *Korrelation är signifikant på 0,05-nivå. **Korrelation är signifikant på 0,01-nivå.

6. Diskussion

Resultaten och analyserna av brutto N-mineralisationshastighet grundar sig i att en serie av uträknade hastigheter valdes ut. Detta gjordes genom att jämföra detta arbetes mineralisationshastigheter med tidigare genomförda studier. I tabell 4 visas de tre studier med respektive brutto N-mineralisationshastighet som arbetet har jämförts med. De tre tidigare undersökningarna av Holz m.fl. (2016), Bjørsne (2010) och Andresen m.fl. (2016) har många likheter med detta arbete men också olikheter som kan påverka resultat och jämförelse. Undersökningarnas jordprov är till exempel tagna från olika år samt från olika djup. Studiernas provtagning, inklusive detta arbete, är också gjort under tre olika månader. Jorden från detta arbete är taget i mars (2021) jämfört med studien av Holz m.fl. där jorden är tagen i maj (2013). Två månader som kan skilja sig stort åt när det kommer till väder. Marsmånad förväntas vara kallare än maj som kan påverka N-mineralisationshastigheter, eftersom minskad temperatur i jorden saktar ner kväve-mineralisation (Puri & Ashman, 1998). Med detta i åtanke väntas Holz m.fl. (2016) mineralisationshastighet vara högre än detta arbete. Det är också värt att framhålla att det kan finnas variation mellan årsmedeltemperatur. En stor skillnad mellan de jämförande studierna och denna studie är att skogen i området avverkades 2019 vilket betyder att Holz m.fl. (2016), Bjørsne (2010) och Andresen m.fl. (2016) baserar sina studier med jord från en skog medan detta arbete baseras på jord från ett kalhygge. Avverkning av skog är ett stort ingrepp för mikroklimat och för jord. Exempelvis kan färre skuggande träd öka solinstrålning vilket kan leda till högre temperatur och torrare klimat, faktorer som påverkar bland annat flöde av kväve i jorden, dels positivt, dels negativt (Puri & Ashman, 1998). Men trots olikheter mellan studierna och denna fanns det en serie brutto N-mineralisationshastighet som ansågs representativ för arbetet då topplagrets hastighet var snarlik Holz m.fl. (2016), Bjørsne (2010) och Andresen m.fl. (2016). Skiljaktigheterna godtogs och efter jämförelse mot studierna valdes serie T₁-T₃ med en brutto mineralisationshastighet på 0,29 µg N g⁻¹ h⁻¹ vid djup 0–50 cm.

Resultatet i denna studie visar att jordens totala innehåll av kol, kväve och fosfor varierar med djupet (Figur 6, 7 och 8). Halt av näringsämnen minskar med jordprofilens djup och resultatet stärks av tidigare studier och teori (Adhikari m.fl., 2014; Hiederer, 2011). Minskningen av C, N och P korrelerar med SOM, som också minskar med jordens djup (se tabell 5 och 6). Det linjära sambandet kan ses som normalt då SOM är växt- och djurrester i nedbrytningsfas. Med tidens gång bryts det organiska materialet sakta ned och i djupare jord hittas därför äldre och mer stabilt SOM med lägre halter av näringsämnen och kol (Darby m.fl. 2020). Med förändrat innehåll av C och N påverkas kvoten dem emellan som även den minskar med jordprofilens djup. Då kolhalten i jorden minskar snabbare och

häftigare med djupet än kväve blir C/N halten lägre med minskad kolhalt. Detta samband uppvisades i denna studie som syns i tabell 6. I samma tabell syns även hur N/P kvot minskar med djupet. Vid jämförelse mellan C/N kvot och N/P kvot visas N/P kvoten att minska mer drastiskt än C/N kvot, vilket kan bero på stabilare innehåll av fosfor jämfört med kol och kväve. Detta syns vid jämförelse mellan figur 6, 7 och 8. Med djupet varierar kolinnehållet mellan 43–0,18%, kväveinnehållet mellan 1,8–0,015% och fosforinnehållet mellan 0,06–0,009%. Differenserna tyder på att fosforinnehållet i jorden är mer stabilt utmed djupgradienten än innehåll av kväve och framför allt kol. Liknande resultat presenteras av Tian m.fl. (2009) som även diskuterar att jordens C/N/P kvot kontrolleras av fosfor.

Brutto N-mineralisationshastigheten förändras också med djupet och den utvalda serien visar att hastigheten ökar något från topplagret ner till ca. 1,5 meters djup för att sedan minska med profilens djup (se figur 9). Samma tendens med en ökning kring 1,5 meters djup syns för fukthalt, SOM, C/N kvot, kolhalt och även svagt för kvävehalt. Tidigare studier visar att flöde av kväve i jorden påverkas av, bland annat, ovan nämnda faktorer (Booth, 2005; Puri & Ashman 1998; Björsne, Rütting, & Ambus, 2014; Darby m.fl., 2020). Studiens resultat visar och styrker därmed att brutto N-mineralisationshastighet styrs av förändring av fukthalt, SOM, C/N kvot samt halt av C och N i jorden.

Figur 9 visar ett negativt samband mellan djup och mineralisationshastighet, och trots att korrelationen inte är signifikant (p -värde=0,075) tyder trendlinjen i figuren på att mineralisationshastighet minskar med jordprofilens djup. Detta stämmer även överens med att fukthalt, SOM, C/N kvot, kolhalt och kvävehalt signifikant minskar med jordprofilens djup och att dessa faktorer påverkar mineralisationsprocesser (se tabell 5, 6 och figur 6, 7). De två serier av brutto mineralisationshastigheter som inte valdes att presenteras i arbetet visade samma negativa trend mot jorddjupet.

I tidigare studier har negativa korrelationer mellan C/N kvot och brutto N-mineralisationshastighet hittats (Booth m.fl. 2005; Björsne 2018). Det negativa sambandet innebär att låga C/N kvoter genererar höga mineralisationshastigheter och vice versa. Förklaringen till korrelationen är att låga C/N kvoter innebär höga halter av kväve relativt kol och höga C/N kvoter betyder låga halter av kväve relativt kol. Därmed fastställs den basala nödvändigheten av kväve i jorden för att omvandla näringsämnet till oorganisk form. Detta grundläggande behov av tillgängligt kväve i jorden visas även i denna studie. I figur 12 syns hur brutto N-mineralisationshastighet påverkas av mängd kväve i jorden. Resultatet visar att med ökad mängd kväve per gram torr jord ökar N-mineralisationshastigheten. Liknande samband, om än något svagare, visas för gram kol per gram torr jord och mineralisationshastighet (se figur 11). I Booth m.fl. (2005) visas och diskuteras liknande resultat. Att mineralisationshastigheten ökar vid ökad tillgång till kol och kväve kan förklaras av en ökad aktivitet av mikrobiellt liv i jorden. När tillgången till organiskt material är stor och lättillgänglig är även förekomsten och aktivitet av mikroorganismer stor. Den höga halten av organiskt material bidrar till en snabb tillväxt av mikroorganismer vilket ökar nedbrytningsprocesser (Hatch m.fl., 2000).

Det linjära sambandet mellan C/N kvot och N-mineralisationshastighet som denna studie visar skiljer sig från studien av Booth m.fl. (2005) och Björsne (2018). Resultatet i denna studie visar en positiv korrelation mellan C/N kvot och brutto N-mineralisationshastighet, (se figur 10) det vill säga att när kvoten av C/N ökar så ökar även mineralisationshastighet och vice versa, vilket är tvärtemot Booth m.fl. (2005) och Björsnes (2018) resultat. Studien av Booth m.fl. (2005) är en litteraturstudie där data från 100 andra undersökningar har använts och studien av Björsne (2018) är en doktorsavhandling. I

båda fallen jämförs jordegenskaper så som N-mineralisationshastighet mellan olika platser vilket inte görs i denna studie. Anledningen till de motsatta resultaten kan därför bero på just detta. Om studierna i stället hade genomförts på samma sätt finns det en möjlighet att resultaten från de olika undersökningarna hade liknat varandra.

