



SKOGSMÄSTARPROGRAMMET
Examensarbete 2015:35

Beskogning av åkermark – Effekter på marken

*Afforestation on former arable land – impact on
the soil*



Caroline Karlsson

Examensarbete i skogshushållning, 15 hp
Serienamn: Examensarbete /SLU, Skogsmästarprogrammet 2015:35
SLU-Skogsmästarskolan
Box 43
739 21 SKINNSKATTEBERG
Tel: 0222-349 50

Beskogning av åkermark – Effekter på marken

Afforestation on former arable land – impact on the soil

Caroline Karlsson

Handledare: Mats Olsson, SLU Avdelningen för biogeokemi

Examinator: Eric Sundstedt, SLU Skogsmästarskolan

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: Självständigt arbete (examensarbete) med nivå och fördjupning G2E med möjlighet att erhålla kandidat- och yrkesexamen

Kurstitel: Kandidatarbete i Skogshushållning

Kurskod: EX0624

Program/utbildning: Skogsmästarprogrammet

Utgivningsort: Skinnskatteberg

Utgivningsår: 2015

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

Serienamn: Examensarbete /SLU, Skogsmästarprogrammet

Serienummer: 2015:35

Omslagsbild: Ungskog på före detta åkermark. Foto: Kari Mette Langseth Karlsson

Nyckelord: kolhalt, kvävehalt, pH-värde



Sveriges lantbruksuniversitet
Skogsvetenskapliga fakulteten
Skogsmästarskolan

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

| | |
|--|----|
| 1. Abstract..... | 1 |
| 2. Inledning..... | 3 |
| 2.1 Bakgrundshistoria | 3 |
| 2.2 Markförsurning..... | 4 |
| 2.3 Kväve | 6 |
| 2.4 Kvävegödsling och kväveläckage | 6 |
| 2.5 Kol | 8 |
| 2.6 Kol/kväve-kvot..... | 9 |
| 2.7 Skogen som kolsänka | 9 |
| 2.8 Syfte och hypoteser | 11 |
| 3. Material och metoder..... | 13 |
| 3.1 Försökslokalen | 13 |
| 3.2 Genomförande..... | 14 |
| 3.3 Kemisk analys..... | 15 |
| 4. Resultat | 17 |
| 4.1 Stendjup | 17 |
| 4.2 pH-värden..... | 17 |
| 4.3 Markens kväveinnehåll..... | 18 |
| 4.4 Markens kolinnehåll | 19 |
| 4.5 C/N-kvot..... | 19 |
| 5. Diskussion..... | 21 |
| 6. Sammanfattning..... | 25 |
| 7. Referenslista | 27 |
| 7.1 Publikationer..... | 27 |
| 7.2 Internetdokument..... | 28 |
| Bilagor | 31 |

1. ABSTRACT

The purpose of this report was to analyze the differences in soil chemistry composition and the vertical distribution of chemical components in soil, in former arable land (planted about 70 years ago) and in continuously forest covered land. There is also a brief summary of the idea using forest as a carbon sink.

A field study has been done, and the results of this, and an analysis of the results are included. The results are correlated to former studies in the field.

2. INLEDNING

På initiativ av Mats Olsson vid SLU har i denna studie markeffekter av beskogning av åkermark studerats. Ytor som varit kontinuerligt beskogade har jämförts med sådana som under en längre tid varit uppodlade till åkermark, och för cirka 70 år sedan åter planterats igen med skog.

Bakgrunden till uppodlingen av de svenska skogsmarkerna har undersökts, och olika processer i marken har studerats närmare. Även olika grundämnenas kretslopp och vad som händer med dessa beroende på hur marken används har studerats. I detta kapitel kommer en överblick över den svenska skogsmarkens historia och markkemin att ges. Då det är ett mycket stort ämnesområde är sammanfattningen förhållandevis kortfattad.

2.1 Bakgrundshistoria

För cirka 9 000 år sedan hade de sista resterna av inlandsisen försvunnit från Sverige. Snart började olika arter av träd att invandra i landet. De allra första arterna var lövträd, främst i form av små förvridna träd, som började uppträda redan innan hela landet var isfritt. Björken var det första trädslaget att kolonisera svensk mark (Holmberg & Andersson, 2007). Därefter kom tallen och senare de ädla lövträden, som trivdes förträffligt i det relativt varma klimat som rådde för cirka 5 000 år sedan. Så småningom blev det dock kyligare igen, och de ädla lövträden retirerade till södra Sverige. Under denna period kom lövträdet bok till Sverige (Andersson, 2010).

När isen smält bort även från de nordliga delarna av landet gavs möjlighet för andra trädslag att invandra från nordöst. Först kom björken och tallen, och därefter, för cirka 3 000 år sedan, granen. Granen, som var mycket skuggtålig och anpassningsbar, kunde snabbt sprida sig söderut i landet. 2 000 år efter sin invandring fanns granen ända nere i Värmland och kring Mälaren. Där bromsades spridningshastigheten dock upp kraftigt, och inte förrän i mitten av 1500-talet hade granen lyckats sprida sig till de sydligaste delarna av Sverige (Andersson, 2010).

Samtidigt som isen smälte bort kom även de första människorna till Sverige. Till att börja med var de dock kringflyttande och levde av jakt och insamling av växter och bär. För cirka 4 000 år sedan insåg man att det skulle vara enklare att stanna på ett ställe och där odla sin mat, istället för att leta efter den (Andersson m.fl., 2010). När man började odla och skulle ha någonstans för djuren att beta, fick skogen börja ge vika. Skogen glesades ut genom huggning och bränning. De allra första odlingstegarna skapades på lövrik mark, som kalhöggs. Därefter lät man de träd som huggits ligga kvar och torka, för att slutligen bränna marken och träden. Denna metod gav användbar åkermark under ett par tre år, innan man

istället lät djuren beta där. När skogen så småningom började växa upp igen upprepades processen (Larsson & Öborn, 1991).

I takt med att människorna blev fler krävdes också mer åkermark för att kunna producera nog mycket mat. Då man började odla upp marken i stor skala, på vikingatiden (runt år 1000) skedde detta framförallt i södra Sveriges slättbygder, där de bördiga jordarna gav bra förutsättningar. När nästa stora uppodlingskulmen nåddes, runt år 1400, uppodlades istället de kvarvarande delarna av södra Sveriges skogsmark. På dessa marker var det svårare att odla på grund av topografin, men marken var ändå bördig. På 1800-talet skedde en sista odlingsexpansion, denna gång med sträckning längre norrut i landet med bland annat fäboddrift (Hjorth, 2002).

Idag är stora delar av den åkermark som så mödosamt odlats upp återigen skogsmark. Åker har planterats igen med träd eller är långsamt på väg att återgå till ett naturtillstånd. Skogsmarksarealen ökar igen (de Jong m.fl., 1999). Men hur har odlingen påverkat marken? Och hur påverkar vårt förändrade levnadssätt markkemin? Detta är de frågor som kommer att avhandlas i detta arbete. Den första frågan kommer huvudsakligen att behandlas i efterföljande kapitel, då en fältstudie av detta ämne gjorts, medan den senare frågan har legat till grund för litteraturstudien och sålunda avhandlas i detta kapitel.

2.2 Markförsurning

Vårt förändrade levnadssätt har påverkat skogen och marken på flera sätt, bland annat genom en ökad hastighet på markförsurningsprocessen. Att detta är problematiskt finns vittnesbörd på runt omkring oss, bland annat har regeringen som ett av sina miljömål pekat ut "Bara naturlig försurning" (Naturvårdsverket, 2015, länk A).