Skälet till det positiva sambandet mellan C/N kvot och brutto N-mineralisationshastighet som visas i detta arbete beror på det förändrade innehåll av kol och kväve utmed djupgradienten. Halter av kol och kväve minskar med djupet där kol minskar häftigare än kväve. Detta betyder att produktionen av ammonium kommer minska med djupet då halten av grundläggande näringsämnen minskar och eftersom halten av kol minskar snabbare än halt av kväve kommer kvoten dem emellan att minska med djupet. Sistnämnda stämmer med Batjes studie (1996) som visar att C/N kvoten minskar med djupet. I figur 13 visas samma sak fast med SOM. Då jordens innehåll av organiskt material ökar kommer även N-mineralisationshastigheten att öka. Det måste helt enkelt finnas organiskt material i jorden som mikroorganismer kan få sitt råmaterial och energi från för att fungera som organism, och vid brist på organiskt material så avtar den biologiska aktiviteten och nedbrytningsprocesser i jorden saktas ned (McGill & Cole, 1981).

I figur 14 och 15 visas hur halt av ^{15}N och ^{13}C ökar i jorden vid ökat profildjup. Korrelationen är signifikant och sambandet är ett bevis på att djupare jordlager är äldre samt att isotopdiskriminering av tunga isotoper i detta fall är ett faktum. Äldre jord har bearbetats längre av mikroorganismer och därmed har uteslutandet av tunga isotoper pågått under en längre tid. Detta betyder att den äldre jorden har högre halter av tunga isotoper som har "diskriminerats" av jordlevande organismer vid biologiska processer som exempelvis nedbrytning (Fry, 2006). I figurerna syns hur halterna av både ^{15}N och ^{13}C är relativt stabila under de tre första metrarna för att sen öka mellan 3–5 meter. Att halten tunga isotoper vid 0–3 meter inte följer trenden kan bero på att jorden i de översta lagerna har beblandats. I slutet av 1800-talet dränerades platsen som då var en myr för att ge plats åt jordbruk. En möjlig förklaring till den stabila halten av ^{15}N och ^{13}C kan därför vara att jorden har påverkats och blandats av människan vid exempelvis plogning. På 1950-talet planterades i stället granskog vilket också kan ha haft en omblandande effekt på jordens översta lager. Kanske har den översta jorden blandats med avsikt inför jordbruk eller granplantering.

7. Slutsatser

- Resultatet från denna studie visar att brutto N-mineralisationshastighet varierar med jordprofilens djup och att hastigheten styrs av förändringar i fukthalt, SOM, C/N kvot samt halt av kol och kväve. Trenden tyder på att brutto N-mineralisationshastighet minskar med djupet.
- Jordens innehåll av kväve, kol och fosfor minskar med jordens djup. Halten av kol minskar snabbare och häftigare än kväve och fosfor. Minskningen av kol, kväve och fosfor korrelerar med jordens innehåll av organiskt material vilket beror på att djupare jord är äldre och mer nedbruten.
- Kvoten mellan kol och kväve minskar med jordens djup. Kvoten blir mindre eftersom kol minskar snabbare med djupgradienten än kväve.
- Kvoten mellan kväve och fosfor minskar med djupet eftersom jordens innehåll av kväve minskar snabbare än halten av fosfor som är mer stabilt längst djupgradienten.
- Resultatet visar att vid lägre C/N kvot minskar brutto N-mineralisationshastigheten.

Anledningen till minskningen är att aktivitet och förekomst av mikrobiellt liv i jorden minskar vid låga halter av organiskt material vilket bromsar ned nedbrytningsprocesser. Halt av kol och kväve minskar med djupet och då kol minskar snabbare kommer kvoten dem emellan bli lägre. Med minskade halter näringsämnen kommer produktion av ammonium saktas ner.

- Halt av ^{15}N och ^{13}C ökar med djupgradienten. Sambandet visar på att djupare jord är äldre och att isotopdiskriminering har skett. En stabil halt av tunga isotoper mellan 0–3 meter och en ökande halt mellan 3–5 meter kan tyda på att det har inträffat någon typ av störning/blandning av jord i de översta lagerna. Möjligtvis vid dränering, jordbruk eller skogsbruk.

8. TACKORD

Jag vill rikta ett stort tack till min handledare Louise C. Andresen som har varit ett stort stöd under kandidatarbetet. Tack för all vägledning i labbet och för alla värdefulla synpunkter i skrivandet. Stort tack även till Tobias Rütting som har hjälpt till under arbetets gång. Tack till kursansvariga Lennart Bornmalm och Åsa Arrhenius som stöttat under kursen.

9. Referenser

- Adhikari, Kabindra, Hartemink, Alfred E., Minasny, Budiman, Bou Kheir, Rania, Greve, Mette B., Greve, Mogens H., & Hui, Dafeng. (2014). Digital Mapping of Soil Organic Carbon Contents and Stocks in Denmark. *PLoS ONE*, 9(8). doi: 10.1371/journal.pone.0105519
- Andresen, L. C., Björnsne, A. K., Klemedtsson, L., Rütting, T., Bodé, S., & Boeckx, P. (2016). Simultaneous quantification of depolymerization and mineralization rates by a novel 15 N tracing model. *SOIL*, 2(3), 433-442. doi: 10.5194/soil-2-433-2016
- Ashman, M., Puri, G. (2013). *Essential Soil Science: A Clear and Concise Introduction to Soil Science*. (1 uppl.) Hämtad från: <https://ebookcentral-proquest-com.ezproxy.ub.gu.se>
- Batjes, N.H. (1996) Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*, 47, 151-163. doi: 10.1111/ejss.12115
- Björnsne, A. (2010) *How does drainage affect the nitrogen cycle in organic soils?* (Kandidatuppsats) Göteborg: Institutionen för växt- och miljövetenskaper, Göteborgs universitet. Hämtad från: https://studentportal.gu.se/digitalAssets/1309/1309762_anna-karin-bj-rsne.pdf
- Björnsne, A. (2018). *The Nitrogen Cycle in Soil – Climate Impact and Methodological Challenges in Natural Ecosystems*. (Doktorsavhandling) Göteborg: BrandFactory. Hämtad från: <http://hdl.handle.net/2077/56724>
- Björnsne, A., Rütting, T., & Ambus, P. (2014). Combined climate factors alleviate changes in gross soil nitrogen dynamics in heathlands. *Biogeochemistry*, 120(1-3), 191-201. doi: 10.1007/s10533-014-9990-1
- Blake G.R. et al. (2008) Phosphorus Cycle. I: Chesworth W. (Red.) *Encyclopedia of Soil Science*. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, Dordrecht.
- Booth, M., Stark, J., & Rastetter, E. (2005). CONTROLS ON NITROGEN CYCLING IN TERRESTRIAL ECOSYSTEMS: A SYNTHETIC ANALYSIS OF LITERATURE DATA. *Ecological Monographs*, 75(2), 139-157. doi: 10.1890/04-0988
- Brooks, P.D., Stark, J.M., McInteer, B.B., Preston, T. (1989). Diffusion Method To Prepare Soil Extracts For Automated Nitrogen-15 Analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 53(6), 1707-1711. <https://doi.org/10.2136/sssaj1989.03615995005300060016x>
- Cronan, S.C. (2018). *Ecosystem Biochemistry – Element Cycling in the Forest Landscape*. Hämtad från: <https://doi-org.ezproxy.ub.gu.se/10.1007/978-3-319-66444-6>
- Darby, B., Goodale, C., Chin, N., Fuss, C., Lang, A., Ollinger, S., & Lovett, G. (2020). Depth patterns and connections between gross nitrogen cycling and soil exoenzyme activities in three northern hardwood forests. *Soil Biology & Biochemistry*, 147. doi: 10.1016/j.soilbio.2020.107836
- Davidson, E., Hart, S., Shanks, C., & Firestone, M. (1991). Measuring gross nitrogen mineralization, immobilization, and nitrification by 15N isotopic pool dilution in intact soil cores. *European Journal of Soil Science*, 42(3), 335-349. <https://doi-org.ezproxy.ub.gu.se/10.1111/j.1365-2389.1991.tb00413.x>
- Europeiska Miljöbyrån. (2019). *Mark och jord i Europa*. Luxemburg: Europeiska Unionens publikationsbyrå.
- Frossard, E., Condron, L., Oberson, A., Sinaj, S., & Fardeau, J. (2000). Processes Governing Phosphorus Availability in Temperate Soils. *Journal of Environmental Quality*, 29(1), 15-23. doi: 10.2134/jeq2000.00472425002900010003x
- Fry, B. (2006). *Stable Isotope Ecology*. Hämtad från: <https://doi-org.ezproxy.ub.gu.se/10.1007/0-387-33745-8>
- Hartemink, A. (2014). *Soil Carbon*. Hämtad från: <https://doi-org.ezproxy.ub.gu.se/10.1007/978-3-319-04084-4>

Hatch, D., Lovell, R., Antil, R., Jarvis, S., & Owen, P. (2000). Nitrogen mineralization and microbial activity in permanent pastures amended with nitrogen fertilizer or dung. *Biology and Fertility of Soils*, 30(4), 288-293. doi: 10.1007/s003740050005

Hiederer, R. (2011). *Distribution of Organic Carbon in Soil Profile Data*. (JRC53878) Hämtad 2021-03-26 från <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/bcbfff63-b683-4426-b71d-33dc536ab917>

Hill, Ö. (1999) *SKOGARYD: en skogshistoria*. Borås: Dahlins Tryckeri AB. s. 131.

Holz, Aurangojeb, Kasimir, Boeckx, Kuzyakov, Klemedtsson, & Rütting. (2016). Gross Nitrogen Dynamics in the Mycorrhizosphere of an Organic Forest Soil. *Ecosystems*, 19(2), 284-295. doi:10.1007/s10021-015-9931-4

Högberg, P. (1997). Tansley Review No. 95 15 N natural abundance in soil-plant systems. *New Phytologist*, 137(2), 179-203. doi: 10.1046/j.1469-8137.1997.00808.x

Kirkham, D., Bartholomew, W.V. (1955) Equations for Following Nutrient Transformations in Soil, Utilizing Tracer Data. *Soil Science Society of America Journal*, 19(2), 189-192.

Krüger, Leifeld, & Alewell. (2014). Degradation changes stable carbon isotope depth profiles in peatlands. *Biogeosciences*, 11(12), 3369-3380. doi: 10.5194/bg-11-3369-2014

Lal, Pollock, Pretty, Crute, Leaver, & Dalton. (2008). Carbon sequestration. *Philosophical Transactions - Royal Society of London. Biological Sciences*, 363(1492), 815-830. doi: [10.1098/rstb.2007.2185](https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2185)

Mcgill, W., & Cole, C. (1981). Comparative aspects of cycling of organic C, N, S and P through soil organic matter. *Geoderma*, 26(4), 267-286. doi: 10.1016/0016-7061(81)90024-0

Naturvårdsverket. (u.å.) *Koldioxidkvivalenter*. Hämtad 2021-05-25 från <https://www.naturvardsverket.se/Samar-miljon/Statistik-A-O/Vaxthusgaser-konsumtionsbaserade-utslapp-fran-exporterande-foretag/Koldioxidkvivalenter/>

Ohno, T., Zibilske, L.M. (1991) Determination of low concentrations of phosphorus in soil extracts using malachite green. *Soil Science Society of America Journal*, 55, 892-895. Doi: 10.2136/sssaj1991.03615995005500030046x

Prasad R., Chakraborty D. (2019, 19 april). Phosphorus Basics: Understanding Phosphorus Forms and Their Cycling in the Soil [Blogginlägg]. Hämtad 2021-04-04 från <https://www.aces.edu/blog/topics/crop-production/understanding-phosphorus-forms-and-their-cycling-in-the-soil/>

Puri, G., & Ashman, M. (1998). Relationship between soil microbial biomass and gross N mineralisation. *Soil Biology & Biochemistry*, 30(2), 251-256. Doi: 10.1016/S0038-0717(97)00117-X

Sadava, D., Hillis, D., Heller, H., & Hacker, S. (2016). *Life: The science of biology* (11 uppl.). New York: Macmillan Learning.

Saunders, W.M.H., Williams, E.G. (1955) Observations on the determination of total organic phosphorus in soils. *European Journal of Soil Science*, 6, 254-267. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1955.tb00849.x>

Schlesinger, W. H., & Bernhardt, E. S. (2013). *Biogeochemistry: An Analysis of Global Change* (3 uppl.). Hämtad från: <https://doi.org/10.1016/C2010-0-66291-2>

SITES. (u.å) *Skogaryds forskningsstation (SCR)*. Hämtad 2021-03-25 från <https://www.fieldsites.se/sv-SE/forskningsstationer/skogaryd-32286094>

SITES. (2020) *Mitigation of greenhouse gas emission by restoration and rewetting mires*. Hämtad 2021-04-27 från <https://www.fieldsites.se/2020/04/10/sv-SE/mitigation-of-greenhouse-gas-emission-by-restoration-and-rewetting-mires-44290313>

SLU. (2020) *Kol/kväve-kvot*. Hämtad 2021-04-01 från <https://www.slu.se/miljoanalys/statistik-och-miljodata/miljodata/webbtjanster-miljoanalys/markinfo/markinfo/markkemi/kolkvave-kvot/>

Sveriges Miljömål. (u.å) *Sveriges miljömål*. Hämtad 2021-03-25 från <https://www.sverigesmiljomal.se/>

Tian, H., Chen, G., Zhang, C., Melillo, J.M., Hall, C.A. (2009) Pattern and variation of C:N:P ratios in China's soils: a synthesis of observational data. *Biochemistry*, 98, 139-151. doi: 10.1007/s10533-009-9382-0

United Nations Development Programme. (u.å) *Globala målen*. Hämtad 2021-03-25 från <https://www.globalamalen.se/om-globala-malen/>

University of Gothenburg. (2020) *Skogaryd Research Catchment*. Hämtad 2021-03-25 från <https://www.gu.se/en/earth-sciences/skogaryd-research-catchment-0>

Jenny, H. (1994). *Factors of Soil Formation: A System of Quantitative Pedology*. Hämtad från: <https://www.nrcs.usda.gov/wps/download>

10. Bilagor

Bilaga A – Resultat från fukthaltlaboration

Tabell A1: Rådata från bestämelse av fukthalt

Punkt	Djup (m)	massa våt jord, inkl påse (g)	massa exkl påse (g)	massa torr jord inkl påse (g)	massa exkl påse (g)	soil moisture (%)
P22	0.0-0.5	11	8,9	4,2	2,1	76,4
P22	0.5-1.0	9,9	7,8	3,3	1,2	84,6
P22	1.0-1.5	11	8,9	3	0,9	89,9
P22	1.5-2.0	11,7	9,6	3,3	1,2	87,5
P22	2.0-2.5	12,1	10	3,5	1,4	86,0
P22	2.5-3.0	13,6	11,5	4,6	2,5	78,3
P22	3.0-3.5	12,7	10,6	7,8	5,7	46,2
P22	3.5-4	12,3	10,2	8,4	6,3	38,2
P22	4-4.5	12,2	10,1	8,3	6,2	38,6
P22	4.5-5	13,4	11,3	9	6,9	38,9
P22	5-5.5	13,2	11,1	9,4	7,3	34,2
P23	0.0-0.5	10,4	8,3	4,4	2,3	72,3
P23	0.5-1.0	10,1	8	3,3	1,2	85,0
P23	1.0-1.5	10	7,9	3,1	1	87,3
P23	1.5-2.0	10,9	8,8	3,3	1,2	86,4
P23	2.0-2.5	13,1	11	3,6	1,5	86,4
P23	2.5-3.0	11,6	9,5	4,6	2,5	73,7
P23	3.0-3.5	13,8	11,7	9,4	7,3	37,6
P23	3.5-4	14	11,9	9,6	7,5	37,0
P23	4-4.5	14,1	12	9,6	7,5	37,5
P23	4.5-5	17,3	15,2	11,5	9,4	38,2
P23	5-5.5	16,6	14,5	11,5	9,4	35,2
P24	0.0-0.5	12,5	10,4	4,6	2,5	76,0
P24	0.5-1.0	12,4	10,3	3,8	1,7	83,5
P24	1.0-1.5	10,7	8,6	2,9	0,8	90,7
P24	1.5-2.0	10,7	8,6	3,1	1	88,4
P24	2.0-2.5	11,4	9,3	3,4	1,3	86,0
P24	2.5-3.0	11,4	9,3	4,6	2,5	73,1
P24	3.0-3.5	8,9	6,8	6,7	4,6	32,4
P24	3.5-4	10,3	8,2	7,1	5	39,0
P24	4-4.5	10	7,9	6,9	4,8	39,2
P24	4.5-5	10,7	8,6	7,4	5,3	38,4
P24	5-5.5	14	11,9	9,3	7,2	39,5
P25	0.0-0.5	6,7	4,6	3,4	1,3	71,7
P25	0.5-1.0	7,2	5,1	3,1	1	80,4
P25	1.0-1.5	6,8	4,7	2,8	0,7	85,1
P25	1.5-2.0	6,7	4,6	2,8	0,7	84,8
P25	2.0-2.5	6,6	4,5	2,7	0,6	86,7
P25	2.5-3.0	7,3	5,2	4,1	2	61,5
P25	3.0-3.5	9,4	7,3	6,9	4,8	34,2
P25	3.5-4	7,6	5,5	5,6	3,5	36,4
P25	4-4.5	6,6	4,5	5,2	3,1	31,1
P25	4.5-5	7,8	5,7	6,5	4,4	22,8
P25	5-5.5	8,8	6,7	7,4	5,3	20,9
P25	5.5-5.83	7,7	5,6	6,4	4,3	23,2
P26	0.0-0.5	8	5,9	3,8	1,7	71,2
P26	0.5-1.0	7,2	5,1	3,1	1	80,4
P26	1.0-1.5	8	5,9	2,9	0,8	86,4
P26	1.5-2.0	7,4	5,3	2,9	0,8	84,9
P26	2.0-2.5	6,6	4,5	2,9	0,8	82,2
P26	2.5-2.76	8,3	6,2	5,7	3,6	41,9
P27	0.0-0.5	7,9	5,8	3,4	1,3	77,6
P27	0.5-1.0	6,6	4,5	2,8	0,7	84,4
P27	1.0-1.5	7,2	5,1	2,8	0,7	86,3
P27	1.5-2.0	6,5	4,4	2,7	0,6	86,4
P27	2.0-2.5	7	4,9	4,1	2	59,2
P27	2.5-2.9	7,9	5,8	6,5	4,4	24,1
P28	0.0-0.5	7,2	5,1	3,3	1,2	76,5