Försurning kan delas in i två olika slag: naturlig försurning och av människan orsakad försurning. Den naturliga försurningen i en opåverkad miljö är egentligen ett ständigt kretslopp. Vid sin tillväxt tar växterna upp positivt laddade joner från marken, huvudsakligen kväve och olika baskatjoner, bland annat magnesium. I gengäld avger växterna vätejoner till marken. Dessa är också positivt laddade, och avges för att träden ska kunna bibehålla sin jonbalans. Vätejoner sänker markens pH och under tidens gång gör trädens avgivande av dessa att marken blir surare och surare, även om det är ett mycket långsamt förlopp. När växterna så småningom dör återgår de positivt laddade baskatjoner som växten tagit upp under sin livstid tillbaka till marken, och pH-värdet ökar igen (Brandtberg & Simonsson, 2005). Dock, alla baskatjoner recirkulerar inte mellan vegetation och mark, utan en del förloras med det avrinnande vattnet till bäckar, sjöar och hav. Detta leder i det långa loppet till en försurning av marken. Denna typ av försurning betecknas som naturlig försurning, dvs en i huvudsak av människan opåverkad försurning.

pH är ett mått på markens surhetsgrad, vilket uttrycks genom att man mäter mängden fria vätejoner i markvätskan. Ju fler fria joner, ju lägre pH, och ju surare är marken. Växterna tar givetvis upp även andra joner än baskatjoner och kväve, även om dessa utgör den största mängden. Växterna kan även ta upp negativa joner, exempelvis NO_3^- , i form av negativt laddade anjoner. Oavsett vilken sorts joner växterna tar upp, måste de avge joner med motsvarande laddning till marken. Upptaget av joner är alltså elektroneutralt (SLU, 1999, Länk B).

Försurningen är idag påverkad av människan. När man började bruka skogarna mer intensivt, och också ta tillvara på allt mer av det som tidigare varit rena biprodukter, förändrades försurningscykeln. I och med att de levande växterna, härefter kallade träden, förs ut ur skogen istället för att få multna ner, förs de positiva baskatjonerna ut ur skogen medan de försurande vätejonerna blir kvar i marken (på motsvarande sätt försuras även åkermarken genom att grödor skördas). Denna typ av försurning betecknas ibland som en av människan orsakad biologisk försurning. På senare år har man också i allt större omfattning börjat ta till vara avverkningsrester efter skörd, vilket leder till att än mer av näringsämnen förs bort från skogen. Dessa näringsämnen är också de som nästa generation träd skulle haft att växa av (Naturvårdsverket, 2015, Länk A). En del av problemet avhjälpas om man låter riset ligga kvar och barra av, och skotar ihop det först efter att detta skett. Man har också experimenterat med stubbskörd. Volymerna är dock fortfarande små, då inte alls alla marker är lämpliga och ekonomin kan vara svår att få ihop. Skulle stubbrytning komma att praktiseras i större skala skulle ännu mer av näringsämnen försvinna från skogen. Minskat pH leder också till en ökad förekomst av lösligt aluminium, som är giftigt för många organismer, inkluderat människan (Naturvårdsverket, 2014, Länk C).

Förutom den ovan beskrivna biologiska försurningen finns det också en annan typ av försurning. Den försurningen består av nedfall av olika försurande ämnen (bland annat NO_x) som människans aktiviteter, till exempel bilkörning, genererat och som har släppts ut i atmosfären. De atmosfäriskt tillförda anjonerna lakas lätt ut med nederbördsvatten och drar då med sig baskatjoner, dvs. marken försuras.

Försurningsprocessen, vare sig naturlig eller orsakad av människan, kan motverkas av jordens buffertverkan, det vill säga genom att mineralkorn i jorden långsamt löses upp genom vittring och då frigör baskatjoner som kan fungera som buffert och dämpa takten på markförsurningen. Olika mineral har olika hög buffertkapacitet, men dessvärre ger mineralsammansättningen i de skandinaviska jordarna dålig buffertverkan (Vattenfall, 2015, Länk D). Denna process pågår givetvis även utan mänsklig påverkan, men då mänsklig aktivitet späder på angreppet av försurande ämnen kan inte markvittringen hålla jämna steg med försurningen.

Olika metoder för att motverka försurning finns i bruk. När det gäller jordbruksmark och vatten handlar det framförallt om kalkning. När det kommer till skogsmark arbetar man istället med askåterföring. För att detta ska fungera

bra måste askan först stabiliseras, så att det tar några år innan all näring lösts upp och återgått till marken (Vattenfall, 2015, Länk D). Askåterföring gör också att många av de näringsämnen som förs ut ur skogen (se tidigare i detta avsnitt) återförs till skogsmarken, och på så sätt minskar näringsförlusterna. Det enda näringsämne som inte återförs är kväve, vilket avgår under förbränningsprocessen. Än så länge pågår detta enbart i liten skala.

2.3 Kväve

Kväve är det ämne som vanligen är tillväxtbegränsande i de svenska skogarna. Det finns visserligen gott om kväve i både atmosfären och marken, men en stor del av det består av former som träderna ofta har svårt att tillgodogöra sig. Vissa arter kan dock fixera kväve med hjälp av samarbete med bakterier. Inom den zon som trädens rötter når kan det finnas flera ton kväve per hektar. Zonen är alltså det område som trädens rötter kan nå att hämta näring ifrån. Detta har anrikats i marken under många tusen år genom biologisk fixering och atmosfäriskt nedfall. Dock är det endast en mycket liten andel av allt detta kväve som är lätt tillgängligt för träderna, oftast bara någon procent av den totala kvävemängden. Det motsvarar ungefär 40 – 60 kilo kväve per hektar och år, vilket kan ställas mot att en granskog på medelgod blåbärsmark i mellersta Sverige kräver just den mängden per hektar och år. På många håll är dock tillgängligheten mindre, varför framförallt granen (som är mer kvävekrävande än tallen) kommer att begränsas i sin tillväxt av tillgången på just kväve (Lundmark, 1986).

Observeras bör att på brunjord med humusformen mull blir kvävetillgången ofta bättre på grund av snabbare mineralisering. Detta beror på att det i sådan jord finns betydligt fler nedbrytare som blandar om humusen och mineraljorden, vilket i sin tur leder till en snabbare nedbrytning och mer frigjort kväve (Lundmark, 1986).

2.4 Kvävegödsling och kväveläckage

Gödsling med kväve har visat sig öka tillväxten hos träderna under de närmast följande åren efter det att gödslingen skett. Detta är anledningen till att man gärna kvävegödslar cirka tio år innan planerad slutavverkning. Värde tillväxten blir då som högst i förhållande till satsade medel. Gödslingen ger som effekt att trädet kan producera mera klorofyll, vilket i sin tur leder till att trädet producerar en större barr/bladmassa och på så sätt kan utnyttja solenergin mer effektivt, vilket leder till ökad tillväxt. Ökad tillväxt innebär också mer biomassa, och alltså mer förna. Denna förna kan efterhand bindas in i marken som humus. Ökningen i markens kolförråd kan bli rejäl. Man bör dock vara försiktig med att gödsla alltför vattenmättade marker, då risken vid de förhållandena är att nitrat reduceras till dikväveoxid, och avges till atmosfären som en växthusgas.

Under senare år har depositionen av kväve generellt ökat i Sverige, med den större delen av ökningen i de södra delarna av landet. Kväve avges framförallt som luftburna föroreningar, vilka främst kommer från förbränning av fossila bränslen, men även avdunstning av ammoniak från jordbruksmarken späder på mängden föroreningar. I södra Sverige räknar man med så mycket som 25 kg kvävednedfall per hektar och år, medan man i norra Sverige endast räknar med 2 kg per hektar och år. Detta är kväve i en form som den växande skogen kan tillgodogöra sig. Skulle man komma till den punkt då nedfallet av kväve i kombination med det naturgivna kvävet överstiger gränsen för tillväxtbegränsning, blir dock andra näringsämnen begränsande.

Mätningar har visat att kväveläckaget generellt understiger den beräknade tillförseln av kväve. Detta innebär att mer kväve binds än vad som avgår, och det korrelerar väl med det faktum att kväve normalt sett är den tillväxtbegränsande faktorn. Vid vilken nivå av kvävednedfall som beståndet börjar läcka kväve verkar dock vara relativt konstant, cirka 15 kg N/ha/år (Rosenqvist, 2007). På torvmark är det dock sällan kväve som är den tillväxtbegränsande faktorn, utan fosfor och kalium (Yara, 2015, Länk E). Konstaterat är också att kvävekoncentrationen i krondroppet ökar med ökad ålder och höjd i beståndet. Med åldern minskar dock trädkronornas upptag av kväve (åtminstone för gran medan ek tenderar att snarare öka sitt upptag). Upptaget ligger mellan 6 och 41 procent av den totala kvävedepositionen (Rosenqvist, 2007).

Kväveläckaget är betydligt mindre från skogsmark än från jordbruksmark, detta gäller även för återbeskogad åkermark. En stor anledning till detta är att skogen är mångårig och lagrar in kvävet på ett helt annat sätt än vad de ettåriga jordbruksgrödorna gör. Det kan också bero på att jordbruksmark på olika sätt tillförs kväve, t ex i form av gödsel, och att denna mark i regel har större mängder och mer lättillgängligt kväve än skogsmark. Ett genomsnitt för svensk odlingsmark är beräknat till 22 kg kväveläckage per hektar och år. En omläggning från odlingsmark till skogsmark skulle alltså kunna minska kväveläckaget drastiskt, även om läckaget fortsatt blir högre än i skog som haft mer kontinuitet.

Ser man över året, så är läckaget av kväve större under vinterhalvåret än under sommarhalvåret. Detta beror till stor del på att tillväxten avstannar under vintern, och då tar inte träden upp kväve, så mer kväve blir tillgängligt för avrinning. Rent generellt ökar också kväveläckaget något med ökad beståndsålder. Vid 15 – 20 års ålder har beståndet nått full kronslutenhet, och träden lägger inte längre lika mycket resurser på att bygga upp grenar och barr. Detta innebär att behovet av kväve minskar något, och att läckaget ökar något. Totalt sett är dock kväveupptagningsförmågan som störst när beståndet är ungefär 70 år, för att därefter minska successivt (Lundmark, 1986). Det är också under de första åren som kvävet omfördelas från mineralbunden form till organisk form, i marktäcket och i fältskiktet.

Kväve finns tillgängligt för växterna i olika former. Den del som växterna kan ta upp via rötterna är mycket liten, cirka 1 % av det totala förrådet. De enda former

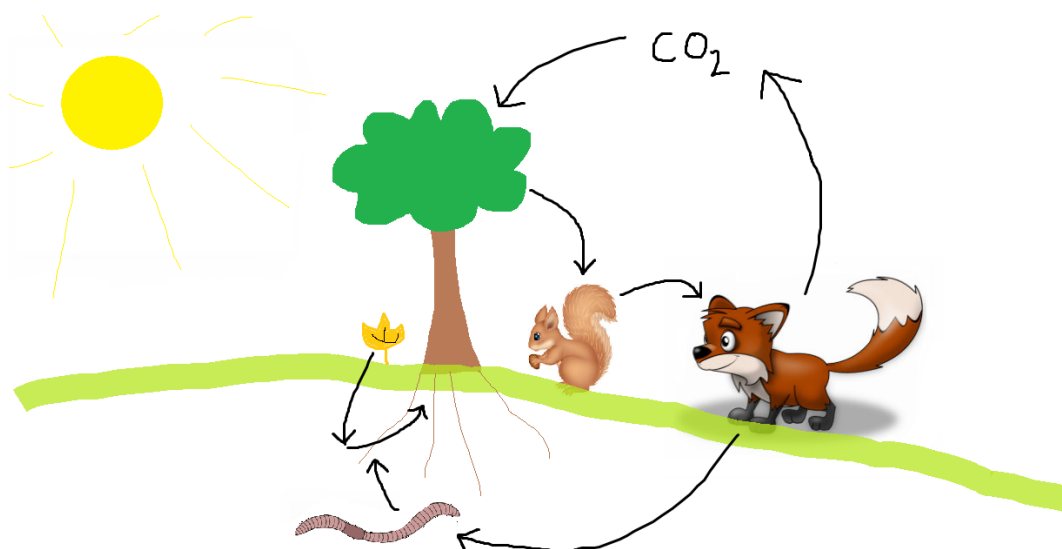
som kan tas upp direkt av rötterna är ammoniumjoner och nitratjoner, som finns lösta i markvattnet. Ammoniakgas kan tas upp av bladen, men i det stora hela är det upptaget försumbart. Vissa arter lever också i symbios med speciella kvävefixerande bakterier som hjälper till med kväveförsörjningen. Ett exempel på detta är alar.

2.5 Kol

Grundämnet kol ingår i alla levande organismer. Kol finns även lagrat i mineraljorden som humus. Det kol växterna byggs upp av tas från atmosfären i form av koldioxid. En del av denna koldioxid återgår till atmosfären i form av andning, men resten blir byggstenar i växterna. På så sätt minskar mängden koldioxid i atmosfären. En del av detta kol tillförs sedan marken genom förnedfall, alltså organiska kolföreningar. När denna förna sedan bryts ned av olika destruerter tillförs kolet till marken och lagras där. Genom nedbrytningen återgår merparten av kolet till atmosfären. Resterande kol ansamlas i växterna och kommer efter hand att antingen återföras till atmosfären, till exempel genom förbränning, eller lagras i någon bunden form, exempelvis som konstruktionsmaterial i byggnader (Olsson, 2006).

Att lagra kol i jorden skulle vara ett sätt att minska problemen med koldioxid i atmosfären, och bidra till att minska växthuseffekten. I ett kortare tidsperspektiv skulle det förmodligen inte märkas så mycket, men på lång sikt skulle stora mängder kol kunna lagras i marken vilket i sin tur skulle minska mängden koldioxid i atmosfären. Man brukar i detta sammanhang tala om en kolsänka, det vill säga ett lager av kol som undantas från atmosfären. Igenplantering av före detta åkermark är ett exempel på en kolsänka som skulle kunna bidra till minskade mängder koldioxid i atmosfären. (Alriksson, 1997).

Något man bör ha i åtanke i sammanhanget är att dikade torvmarker fungerar annorlunda, och även andra vattenmättade marker. Eftersom man vid dikning sänker grundvattenytan ökar nedbrytningshastigheten av torven, vilket leder till ökade utsläpp av såväl koldioxid som dikväveoxid. Båda dessa är växthusgaser, men dikväveoxiden (som visserligen bildas i mindre mängd) är en betydligt mer effektiv gas, och påverkar alltså den globala uppvärmningen mer än vad motsvarande mängd koldioxid gör. Till viss del motverkas detta givetvis av skogsproduktionen, men om man förbränner skogen istället för att binda kolet på längre sikt är det sannolikt att man får en större gasavgång från torvmarken än vad som binds in (Olsson, 2006).



Figur 1. Enkel bild av kolets kretslopp.