P28	0.5-1.0	8,3	6,2	3	0,9	85,5
P28	1.0-1.5	8,2	6,1	2,9	0,8	86,9
P28	1.5-2.0	7,7	5,6	4,1	2	64,3
P28	2.0-2.5	7,9	5,8	6,3	4,2	27,6
P28	2.5-3.0	8,2	6,1	6,8	4,7	23,0
P28	3.0-3.5	8,6	6,5	7,6	5,5	15,4
P28	3.5-4	9	6,9	7,9	5,8	15,9
P28	4-4.5	8,3	6,2	7,5	5,4	12,9

Tabell A2: Framräknat medelvärde och standardavvikelse över fukthalt i respektive djup. Baseras på samtliga jordprover.

Djup	Fukthalt	stdav
0-0,5	74,5	2,7
0,5-1	83,4	2,1
1-1,5	87,5	2,0
1,5-2	83,2	8,5
2-2,5	73,4	22,5
2,5-3	53,7	23,8
3-3,5	33,2	11,3
3,5-4	33,3	9,8
4-4,5	31,9	11,1
4,5-5	34,6	7,9
5-5,5	32,5	8,0

Exempel på hur fukthalt beräknas:

$$\text{Gravimetriskt vatteninnehåll} = \frac{m_{\text{vatten}}}{m_{\text{torr jord}}} \times 100\%$$

$$\frac{8,9-2,1}{8,9} \times 100 = 76,4 \%$$

Data från första rad i tabell A1.

Förklaring: Jord innan torkning subtraheras med torr jord. Differensen är mängd vatten som har försvunnit vid torkning.

Bilaga B – Analysresultat, kol och kväve

Tabell B1: Rådata över C- och N-innehåll i jordproverna, 0-ca 3 meter

Name	Weight/Vol	N (Sam)	15N (Sam)	C (Sam)	13C (Sam)
		%	*DeltaAir	%	DeltaPDB
Blank	100	1,72E-03	-0,92	2,62E-03	-34,21
Blank	100	1,60E-03	-3,38	1,59E-04	-330,31
Blank	100	2,17E-03	-5,56	6,94E-05	-493,83
sediment high OM	15,64	0,62	4,07	8,27	-25,90
SED HIGHOM	14,79	0,62	4,26	9,02	-26,27
P22 0-0,5	4,87	2,08	1,86	45,41	-28,03

P22 0,5-1	4,94	1,58	1,14	38,40	-27,98
P22 1-1,5	4,62	1,75	1,13	45,03	-27,80
P22 1,5-2	4,34	1,67	1,67	31,76	-28,57
P22 2-2,5	5,11	1,64	-6,48E-02	23,55	-29,94
P22 2,5-3	4,49	1,04	-0,92	14,27	-29,84
P23 0-0,5	5,32	1,74	1,47	35,54	-28,24
P23 0,5-1	4,72	1,72	0,67	40,83	-28,64
P23 1-1,5	4,81	1,72	0,86	40,69	-28,32
P23 1,5-2	5,26	1,70	1,44	33,03	-28,47
sediment high OM	14,48	0,64	4,29	9,40	-26,13
SED HIGHOM	14,79	0,62	4,26	9,02	-26,27
P23 2-2,5	5,12	1,78	-0,13	24,93	-29,57
P23 2,5-3	5,39	0,78	-0,43	10,27	-30,16
P24 0-0,5	5,16	1,68	1,52	34,60	-28,31
P24 0,5-1	5,25	1,77	0,72	36,03	-28,21
P24 1-1,5	4,61	1,90	0,30	44,77	-28,42
P24 1,5-2	4,73	1,95	0,79	38,88	-28,60
P24 2-2,5	4,93	1,90	0,12	29,02	-28,99
P24 2,5-3	5,31	0,75	-0,59	10,43	-29,68
P25 0-0,5	5,10	1,79	1,63	35,41	-28,35
P25 0,5-1	4,68	1,85	0,36	39,38	-28,69
sediment high OM	15,43	0,62	4,24	9,04	-26,23
SED HIGHOM	14,17	0,62	4,26	9,02	-26,27
P25 1-1,5	4,59	1,81	-5,77E-02	38,82	-29,25
P25 1,5-2	4,73	1,96	0,65	37,69	-29,03
P25 2-2,5	4,74	1,89	0,12	29,28	-29,04
P25 2,5-3	4,41	0,45	-0,43	6,50	-29,62
P26 0-0,5	5,29	1,74	1,92	36,91	-28,40
P26 0,5-1	4,54	1,64	0,24	42,54	-28,57
P26 1-1,5	4,47	1,89	9,02E-02	44,76	-29,13
P26 1,5-2	5,16	2,09	0,51	39,12	-29,18
P26 2-2,5	5,12	1,64	-0,12	28,15	-28,42
P27 0-0,5	4,68	1,74	2,41	42,67	-28,18
sediment high OM	15,53	0,62	4,16	9,01	-26,29
SED HIGHOM	15,38	0,62	4,26	9,02	-26,27
P27 0,5-1	4,87	2,13	0,54	42,04	-28,94
P27 1-1,5	5,19	2,06	-0,30	47,38	-29,09
P27 1,5-2	4,84	2,16	0,28	39,68	-28,78
P28 0-0,5	4,63	1,81	1,61	39,62	-28,42
P28 0,5-1	4,85	1,95	0,30	44,49	-28,44
P28 1-1,5	4,93	1,87	-0,14	39,87	-29,05
P28 1,5-2	4,83	0,49	0,23	8,83	-28,78
sediment high OM	15,42	0,62	4,21	9,01	-26,31
SED HIGHOM	15,33	0,62	4,26	9,02	-26,27