2.6 Kol/kväve-kvot

Förhållandet mellan kol och kväve i marken mäts med en så kallad C/N-kvot. På bördig mark med mer kväve i marken tenderar kvoten att bli lägre. Kvoten sjunker vid det organiska materialets nedbrytning genom att kol går bort som koldioxid, medan däremot kväve hålls kvar av mikroorganismerna genom att det är ett bristämne. I de översta marklagren (de översta 15 centimetrarna) ligger denna i regel mellan 10:1 och 40:1, men kan variera både uppåt och nedåt. Det man kan se är dock att skillnaderna inom en given klimatzon är små om jorden skötts på liknande sätt. C/N-kvoten har betydelse för hastigheten som det organiska materialet bryts ned med, samt kvävetillgängligheten. Vid ett värde på över 25 är det stor konkurrens om det kväve som finns. Det leder i längden till minskad nedbrytningshastighet och kvävebrist hos växterna. Det händer till exempel i mårlager (Länk F, SLU, 2007).

2.7 Skogen som kolsänka

Skog har länge ansetts kunna vara en effektiv kolsänka för att motverka växthuseffekten. Även EU har sett detta som en bra metod, och program för och stöd till återbeskogning av åkermark finns. I och med att jordbruket har blivit allt mer intensivt har mindre bördiga områden och små åkerplättar på mindre tillgängliga platser tagits ur drift. Att återbeskoga dessa skulle kunna vara en värdefull insats i kampen mot klimatförändringarna, men även mot övergödningen, dels i och med att skogen kan ta vara på betydligt mer av den luftburna depositionen, dels för att läckaget av tidigare ackumulerade näringsämnen från dessa jordbruksmarker då binds i grödor istället för att läcka ut i vattendrag och känsliga marker till dess att näringsöverskottet är förbrukat.

En annan aspekt på återbeskogning ur ett klimatperspektiv är det att den växande skogen tar upp mycket koldioxid, vilket i längden skulle leda till minskade halter koldioxid i luften och en motverkad växthuseffekt. Detta kan dock i viss mån diskuteras och är en sanning med modifikation. Så länge skogen växer är det väl och bra, men efterhand kommer man till ett stadium där avgången och tillväxten är lika stor. Det innebär att skogen inte längre fungerar som kolsänka, utan avger lika mycket koldioxid som tas upp. Samtidigt kan man invända att det att bruka skogen inte heller är en effektiv metod för att motverka klimatförändringar. Också det är öppet för diskussion. En betydelsefull faktor i frågan är vad vi använder skogen till. Om virket helt enkelt eldas upp så återgår kolet givetvis till atmosfären. Samtidigt innebär det ingen nettoökning av det luftburna kolet, i och med att trädet under sin levnadstid tagit upp kolet från luften. Detta är en aspekt som brukar poängteras när man talar om hållbara resurser. Trä som energikälla ger alltså utsläpp, men ingen nettoökning av de samma. Detta i motsats till att använda fossila bränslen som energikälla. Då dessa länge varit bundna i djupa marklager och inte ingått i kretsloppet ökar nettomängden koldioxid i atmosfären, vilket späder på klimatförändringarna (de Jong m.fl., 1999). I det sammanhanget kan man alltså anse trä för att vara en klimatneutral energikälla, men knappast som en kolsänka. Den stora vinsten i att se trä som kolsänka är väl snarast att använda det i sådana sammanhang att kolet är bundet under mycket lång tid, exempelvis i byggnader. Då är kolet så att säga borta ur kretsloppet under en mycket lång tid, det kan mycket väl handla om ett par hundra år. Därutöver är det väl ganska givet att om den totala arealen skog ökar, ökar också kolinlagringen totalt sett. Detta bör kunna ses som en kolsänka och en motverkan mot klimatförändringar, speciellt om vi brukar dessa skogar och använder produktionen för att minska eller helt upphöra med användandet av fossila bränslen.

Samtidigt skulle det kunna finnas en outnyttjad resurs i skogsmarken, i form av användbar jordbruksmark. Detta skulle kunna komma till nytta om klimatförändringar i kombination med ökad befolkningsmängd skulle leda till matbrist och försämrade odlingsmöjligheter i redan svårödlade områden. Tänker man i katastroftermer är det inte omöjligt att de torraste av jordens befolkade områden skulle bli omöjliga att leva och bo i, och även områdena runt exempelvis Medelhavet skulle kunna bli så varma och torra att det vore svårt att odla under delar av året. Det skulle i förlängningen innebära att fler människor skulle födas på en mindre yta, vilket skulle vara tvunget att leda till mer intensiva brukningsmetoder och även återuppodling av igenplanterad åkermark.

2.8 Syfte och hypoteser

Syftet med denna studie har varit att undersöka hur markkemin, närmare bestämt kol, kväve och pH, skiljer sig åt mellan skogsmark och före detta åker som beskogsats. I ljuset av litteraturstudien skulle ett förväntat resultat vara att de totala mängderna av de ämnen som undersökts kan skilja sig åt mellan marktyperna och att den vertikala fördelningen kan skilja sig stort. Detta beror på olika nivåer av uttag av biomassa och därmed näringsämnen, men också att åkern sannolikt har gödslats mer intensivt än skogen. Därför borde det vara mindre skillnader mellan marklagren i åkern. Enligt samma linje borde också skogsmarken ha ett högre näringsinnehåll närmre markytan, i och med att förnan får ligga kvar på markytan.

Återbeskogning av före detta åkermark diskuteras idag som en möjlig källa för att minska den globala uppvärmningen. Studiens andra syfte, som dock varit mer teoretiskt, har varit att undersöka effekten av detta. Skulle återbeskogning vara ett effektivt medel i kampen mot klimatförändringarna, och då under vilka premisser? Hur kan detta kopplas till näringsämnenas fördelning i marken?

Mer konkret ska följande frågeställningar besvaras:

- Är pH-värdet lägre i skogsmarkens ytlager än i åkermarkens ytlager?
- Innehåller marken i skogen mer kol än marken i åkern?
- Hur skiljer sig C/N-kvoten mellan de olika markslagen?
- Är det relativa djupet till sten större i åkern än i skogen?

3. MATERIAL OCH METODER

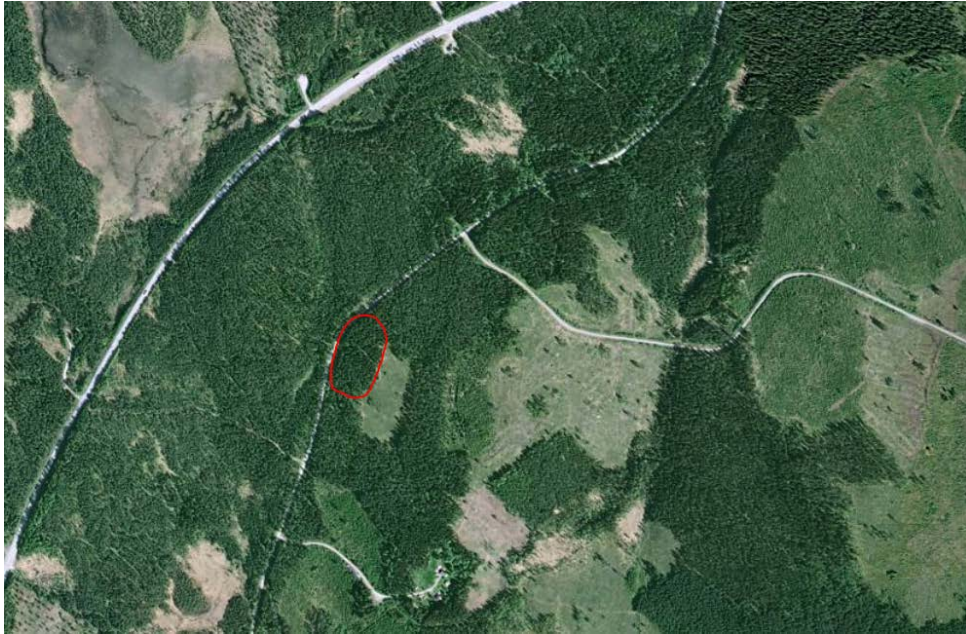
Innan arbetat i fält startade, gjordes en plan upp för hur insamlingen av data skulle gå till. Provlokalen skulle förberedas och material sammanställas.

Hypoteser ställdes också upp för att man skulle ha något att utgå från när proverna senare skulle analyseras.

3.1 Försökslokalen

Den praktiska delen av denna studie bestod av en undersökning av hur tidigare odling och därefter beskogning påverkat markens egenskaper i förhållande till marker som varit kontinuerligt beskogade.

Den plats som valts för undersökningarna ligger i Skinnskattebergs kommun, Västmanlands län, ganska precis på 60° N, 190 mö.h. Mer exakt ligger platsen utmed gamla Fagerstavägen, strax norr om avfarten till Älgtorp, beläget i närheten av Bastnäs gruvfält. Här finns, i direkt anslutning till varandra, en markbit som varit kontinuerligt beskogad och en som varit uppodlad till för cirka 70-80 år sedan. Enligt den häradsekonomiska kartan bör marken ha varit uppodlad redan i mitten av 1800-talet, förmodligen redan innan det, men äldre kartor är svårtolkade. Hädanefter kallas de två ytorna för skog respektive åker. Båda ytor är förmodligen planterade samtidigt, för cirka 70 år sedan, med gran. Årsmedeltemperaturen ligger på cirka 6 plusgrader, och årsnederbörden är cirka 700 mm. Jordarten utgörs av en siltig sandig morän, som ligger över högsta kustlinjen och således är osvallad. Jordmånen på skogsytan är en typisk järnpodsol med ungefär 5 cm blekjord. På åkerytan är jordmånen en kulturjordmån som dock underlagras av en rostjord (B-horisont) som liknar den i podsolen på skogsytan.



Figur 2. Försöksområdet inringat i rött. Skogsmark norra halvan, före detta åkermark södra halvan.

3.2 Genomförande

Fältarbetet genomfördes i slutet av november 2014, under en förhållandevis regnig period, vilket innebar mycket vatten i proverna. Fyra provytor lades ut på varje yta, vardera 12×8 meter i fyrkant. Varje yta delades sedan in i ett rutnät.

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

Figur 3. Skiss över indelning och numrering av rutnätet inom provytorna.

Med hjälp av Excel slumpades koordinater ut för var de olika provtagningarna skulle ske. I varje provyta togs prover på fyra olika platser. På varje plats togs prover på tre olika djup. Det första provet togs i humuslagret med hjälp av en humusborr (diameter 100 mm). Därefter togs ett prov på 0 – 5 cm djup under humuslagret, och ett prov på 10 – 20 cm djup under humuslagret, dessa med en jordborr (diameter 48 mm). För att gräva ned till erforderligt djup i de olika marklagren användes dels en vanlig trädgårdsspade, dels en mindre spade av den typ man brukar använda vid arbete i rabatter. För att säkerställa djupen mättes de med tumstock. Proverna förpackades i tillslutna plastpåsar och märktes, dels utanpå med märkpena och dels med en lapp som lades i påsen.



Figur 4. En humusborr används för att ta prov av humuslagret.

I laboratorium sorterades jordproverna på så sätt att alla levande rötter sorterades ut för sig för varje provyta. Därefter lufttorkades och vägdes varje enskilt prov innan det återigen förpackades, lufttätt. Rötterna vägdes och förpackades för sig.

Ytterligare en provtagning gjordes ute i fält, för att undersöka hur "normaldjupet" för sten förhöll sig mellan de olika ytorna. Utgångsteorin var att det genomsnittligt torde vara betydligt längre till sten i den mark som tidigare varit åker, då denna sten troligen rensats bort då man plöjt upp åkrarna. Sålunda borde djupet till sten i genomsnitt vara grundare i skogsmarken. Per tidigare kvadratiska provytor togs 10 slumpmässiga prov per yta, det vill säga inalles 40 prov per marktyp. Proverna togs med hjälp av en 75 cm lång metallstav som trycktes/hamrades (med gummiklubba) ned i marken till dess att sten påträffades. På grund av stavens längd kunde inga djup över 70 cm uppmätas.

3.3 Kemisk analys

Då proverna sorterats, vägts, förpackats om och märkts upp skickades dessa till laboratorium för kemisk analys. Proverna siktades genom en 2 mm sikt. Analyser gjordes av pH, halt av kol och kväve (%) i den fraktion som passerade sikten. Halterna är uttryckta som % av lufttorr vikt. Det är dessa analyser som ligger till grund för resultaten.

4. RESULTAT

Då analysvaren kommit från laboratoriet kunde pH-värde, andel kol och andel kväve jämföras mellan de olika markslagen. För att få en mer tydlig bild interpolerades även värden för det markdjup där inga prover tagits, 5-10 cm djup.

Under de följande rubrikerna redovisas skillnaderna i kol- och kvävehalt i de olika marktyperna för att påvisa skillnader och likheter beroende på hur marken brukats. Även en analys av pH-värden finns redovisat, liksom skillnader i stendjup beroende på om marken odlats eller ej.

4.1 Stendjup

Av nedanstående tabell kan man utläsa att stendjupet i genomsnitt låg 12 centimeter längre ned i åkermark än i skogen. 40 observationer har gjorts på varje marktyp. Detta stämmer väl med de hypoteser som fanns innan undersökningen. Stendjupet har påverkats av odling under tidigare år, och som bevis för detta finns även gamla odlingsrösen på platsen. Den genomsnittliga skillnaden kanske inte verkar så stor, men tittar man på medianvärdena ser man att de skiljer sig med hela 20 centimeter. För åkermark ligger medianvärdet väl korrelerat med medelvärdet, vilket tyder på en jämnare fördelning av stenens djup än i skogsmark, där medianvärdet är 23,5 centimeter. Ett antal observationer uppvisade stendjup på mer än 70 centimeter, vilket var det djup som maximalt kunde uppmätas i undersökningen.

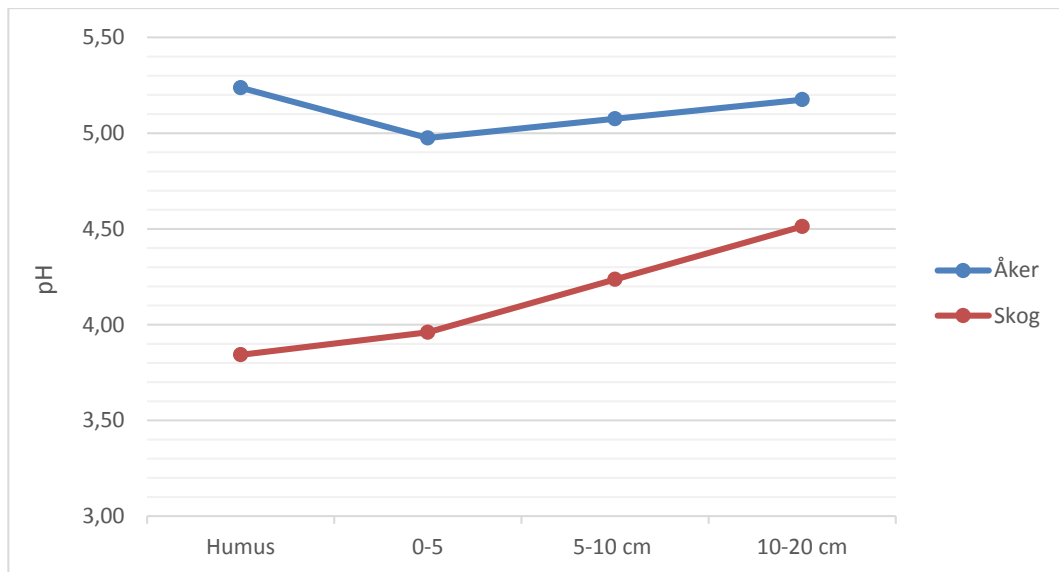
Tabell 1. Djup ned till sten i skogsmark respektive åkermark. Mått i centimeter.