Tabell B2: Rådata över C- och N-innehåll i jordproverna ca 3–5,5 meter

Name	Weight/Vol	N (Sam)	15N (Sam)	C (Sam)	13C (Sam)
		%	*DeltaAir	%	DeltaPDB
blank	100	-9,53E-03	168,62	5,70E-05	-1214,54
blank	100	2,40E-03	2,27	4,26E-04	-5,67
blank	100	6,82E-04	7,38	1,37E-04	107,74
Test	39,63	0,13	6,46	1,57	-27,31
soil lowOM	40,49	0,13	6,19	1,56	-27,30
P22 3-3,5	40,35	0,13	1,54	1,62	-30,24
P22 3,5-4	40,32	2,19E-02	3,14	0,29	-20,16
P22 4-4,5	40,29	1,81E-02	3,91	0,19	-21,67
P22 4,5-5	40,16	1,90E-02	3,83	0,20	-25,10
P22 5-5,5	40,14	1,29E-02	4,56	0,12	-22,99
P23 3-35	40,23	3,78E-02	1,81	0,45	-26,85
P23 3,5-4	40,08	2,29E-02	2,46	0,31	-21,58
P23 4-4,5	40,44	2,05E-02	4,32	0,27	-24,58
P23 4,5-5	40,47	1,41E-02	5,95	0,13	-23,26
P23 5-5,5	39,94	1,49E-02	5,62	0,15	-21,78
Test	40,34	0,13	6,18	1,53	-27,32
soil lowOM	40,49	0,13	6,19	1,56	-27,30
P24 3-3,5	40,48	2,96E-02	2,63	0,36	-26,42
P24 3,5-4	40,45	2,03E-02	3,50	0,28	-22,20
P24 4-4,5	40,20	1,54E-02	3,68	0,17	-22,69
P24 4,5-5	40	1,46E-02	4,36	0,16	-23,81
P24 5-5,5	40,14	1,37E-02	8,55	0,15	-22,21
P25 3-3,5	40,19	3,10E-02	2,99	0,40	-27,10
P25 3,5-4	39,67	2,81E-02	1,90	0,38	-27,30
P25 4-4,5	40,1	1,79E-02	4,39	0,29	-26,00
P25 4,5-5	40,44	2,38E-02	2,89	0,38	-27,39
P25 5-5,5	40,36	1,65E-02	2,02	0,32	-27,13
Test	40,33	0,13	6,28	1,59	-27,29
soil lowOM	40,75	0,13	6,19	1,56	-27,30
P25 5,5- 5,83	40,13	1,39E-02	3,50	0,25	-26,88
P26 2,5- 2,76	40,33	0,25	1,33	4,15	-29,21
P27 2-2,5	40,75	0,34	0,78	6,74	-28,18
P27 2,5-2,9	40,20	7,93E-02	1,80	1,52	-28,18
P28 2-2,5	40,20	0,04	3,22	0,54	-25,59
P28 2,5-3	40,27	1,75E-02	2,24	0,30	-27,20
P28 3-3,5	40,31	8,74E-03	19,78	0,17	-27,69
P28 3,5-4	40,54	1,63E-02	6,46	0,34	-27,86
P28 4-4,5	40,37	5,13E-03	13,84	0,10	-27,45
Test	40,73	0,13	6,02	1,54	-27,33
soil lowOM	40,48	0,13	6,19	1,56	-27,30

Tabell B3: Framräknat medelvärde och standardavvikelse över C- och N-innehåll i respektive djup. Baseras på samtliga jordprover.

Djup	N %	Stdav N%	15N ‰	Stdav 15N ‰	C %	Stdav C%	13C ‰	Stdav 13C ‰
0-0,5	1,79	0,13	1,77	0,33	38,59	4,13	-28,27	0,14
0,5-1	1,81	0,19	0,56	0,31	40,53	2,83	-28,5	0,32
1-1,5	1,86	0,11	0,27	0,53	43,05	3,22	-28,72	0,54
1,5-2	1,72	0,57	0,79	0,56	32,71	10,98	-28,77	0,26
2-2,5	1,32	0,78	5,61E-01	1,21	20,32	11,72	-28,53	1,43
2,5-3	0,48	0,39	0,43	1,31	6,78	5,13	-29,13	1,1
3-3,5	0,05	0,05	5,75	7,86	0,60	0,58	-27,66	1,51
3,5-4	2,19E-02	0,01	3,49	1,77	0,32	0,04	-23,82	3,52
4-4,5	1,54E-02	0,01	6,03	4,38	0,21	0,07	-24,48	2,36
4,5-5	1,79E-02	0,01	4,26	1,28	0,22	0,11	-24,89	1,84
5-5,5	1,45E-02	0,01	5,19	2,7	0,18	0,09	-23,52	2,45

Bilaga C – Resultat från SOM-laboration

Tabell C1: SOM rådata

Punkt	Djup (m)	massa (g) porslinskopp	massa jord + degel (g) innan LOI	massa (g) jord innan LOI	massa efter kopp + jord (g)	massa jord efter LOI (g)	SOM %
P22	0.0-0.5	33,47	35,33	1,86	33,89	0,43	77,11
P22	0.5-1.0	34,04	35,26	1,22	34,47	0,43	64,89
P22	1.0-1.5	35,02	35,88	0,86	35,21	0,20	76,78
P22	1.5-2.0	33,46	34,49	1,03	33,92	0,45	56,20
P22	2.0-2.5	34,37	35,64	1,27	35,10	0,72	42,91
P22	2.5-3.0	33,57	35,17	1,61	34,75	1,18	26,25
P22	3.0-3.5	23,9	25,9	2	25,9	2	0
P22	3.5-4	22,2	24,3	2,1	24,2	2	4,76
P22	4-4.5	25,2	27,3	2,1	27,3	2,1	0
P22	4.5-5	35,4	37,6	2,2	37,5	2,1	4,55
P22	5-5.5	39,5	41,5	2	41,5	2	0
P23	0.0-0.5	24,11	26,12	2,01	24,84	0,73	63,78
P23	0.5-1.0	25,01	26,17	1,16	25,34	0,33	71,09
P23	1.0-1.5	33,56	34,55	0,99	33,84	0,27	72,12
P23	1.5-2.0	40,12	41,06	0,95	40,49	0,37	60,54
P23	2.0-2.5	39,13	40,57	1,44	39,89	0,76	47,27
P23	2.5-3.0	39,07	41,07	2	40,67	1,60	20,15
P23	3.0-3.5	27,5	29,6	2,1	29,6	2,1	0
P23	3.5-4	34,9	36,9	2	36,9	2	0
P23	4-4.5	26,9	29	2,1	29	2,1	0
P23	4.5-5	29,9	32	2,1	32	2,1	0
P23	5-5.5	30,3	32,4	2,1	32,4	2,1	0
P24	0.0-0.5	23,15	24,38	1,22	23,59	0,44	63,88
P24	0.5-1.0	24,80	26,20	1,39	25,27	0,47	66,43
P24	1.0-1.5	26,31	27,08	0,77	26,45	0,14	81,85
P24	1.5-2.0	29,59	30,49	0,89	29,84	0,25	71,80
P24	2.0-2.5	34,82	36,02	1,20	35,36	0,54	55,23
P24	2.5-3.0	35,19	37,29	2,10	36,86	1,66	20,87
P24	3.0-3.5	31,7	33,9	2,2	33,8	2,1	4,55
P24	3.5-4	33,3	35,4	2,1	35,4	2,1	0
P24	4-4.5	37,9	40	2,1	40	2,1	0
P24	4.5-5	40,4	42,4	2	42,3	1,9	5
P24	5-5.5	30,9	33	2,1	33	2,1	0
P25	0.0-0.5	40,25	41,37	1,12	40,62	0,37	66,84
P25	0.5-1.0	38,32	39,15	0,82	38,55	0,23	72,02
P25	1.0-1.5	40,73	41,24	0,51	40,88	0,15	71,06
P25	1.5-2.0	16,19	16,74	0,55	16,35	0,16	69,96
P25	2.0-2.5	15,26	15,78	0,51	15,49	0,23	54,81

P25	2.5-3.0	16,74	18,39	1,66	18,18	1,44	12,86
P25	3.0-3.5	16	18,1	2,1	18,1	2,1	0
P25	3.5-4	15,5	17,7	2,2	17,7	2,2	0
P25	4-4.5	14,1	16,1	2	16	1,9	5
P25	4.5-5	16,3	18,3	2	18,3	2	0
P25	5-5.5	13,3	15,6	2,3	15,6	2,3	0
P25	5.5-5.83	12,7	14,8	2,1	14,8	2,1	0
P26	0.0-0.5	26,72	28,07	1,35	27,13	0,41	69,46
P26	0.5-1.0	31,87	32,62	0,75	32,04	0,16	78,10
P26	1.0-1.5	35,44	36,06	0,61	35,56	0,11	81,23
P26	1.5-2.0	11,39	12,04	0,65	11,57	0,18	72,36
P26	2.0-2.5	13,82	14,39	0,57	14,09	0,27	52,62
P26	2.5-2.76	13,8	15,9	2,1	15,7	1,9	9,52
P27	0.0-0.5	13,68	14,75	1,07	13,92	0,24	77,71
P27	0.5-1.0	13,52	14,07	0,55	13,65	0,13	77,17
P27	1.0-1.5	13,09	13,55	0,46	13,15	0,06	85,73
P27	1.5-2.0	13,18	13,59	0,41	13,29	0,11	72,51
P27	2.0-2.5	23,95	25,38	1,44	25,20	1,26	12,41
P27	2.5-2.9	13	15,2	2,2	15	2	9,09
P28	0.0-0.5	22,17	23,04	0,87	22,42	0,24	71,83
P28	0.5-1.0	34,93	35,63	0,70	35,06	0,13	80,79
P28	1.0-1.5	26,89	27,53	0,64	27,06	0,17	72,97
P28	1.5-2.0	25,25	26,89	1,64	26,61	1,36	17,51
P28	2.0-2.5	13,5	15,4	1,9	15,4	1,9	0
P28	2.5-3.0	12,3	14,4	2,1	14,4	2,1	0
P28	3.0-3.5	30,3	32,3	2	32,3	2	0
P28	3.5-4	36,5	38,7	2,2	38,7	2,2	0
P28	4-4.5	40,8	42,9	2,1	42,9	2,1	0