| Marktyp | Medeldjup | Standardavv | Antal obs | Mediandjup |
|---------|-----------|-------------|-----------|------------|
| SKOG | 31,5 | 22,3 | 40 | 23,5 |
| ÅKER | 43,6 | 23,8 | 40 | 43,0 |

Ett statistiskt signifikant test ger också vid handen att det genomsnittliga stendjupet är klart större på åkermark än på skogsmark ($p < 0,05$, se bilaga 1).

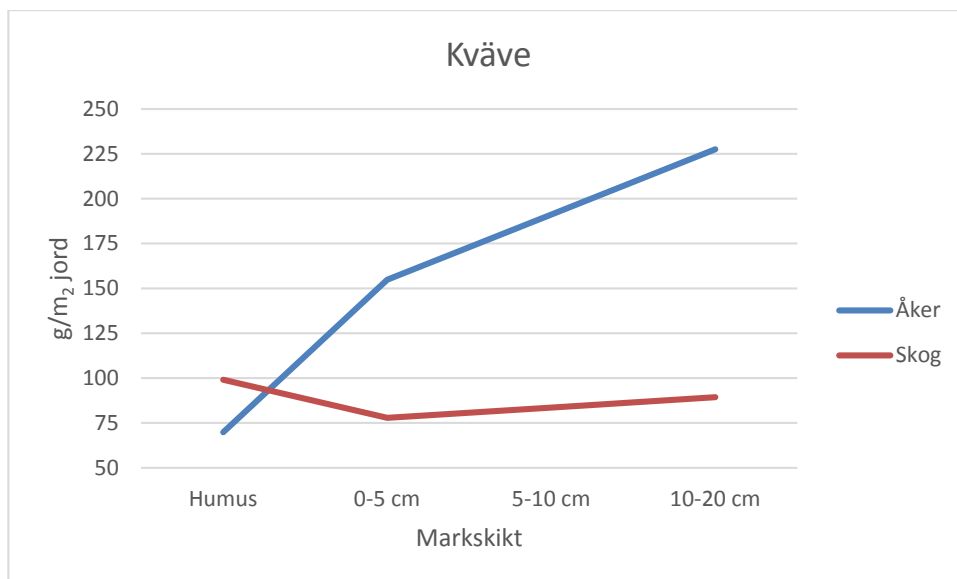
4.2 pH-värden

Beträffande skillnaderna mellan före detta åkermark och kontinuerligt besogad mark är dessa markanta. pH-värdet är, framförallt i humuslagret, betydligt högre i den tidigare åkermarken än i skogsmarken. Även längre ned i marken är pH-värdet högre i åkern, men skillnaderna avtar något.



Figur 5. pH i de olika marklagren

4.3 Markens kväveinnehåll



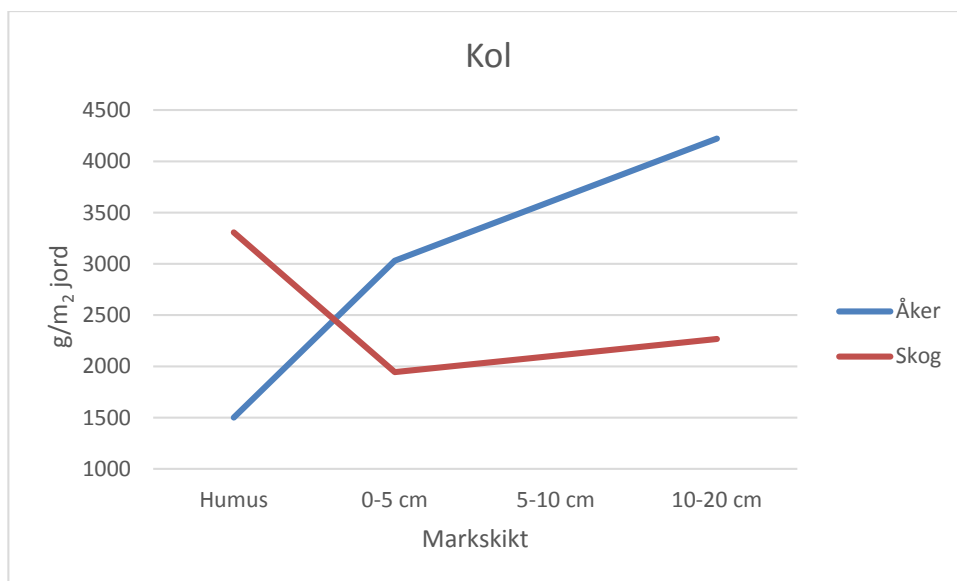
Figur 6. Kväveinnehåll i g/m² jord

Mängden kväve, uttryckt som g N/m² och skikt var lägre i de lägre liggande skikten i skogsmarken än i motsvarande skikt i den före detta åkermarken. I ytskiktet var dock innehållet relativt likartat, dock med något mer kväve i skogen än i åkern.

Medelvärdet i kväveinnehåll skiljer sig markant mellan de två markslagen. Den före detta åkermarken innehåller betydligt högre mängder kväve per m² jord per lager än vad skogsmarken gör. Totalt ned till 20 cm djup finns i den gamla åkermarken ung. 640 g N per ha, medan det i skogen enbart finns ung. 350 g N per ha.

4.4 Markens kolinnehåll

Kolmängden i de olika marktyperna analyserades för varje provdjup.



Figur 7. Kolinnehåll i g/m² och skikt

Kolinnehållet per m² jord var betydligt lägre i de lägre liggande skikten i skogsmarken än i motsvarande skikt i den före detta åkermarken, men också betydligt högre i humuslagret. Humuslagret i åker är också det enda som avviker från övriga resultat genom att ha lägre halt än de djupare liggande markskikten. Totalt ned till 20 cm djup finns i den gamla åkermarken ung. 12,4 kg C per ha, medan det i skogen enbart finns ung. 9,6 kg C per ha.

4.5 C/N-kvot

Som kan utläsas av nedanstående tabell är det förhållandevis mindre kol relativt kväve i det översta marklagret (humusen) än i de därunder liggande lagren. Det som skiljer marktyperna åt är att kvoten tenderar att minska något ju djupare man kommer i åkern, medan den i skogen ökar något med djupet, dock betydligt lägre kvot än i humusen.

Tabell 2. Förhållande mellan kol och kväve (C/N-kvoten) i de olika marktyperna.

| | ÅKER | SKOG |
|----------|------|------|
| Humus | 21,5 | 33,4 |
| 0-5 cm | 19,5 | 25,2 |
| 5-10 cm | 19,1 | 25,3 |
| 10-20 cm | 18,6 | 25,5 |

Detta innebär att konkurrensen om kvävet är tydligt högre i skogen än i åkern.
Värdena korrelerar väl med de för området normala.