Exempel på hur SOM beräknas:

$$SOM = \frac{m_{torr} - m_{bränd}}{m_{torr} - m_{degel}} \times 100\%$$

$$\frac{35,33-33,89}{35,33-33,47} \times 100 = 77,11\%$$

Data från första rad i ovan tabell

Bilaga D – Analysresultat från fosforlaboration

Tabell D1: Rådata över fosforinnehåll i jordproverna

Punkt	Djup (m)	massa (g) jord innan LOI	ml H2SO4 added	mgPO4 / L	mgP / g dw soil
P22	0.0-0.5	1,86	10	417,69	0,20
P22	0.5-1.0	1,22	10	408,98	0,30
P22	1.0-1.5	0,86	10	414,66	0,42
P22	1.5-2.0	1,03	10	407,84	0,35
P22	2.0-2.5	1,27	10	441,95	0,31
P22	2.5-3.0	1,61	20	431,15	0,12
P22	3.0-3.5	2	20	474,15	0,10
P22	3.5-4	2,1	20	441,76	0,09
P22	4-4.5	2,1	20	415,61	0,09
P22	4.5-5	2,2	20	440,81	0,09
P22	5-5.5	2	20	426,03	0,09
P23	0.0-0.5	2,01	10	407,84	0,18

P23	0.5-1.0	1,16	10	416,56	0,32
P23	1.0-1.5	0,99	10	418,45	0,37
P23	1.5-2.0	0,95	10	387,57	0,36
P23	2.0-2.5	1,44	10	441,76	0,27
P23	2.5-3.0	2	20	412,01	0,09
P23	3.0-3.5	2,1	20	437,21	0,09
P23	3.5-4	2	20	454,45	0,10
P23	4-4.5	2,1	20	426,41	0,09
P23	4.5-5	2,1	20	496,32	0,10
P23	5-5.5	2,1	20	430,58	0,09
P24	0.0-0.5	1,22	10	408,22	0,29
P24	0.5-1.0	1,39	10	402,92	0,25
P24	1.0-1.5	0,77	10	427,55	0,49
P24	1.5-2.0	0,89	10	437,02	0,43
P24	2.0-2.5	1,20	10	437,21	0,32
P24	2.5-3.0	2,10	20	396,28	0,08
P24	3.0-3.5	2,2	20	395,34	0,08
P24	3.5-4	2,1	20	410,68	0,09
P24	4-4.5	2,1	20	410,30	0,09
P24	4.5-5	2	20	436,07	0,10
P24	5-5.5	2,1	20	462,79	0,10
P25	0.0-0.5	1,12	10	455,01	0,36
P25	0.5-1.0	0,82	10	412,01	0,44
P25	1.0-1.5	0,51	10	474,91	0,82
P25	1.5-2.0	0,55	10	456,72	0,74
P25	2.0-2.5	0,51	10	438,54	0,75
P25	2.5-3.0	1,66	20	468,47	0,12
P25	3.0-3.5	2,1	20	426,41	0,09
P25	3.5-4	2,2	20	469,79	0,09
P25	4-4.5	2	20	500,68	0,11
P25	4.5-5	2	20	446,11	0,10
P25	5-5.5	2,3	20	526,45	0,10
P25	5.5-5.83	2,1	20	434,18	0,09
P26	0.0-0.5	1,35	10	395,15	0,26
P26	0.5-1.0	0,75	10	443,08	0,52
P26	1.0-1.5	0,61	10	420,73	0,61
P26	1.5-2.0	0,65	10	473,59	0,64
P26	2.0-2.5	0,57	10	390,98	0,61
P26	2.5-2.76	2,1	10	469,79	0,20
P27	0.0-0.5	1,07	10	465,06	0,38
P27	0.5-1.0	0,55	8	535,54	1,07
P27	1.0-1.5	0,46	10	484,76	0,93
P27	1.5-2.0	0,41	10	466,19	1,00
P27	2.0-2.5	1,44	20	421,29	0,13
P27	2.5-2.9	2,2	20	442,70	0,09
P28	0.0-0.5	0,86	10	441,57	0,45
P28	0.5-1.0	0,70	10	517,35	0,65
P28	1.0-1.5	0,64	10	466,95	0,64
P28	1.5-2.0	1,64	20	464,11	0,12
P28	2.0-2.5	1,9	20	471,88	0,11
P28	2.5-3.0	2,1	20	479,08	0,10
P28	3.0-3.5	2	20	442,70	0,10
P28	3.5-4	2,2	20	469,99	0,08
P28	4-4.5	2,1	20	469,99	0,09

Tabell D2: Framräknat medelvärde och standardavvikelse över P-innehåll i jorden. Baseras på samtliga jordprover.

Djup (m)	average mgP/g dw soil	stdav
0-0,5	0,30	0,09
0,5-1	0,51	0,28
1-1,5	0,61	0,21
1,5-2	0,52	0,29
2-2,5	0,36	0,24
2,5-3	0,11	0,04
3-3,5	0,09	0,01
3,5-4	0,09	0,01
4-4,5	0,09	0,004
4,5-5	0,09	0,005
5-5,5	0,09	0,006

Bilaga E – Analysresultat, ¹⁵N

Tabell E1: Rådata och bearbetade data från IRMS analys, T1

Name	N (µg)	15N (%)	µg N in sample	µg NH4 in sample	µmol N (in 10 ml microdiff)	wet soil extracted (g)	dry soil (g)	dry soil equivalent in 10 ml	µg NH4 / g dry soil
A1 T1	11368,81	27,31	4,05	5,13	0,27	10,0	2,61	0,87	5,90
A2 T1	7039,93	26,41	2,51	3,18	0,17	9,9	1,50	0,50	6,34
A3 T1	8259,37	21,39	2,94	3,73	0,20	10,2	1,16	0,39	9,65
A4 T1	24312,16	13,14	8,65	10,98	0,58	10,2	1,33	0,44	24,83
A5 T1	39446,35	4,58	14,04	17,81	0,94	10,0	1,38	0,46	38,78
A6 T1	68394,71	5,90	24,34	30,89	1,62	9,8	2,38	0,79	38,95
A7 T1	111532,8	4,71	39,70	50,37	2,65	9,9	5,83	1,94	25,90
B1 T1	12147,48	22,93	4,32	5,49	0,29	10,2	2,66	0,89	6,19
B2 T1	15908,92	26,89	5,66	7,18	0,38	10,0	1,81	0,60	11,93
B3 T1	10327,36	17,59	3,68	4,66	0,24	10,1	1,21	0,40	11,57
B4 T1	14434,32	26,00	5,14	6,52	0,34	10,0	1,32	0,44	14,78
B5 T1	29609,48	10,18	10,54	13,37	0,70	10,0	1,36	0,45	29,38
B6 T1	41185,11	12,78	14,66	18,60	0,98	10,1	3,30	1,10	16,93
B7 T1	54358,81	10,56	19,35	24,55	1,29	9,9	6,61	2,20	11,15
C1 T1	16192,06	26,97	5,76	7,31	0,38	10,1	2,61	0,87	8,39
C2 T1	13531,52	21,74	4,82	6,11	0,32	9,8	1,73	0,58	10,58
C3 T1	35587,68	10,34	12,67	16,07	0,84	10,0	1,36	0,45	35,31
C4 T1	19219,6	8,36	6,84	8,68	0,46	10,1	1,45	0,48	17,89
C5 T1	14598,24	20,70	5,20	6,59	0,35	10,1	2,99	0,99	6,60
C6 T1	13022,58	32,99	4,64	5,88	0,31	10,2	6,63	2,21	2,66
D1 T1	11065,29	28,72	3,94	4,99	0,26	10,0	2,35	0,78	6,38
D2 T1	19635,71	14,35	6,99	8,87	0,47	10,1	1,46	0,49	18,16
D3 T1	23856,99	7,20	8,49	10,77	0,57	9,9	1,30	0,43	24,92
D4 T1	57903,62	6,22	20,61	26,15	1,37	10,1	3,60	1,20	21,76
D5 T1	37354,95	10,52	13,30	16,87	0,89	10,1	7,31	2,44	6,92
D6 T1	18112,51	19,24	6,45	8,18	0,43	10,1	7,78	2,59	3,15
D7 T1	15670,58	29,49	5,58	7,08	0,37	9,9	8,37	2,79	2,53