5. DISKUSSION

Som berördes i resultatdelen syns en tydlig skillnad mellan den kontinuerligt beskogade marken och den återbeskogade åkermarken. Dels finns en skillnad i pH, men det finns även en stor skillnad i hur kol och kväve är fördelade i marken. I skogsmarken finns en betydligt större mängd kol och kväve i humuslagret än vad som finns i åkermarken. Även totalt sett, till 20 cm djup, finns betydligt mer kol och kväve i den före detta åkermarken än i skogsmarken. De större kol- och kvävemängderna i den före detta åkermarken kan förklaras med att marken har gödslats, kanske med strö från ladugården eller gödsel från kreaturen. Kanske har även skörderester i form av halm plöjts ned i marken.

I och med att åkergrödor är ettåriga och skördas varje säsong så förs dels en hel del näring bort varje år (vilket i och för sig ersätts med gödsel av olika slag), dels bildas aldrig något bottenskikt/fältskikt i åkern. Skogen är å andra sidan en perenn gröda, och näringen lagras länge. Den har också betydligt djupare rötter än vad den lågväxta åkergrödan har, och kan därmed dra näring från betydligt djupare marklager. När skogen sedan växer bildas dels ett skikt, bestående av död fallförna, dött material från fältskiktet, döda småkryp och liknande, dels bildas ett fältskikt som varje säsong får multna ned och återcirkulera näringsämnen till fältskiktet. Detta, att skogen drar näring från djupare skikt och att fallförna och annat material tillåts bilda ett konstant förnaskikt och humuslager, gör att mer av näringen allokeras till de övre marklagren, framförallt till humuslagret. Detta syns också tydligt i fältstudien, då det översta marklagret i skogen innehåller mer näring, medan de undre har mindre näring till följd av omfördelningen av ämnen.

När den återbeskogade marken så småningom har varit skogbevuxen under en längre tid kommer näringsfördelningen allt mer att närma sig den i den kontinuerliga skogen. Detta är dock en process som tar lång tid, och som bl.a. styrs av hur intensivt marken brukats, och med vilka metoder. Det kan konstateras att inom denna första skogsgeneration (70 år) består åkermarkens status till mycket stor del. Mark som återbeskogats under tiden efter andra världskriget kommer troligen snabbare att närma sig det "naturliga tillståndet" än mark som återbeskogats nu. Den äldre tidens jordbruk var mindre intensivt, mindre utarmande och framför allt använde man inte alls samma mängder av näringstillseter som idag. Den åkermark som återbeskogats idag har skötts betydligt mer intensivt, ofta med stora mängder gödsel, vilket ger anledning att tro att markkemin påverkats ytterligare och att ett naturligt tillstånd ligger ännu längre bort.

Ett intensivare jordbruk med mer gödsling leder också troligen till ett ökat näringsläckage. Detta kan leda till övergödning av vattendrag och känsliga marker, men skulle också kunna vara en potentiell risk för skogsbruket, för om näringsöverskottet läcker ut i skogsmarken förändras hela näringscirkulationen. Exempelvis skulle ett ökat kväveläckage från åkern till skogen kunna leda till ökad

tillväxt, i och med att kväve ofta är den tillväxtbegränsande faktorn i våra svenska skogar. Men om läckaget blev så stort att kväve inte längre var den begränsande faktorn skulle av naturliga skäl något annat ämne bli begränsande. Vilka konsekvenserna skulle bli är dock svårt att uttala sig om. Troligen högre tillväxt, men till vilket pris? Kanske till priset av sämre kvalitet på virket, vilket inte skulle gagna någon.

En högre andel perenn gröda (skog) innebär att relationen mellan olika kolpooler i ekosystemen kommer att ändras med mindre andel i marken och en större andel i växterna.

Som kan utläsas av de resultat som erhållits, innehåller den före detta åkermarken mer kol och kväve i de djupare markskikten än vad skogsmarken gör, men i humusen håller skogen betydligt mer näring. Detta stämmer väl överens med i förväg uppställda hypoteser. Exempelvis är kolhalten i skogens humuslager tydligt högre än den i åkerns humuslager. Detta visar tydligt på den omfördelning av ämnen som sker beroende på vilken gröda som odlas. Skogsmarkens ostörda ytskikt består av humus och förna i olika stadier av nedbrytning. Detta är organiska ämnen, uppbyggda av kol hämtat från atmosfären och näringsämnen som hämtats från de djupare marklagren och som sedan koncentreras till humusskiktet i och med att växterna dör och bryts ned. I åkermarken kommer denna omfördelning aldrig riktigt att ske på samma sätt, i och med att man plöjer marken och därmed jämnar ut fördelningen av näringsämnen mellan marklagren. Detta kommer att förändras när man återplanterar skog, men det är en långsam process.

Om man ser till resultaten av jordproverna så ligger de i linje med de i förhand förväntade resultaten. Näringsinnehållet har räknats ut i gram per kvadratmeter jord, och som förväntat var kvävemängden mindre i de lägre liggande lagren i skogsmarken än i den före detta åkermarken. Kolinnehållet i humuslagret var tydligt högre i skogsmarken än i åkermarken, vilket också var förväntat.

Att ett lägre näringsinnehåll i de djupare markskikten i skogen var förväntat beror på ett antal faktorer. En anledning är att näringen i den före detta åkermarken har blandats effektivt av dels mikroorganismer (som det finns fler av i den mer basiska åkern än i den surare skogsmarken), dels av människans brukande, bland annat användandet av plog. Detta har lett till en mer homogen fördelning av näringsämnen mellan jordlagren, men den skillnaden kommer efterhand att minska, och gör det redan.

En annan anledning till att man förväntade sig detta resultat var att trädens rötter sträcker sig betydligt längre ned i marken än vad de ettåriga jordbruksgrödornas rötter gör. Detta leder till att skogen kan ta upp näring från betydligt djupare markskikt än åkergrödor. Denna näring ackumuleras sedan i träden och så småningom kommer barr, kvistar, bark och andra beståndsdelar av trädet att falla till marken, där de långsamt bryts ned och ett humuslager byggs upp. Då markomrörningen i skogen inte är så effektiv, till del beroende på att

den sura marken inte är gynnsam för marklevande nedbrytare så som maskar, kommer mycket av näringen att bli kvar i humuslagret. I åkermark i drift finns dock ett mycket tunnare humuslager, och följaktligen inte alls samma näringsinnehåll längst upp i ytlagren. På den provtagna marken har dock skogen vuxit under ett sjuttioalår, så ett visst humuslager har hunnit byggas upp, dock inte tillnärmelsevis så tjockt och näringsrikt som i skogen.

Som förväntat innehöll humuslagret i åkermarken mindre kväve än i skogen. Detta kan förmodligen förklaras med att den före detta åkermarken ännu inte hunnit bygga upp något tjockare humustäcke. Att det sedan finns mer kväve i de djupare liggande marklagren skulle kunna vara orsakat av tidigare plöjning, då de växtrester som funnits vänts ned och näringsämnen därefter fördelats annorlunda. Den kontinuerligt beskogade marken har istället efter hand förflyttat näringen uppåt. Motsvarande resultat kan ses om man istället ser till kolhalten. Mönstret är det samma, av samma orsaker. En möjlig felkälla är att det var mycket svårt att korrekt mäta humusens tjocklek, varför ett genomsnittligt värde har uppskattats för beräkningarna. Denna felkälla borde dock vara lika stor åt andra hållet, det vill säga lika svårt att uppskatta humustjockleken i skogen, varför detta inte borde påverka resultatet.