Tabell E2: Rådata och bearbetade data från IRMS analys, T2

Name	N (µg)	15N (%)	ug N in sample	µg NH4 in sample	µmol N (in 10 ml microdiff)	wet soil extracted (g)	dry soil (g)	dry soil equivalent in 10 ml	µg NH4 / g dry soil
A1 T2	4427,63	1,00	1,58	1,99	0,10	10,1	2,63	0,88	2,27
A2 T2	4015,59	0,75	1,43	1,81	0,09	10,2	1,55	0,52	3,51
A3 T2	6388,68	4,40	2,27	2,88	0,15	10,2	1,16	0,39	7,46
A4 T2	34808,57	5,16	12,39	15,72	0,82	10	1,30	0,43	36,26

A5 T2	60015,36	4,23	21,36	27,10	1,42	9,9	1,36	0,45	59,59
A6 T2	65632,03	4,56	23,36	29,64	1,56	10,2	2,48	0,82	35,91
A7 T2	76899,16	4,20	27,37	34,73	1,82	9,8	5,77	1,92	18,04
B1 T2	4532,85	1,00	1,61	2,05	0,11	9,9	2,58	0,86	2,38
B2 T2	3398,66	0,72	1,21	1,53	0,08	10,2	1,84	0,61	2,49
B3 T2	5802,46	7,42	2,07	2,62	0,14	9,9	1,18	0,39	6,63
B4 T2	2796,63	0,58	1,00	1,26	0,07	10	1,32	0,44	2,86
B5 T2	21130,45	7,38	7,52	9,54	0,50	9,8	1,34	0,44	21,39
B6 T2	21650,32	9,14	7,71	9,78	0,51	10,1	3,29	1,09	8,90
B7 T2	26971,03	7,58	9,60	12,18	0,64	9,9	6,60	2,20	5,53
C1 T2	4625,43	1,23	1,65	2,09	0,11	9,9	2,56	0,85	2,45
C2 T2	7159,75	7,25	2,55	3,23	0,17	10	1,77	0,59	5,49
C3 T2	25193,12	8,56	8,97	11,38	0,6	10,2	1,39	0,46	24,51
C4 T2	28116,96	7,82	10,01	12,69	0,67	9,9	1,43	0,47	26,71
C5 T2	14222,14	11,74	5,06	6,42	0,34	10,2	3,03	1,01	6,37
C6 T2	8617,92	10,36	3,07	3,89	0,20	10,1	6,57	2,18	1,78
D1 T2	2440,14	0,87	0,87	1,10	0,06	10,3	2,42	0,81	1,36
D2 T2	23516,92	10,03	8,37	10,62	0,56	10,2	1,48	0,49	21,55
D3 T2	62674,04	7,04	22,31	28,30	1,49	10	1,31	0,44	64,82
D4 T2	103730,9	5,65	36,92	46,85	2,46	9,8	3,49	1,17	40,17
D5 T2	37601,8	9,03	13,38	16,98	0,89	10,2	7,38	2,46	6,89
D6 T2	31396,25	17,70	11,18	14,18	0,74	9,9	7,62	2,54	5,58
D7 T2	29172,77	25,61	10,38	13,17	0,69	10,2	8,63	2,88	4,58

Tabell E3: Rådata och bearbetade data från IRMS analys, T3

Name	N (µg)	15N (%)	µg N in sample	µg NH4 in sample	µmol N (in 10 ml microdiff)	wet soil extracte d (g)	dry soil (g)	dry soil equivalent in 10 ml	µg NH4 / g dry soil
A1 T3	7497,55	0,47	2,67	3,39	0,18	9,9	2,58	0,86	3,93
A2 T3	6720,66	0,39	2,39	3,04	0,16	9,9	1,50	0,50	6,06
A3 T3	7392,77	0,67	2,63	3,34	0,18	9,9	1,13	0,38	8,90
A4 T3	23616,54	2,64	8,41	10,67	0,56	9,9	1,29	0,43	24,85
A5 T3	84009,49	3,29	29,90	37,94	1,99	10	1,38	0,46	82,59
A6 T3	77950,41	3,98	27,75	35,20	1,85	10,1	2,45	0,82	43,07
A7 T3	84075,11	3,64	29,93	37,97	2,00	10	5,89	1,96	19,33
B1 T3	8929,63	0,43	3,18	4,03	0,21	9,9	2,58	0,86	4,69
B2 T3	5341,34	1,83	1,90	2,41	0,13	10,2	1,84	0,61	3,93
B3 T3	9517,84	0,47	3,39	4,30	0,23	10,1	1,21	0,40	10,66
B4 T3	4048,07	0,38	1,44	1,83	0,10	9,9	1,31	0,44	4,19
B5 T3	19974,14	3,02	7,11	9,02	0,47	10,2	1,39	0,46	19,43
B6 T3	12716,67	3,05	4,53	5,74	0,30	10	3,26	1,09	5,28
B7 T3	21951,62	4,99	7,81	9,91	0,52	10,1	6,74	2,25	4,41
C1 T3	7270,25	0,42	2,59	3,28	0,17	10	2,59	0,86	3,81
C2 T3	6982,93	0,42	2,49	3,15	0,17	10,1	1,79	0,60	5,30
C3 T3	25879,58	3,72	9,21	11,69	0,61	10	1,37	0,46	25,68
C4 T3	26920,1	3,74	9,58	12,16	0,64	10,2	1,47	0,49	24,82
C5 T3	9913,62	2,06	3,53	4,48	0,24	10,2	3,03	1,01	4,44
C6 T3	5347,73	0,80	1,90	2,42	0,13	10,2	6,63	2,21	1,09
D1 T3	7928,33	1,09	2,82	3,58	0,19	9,9	2,33	0,78	4,62
D2 T3	7894,98	2,81	2,81	3,57	0,19	9,9	1,44	0,48	7,45
D3 T3	49354,74	4,87	17,57	22,29	1,17	10,2	1,34	0,45	50,04
D4 T3	74635,41	4,96	26,57	33,71	1,77	10	3,57	1,19	28,32
D5 T3	44429,67	7,56	15,81	20,07	1,05	10,3	7,46	2,49	8,07
D6 T3	10926,94	10,8 1	3,89	4,93	0,26	10	7,7	2,57	1,92
D7 T3	7510,33	1,42	2,67	3,39	0,18	9,9	8,38	2,79	1,21

Med följande ekvation som utgångspunkt, utvecklad av Kirkham och Bartholomew (1955) beräknades brutto N-mineralisationshastighet. Ekvationen presenteras enligt Davidson, Hart, Shanks, & Firestone (1991).

$$(1) m = \frac{M_0 - M_1}{t} \times \frac{\ln(H_0 M_1 / H_1 M_0)}{\ln(M_0 / M_1)}$$

$$(2) c = \frac{M_0 - M_1}{t} \times \frac{\ln(H_0 / H_1)}{\ln(M_0 / M_1)}$$

M_0 = initial $^{14+15}\text{N}$ pool
 M_1 = efter inkubation $^{14+15}\text{N}$ pool
 H_0 = initial ^{15}N pool
 H_1 = efter inkubation ^{15}N pool
 m = mineralisationshastighet
 c = immobilisationshastighet
 t = tid

Exempel på hur mineralisationshastighet har beräknats:

$$\frac{2,27-5,9}{24-0,5} \times \ln \frac{27,3-0,3663/0,99-0,3663}{2,27/5,9} = 0,61$$

Data från punkt A1T1 och A1T2 i tabellerna ovan.

Förklaring: det är skillnader mellan tidseriernas ammoniumhalt och ^{15}N -halt som används vid beräkning. Halterna förväntas minska med inkubationstid därav utesluts differenser som inte är negativa. Alltså som inte har minskat i halt mellan tidserierna eftersom dessa data är orealistiska. Dessa visas som rödmarkerade i nedan tabell.

Tabell E4: Brutto N-mineralisationshastighet och -immobilisationshastighet mellan de tre tidsserierna, T1-T2, T2-T3, T1-T3.

Djup (m)		m (mg N kg ⁻¹ h ⁻¹) 30 min to 24 h.	consump- tion rate		m (mg N kg ⁻¹ h ⁻¹) 24h to 96 h.	consump- tion rate		m (mg N kg ⁻¹ h ⁻¹) 30 min to 96 h.	consump- tion rate
0-0,5	T1 och T2	0,61	0,76	T2 och T3	0,08	0,05	T1 och T3	0,28	0,30
0,5-1		0,86	0,98		0,17	0,14		0,45	0,45
1-1,5		0,60	0,69		0,29	0,27		0,41	0,42
1,5-2		1,26	0,77		0,31	0,47		0,45	0,45
2-2,5		0,18	-0,70		0,27	-0,05		0,22	-0,24
2,5-3		0,44	0,57		0,08	-0,02		0,18	0,14
3-3,5		0,12	0,45		0,04	0,02		0,07	0,13
0-0,5		0,60	0,77		0,11	0,08		0,33	0,35
0,5-1		1,11	1,51		-0,06	-0,08		0,22	0,30
1-1,5		0,34	0,55		0,50	0,45		0,60	0,61
1,5-2		1,47	1,98		0,13	0,12		0,66	0,77
2-2,5		0,36	0,70		0,28	0,30		0,33	0,43
2,5-3		0,18	0,53		0,11	0,16		0,16	0,28
3-3,5		0,12	0,36		0,03	0,05		0,06	0,13
0-0,5		0,70	0,96		0,12	0,10		0,38	0,42
0,5-1		0,37	0,59		0,36	0,37		0,48	0,53
1-1,5		0,25	0,71		0,31	0,30		0,35	0,45
1,5-2		0,07	-0,31		0,28	0,31		0,19	0,12
2-2,5		0,16	0,17		0,14	0,17		0,14	0,16
2,5-3		0,11	0,15		0,06	0,07		0,08	0,10
0-0,5		0,56	0,77		-0,01	-0,06		0,21	0,23
0,5-1		0,31	0,17		0,25	0,45		0,22	0,33
1-1,5		0,04	-1,66		0,31	0,52		0,16	-0,11
1,5-2		0,13	-0,65		0,07	0,23		0,06	-0,01
2-2,5		0,05	0,05		0,02	0,00		0,03	0,01
2,5-3		0,02	-0,09		0,02	0,07		0,02	0,03
3-3,5		0,02	-0,07		0,11	0,16		0,06	0,08

Tabell E5: Framräknat medelvärde och standardavvikelse över mineralisationshastighet och immobilisationshastighet.

T1 och T3	Medel m (mg N kg ⁻¹ h ⁻¹)	Standardavvikelse m (mg N kg ⁻¹ h ⁻¹)	Medel consumption rate	Standardavvikelse consumption rate
0-0,5	0,29	0,07	0,32	0,08
0,5-1	0,34	0,14	0,40	0,11
1-1,5	0,45	0,13	0,49	0,10
1,5-2	0,66*	0*	0,77*	0*
2-2,5	0,23	0,13	0,29	0,19
2,5-3	0,08	0,13	0,13	0,13
3-3,5	0,06	0,002	0,11	0,03

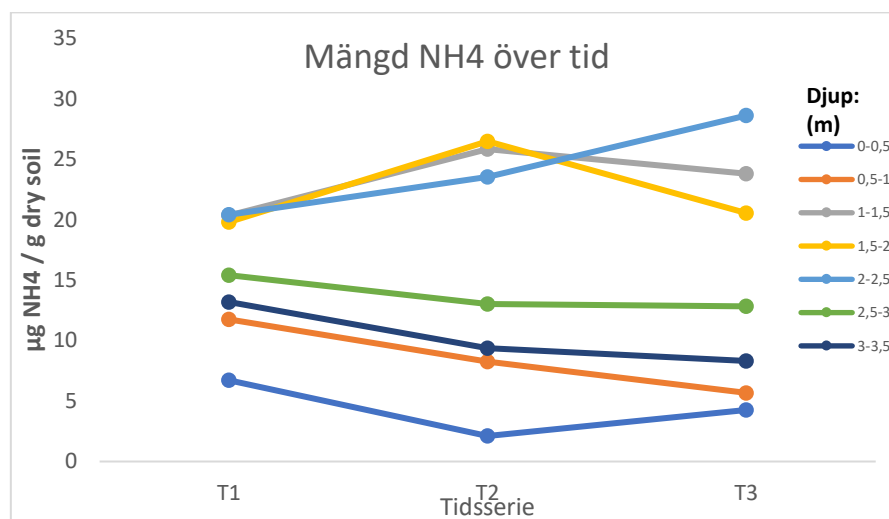
Efter jämförelse med tidigare studier valdes tidserie T₁-T₃ ut som representativ serie av brutto N-mineralisationshastighet och immobilisationshastighet för arbetet. *Då mineralisationshastigheten i djup 1,5–2 m var en outlier användes data från tidserie T₂-T₃. Ett medelvärde mellan tidserierna skapades som syns i nedan tabell.

Tabell E6: Korrigerat medelvärde i djup 1,5-2 m.

Djup	Medel m (mg N kg ⁻¹ h ⁻¹)	Standardavvikelse m (mg N kg ⁻¹ h ⁻¹)	Medel consumption rate	Standardavvikelse consumption rate
1,5-2	0,44	0,31	0,56	0,31

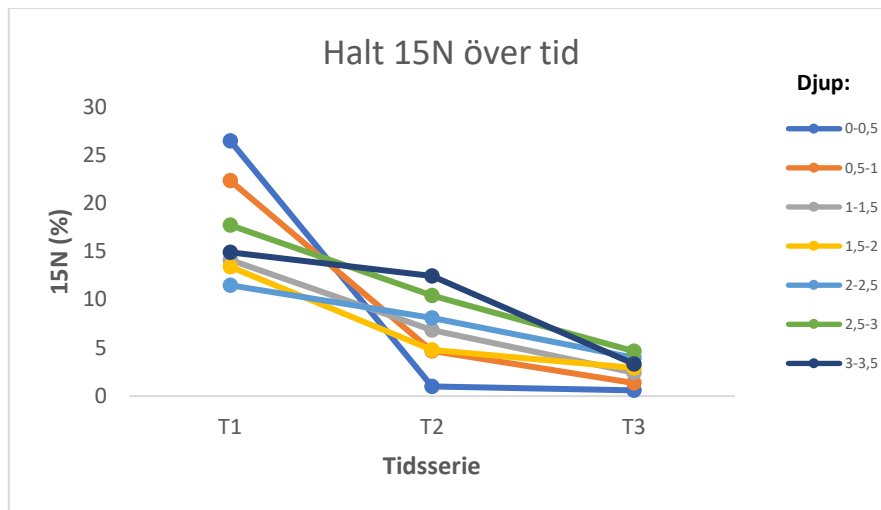
Bilaga F – variation av ¹⁵N och ammonium över tid

Figur F1: Figur som visar hur halten av ammonium varierar med inkubationstid



¹⁵N-ammonium tillsattes till jordproverna vid olika tidpunkter. Proverna stod sedan olika länge med det extra tillsatta ammoniumet. Figuren ovan visar hur ammonium varierar med inkubationstid. Majoriteten visar att halt NH₄⁺ minskar med tiden, ett resultat som tyder på att experimentet har fungerat. Datapunkterna är medelvärden av jordprover från olika provtagningspunkter men samma djup.

Figur F2: Figur som visar hur isotopen ^{15}N minskar med inkubationstid



Figuren visar att det tillsatta ^{15}N minskar med inkubationstid vilket förväntas vid laborationer likt denna. Figuren tyder därför på att experimentet har fungerat. Datapunkterna är medelvärden av jordprover från olika provtagningspunkter men samma djup. Tidsserie T₁-T₃ valdes ut för representativ serie av brutto N-mineralisationshastighet. Figuren stödjer valet då halt ^{15}N minskar med tid. En negativ differens som krävdes för att N-mineralisationshastigheter skulle godtas.