En annan möjlig felkälla i detta arbete är att sättet proverna förpackades på gjorde att antalet prov blev för litet för att kunna genomföra ett tillförlitligt signifikanstest. Proverna förpackades fyra i varje påse, alla från samma markdjup och marktyp. Detta kallas för ett generalprov. Totalt togs alltså fyra generalprov på varje markdjup och varje marktyp. Tyvärr är inte det tillräckligt för att få en tillförlitlig signifikans, varför resultaten innehåller en viss osäkerhet. Fler prover skulle underlättat signifikansbedömning. Detta var ett ekonomiskt och arbetsmässigt avvägande, då det är tidskrävande att samla in proverna och dyrt att analysera de samma.

6. SAMMANFATTNING

Syftet med denna studie har varit att undersöka hur marken påverkas av odling respektive skogsbruk. Skillnader i den horisontella fördelningen av näringsämnen har studerats.

Till grund för arbetet ligger en litteraturstudie. Fokus i denna har varit dels de kemiska komponenter som undersökts, det vill säga kväve och kol, och även kvoten mellan dessa. Dels har ett par miljöaspekter undersökts och diskuterats, detta gäller framför allt försurning i olika former, samt miljöförändringarna. En del av litteraturstudien har ägnats åt att undersöka om skogen skulle kunna fungera som kolsänka, det vill säga användas i syfte att motverka klimatförändringarna. Det handlar i denna studie om att plantera igen tidigare odlad mark, för att öka skogsmarksarealen och på så sätt binda in mer koldioxid. Den praktiska delen av studien genomfördes i november 2014, Skinnskattebergs kommun, Västmanlands län. Provytor lades ut på två intill varandra belägna ytor, den ena sedan länge kontinuerligt beskogad, den andra sedan lång tid tillbaka odlad men för cirka 70 år sedan igenplanterad med gran. Fyra generalprov togs på varje marktyp, på tre olika djup. Dessa har sedan analyserats på laboratorium för att bestämma procentandel kol och kväve samt pH. Utifrån dessa resultat har den verkliga mängden kväve och kol (mätt i g/m²) räknats fram för att skapa jämförande grafer mellan skog och åker.

Alla resultat ligger i linje med de i förväg förväntade. Halterna av både kol och kväve var högre i åkermarken än i skogsmarken, med undantag för humusen. Humustäcket innehöll mer av båda ämnen i skogen än på åkern, vilket kunde förväntas med tanke på att skogen haft mer tid på sig att bygga upp ett tjockare humuslager där mer av dessa ämnen kommer finnas.

7. REFERENSLISTA

7.1 Publikationer

Alriksson, A. (1998). Afforestation of Farmland – Soil changes and the uptake of heavy metals and nutrients by trees. Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet. (*Doktorsavhandling/Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Mark och Miljö, Silvestria 57*).

Andersson, R. (red.) (2010) *Grundbok för skogsbrukare*. 1. uppl. Jönköping: Skogsstyrelsen.

Aschan, W. & Engdahl, T. (2013). Skogsmark till åkermark – är en nybrytning på högproduktiv mark lönsam? Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet. (*Kandidatarbete i företagsekonomi/Sveriges Lantbruksuniversitet, Fakulteten för naturresurser och lantbruksvetenskap, 2013:815*).

Brandtberg, P-O. & Simonsson, M. (2005). När markerna surna. Uppsala: SLU Publikationstjänst. *Fakta Skog, 15/2005*.

de Jong, J. m.fl. (1999). *Grönare skog*. 3. uppl. Jönköping: Skogsstyrelsen.

Hjorth, I. (2002). *Ekologi – för miljöns skull*. 1. uppl. Stockholm: Liber AB.

Holmberg, L-E. & Andersson, R. (red.) (2007). *Våra skogsträd*. 1. uppl. Jönköping: Skogsstyrelsen.

Högbom, L. m.fl. (2001). Effekter på kvävedynamiken av markförsurning och motåtgärder. Jönköping: Skogsstyrelsen. (*Rapport/Skogsstyrelsen, 2001, 11E*).

Karltun, E. (1998). Baskatjoner och aciditet i svensk skogsmark – tillstånd och förändringar. Jönköping: Skogsstyrelsen. (*Rapport/Skogsstyrelsen, 1998:5*).

Larsson, E-L. & Öborn, G. (1991). *På upptäcktsfärd i kulturlandskapet*. 1. uppl. Ungern: Kultúra.

Lehto, T. m.fl. (2009). Decomposition and element concentrations of Norway spruce needle litter with differing B, N or P status. *Plant Soil*. 330 (2010) 225-238.

Lundmark, J-E. (1986). *Skogsmarkens ekologi del 1 – grunder*. 1. uppl. Jönköping: Skogsstyrelsen.

Lundmark, J-E. (1988). *Skogsmarkens ekologi del 2 – tillämpning*. 1. uppl. Jönköping: Skogsstyrelsen.

Niklasson, M. & Nilsson, S. (2005). *Skogsdynamik och arters bevarande*. 1. uppl. Danmark: Narayana Press.

Palviainen, M. m.fl. (2010). Carbon and nitrogen release from decomposing Scots pine, Norway spruce and silver birch stumps. *Forest ecology and management*. 259 (2010) 390-398.

Persson, J. (red.) (1990). *Rikare Skog*. 1. uppl. Jönköping: Skogsstyrelsen.

Rosenqvist, L. (2007). Afforestation of Former Arable Land in North-Western Europe. Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet. (*Doktorsavhandling/Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Naturresurser och Jordbruksvetenskap, 2*).

Rydberg, D. & Aronsson, M. (2004). *Vår tätortsnära natur – en bok om förvaltning och skötsel*. 2. uppl. Jönköping: Skogsstyrelsen.

Samuelsson, H. & Bäcke, J-O. (1997). Effekter av skogsbränsleuttag och askåterföring – en litteraturstudie. Jönköping: Skogsstyrelsens förlag. (*Rapport/Skogsstyrelsen, 1997:6*).

Skyllberg, U. m.fl. (2001). Markförsurningsprocesser. Jönköping: Skogsstyrelsens

Vesterdal, L. m.fl. (2007). Carbon and nitrogen in forest floor and mineral soil under six common European tree species. *Forest Ecology and Management*. 255 (2008) 35-48.

7.2 Internetdokument

Länk A:

Naturvårdsverket (2015). Miljömål – bara naturlig försurning. [online] Tillgänglig: <http://www.miljomal.se/sv/Miljomalen/3-Bara-naturlig-forsurning/> [2015-01-13]

Länk B:

SLU (1999). Växternas näringsupptag. [online] Tillgänglig: <http://www-vaxten.slu.se/marken/naringsupptag.htm> [2015-10-29]

Länk C:

Naturvårdsverket (2014). Markförsurning i skogslandskapet. [online] Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledning/Miljoovervakning/Bedomningsgrunder/Skogslandskapet/Markforsurning/> [2015-09-15]

Länk D:

Vattenfall (2015). Markförsurning. [online] Tillgänglig: http://www2.vattenfall.se/miniapps/om_vattenfall/Energikunskap/energilexikon/mainresult.asp?ItemID=779 [2015-09-15]

Länk E:

Yara (2015). Skog och näring. [online] Tillgänglig:

http://www.yara.se/crop-nutrition/crops/other-crops/skog/skog_och_naring/
[2015-01-27]

Länk F:

SLU (2007). Kol/Kväve. [online] Tillgänglig: <http://www-markinfo.slu.se/sve/kem/cnph/cn.html> [2015-10-31]

BILAGOR

Bilaga 1

Signifikanstest på stendjupet. Hypotesen för prövningen var att genomsnittsdjupet till sten skulle vara djupare i den tidigare åkermarken (μ_1) än i skogsmarken (μ_2). Med värden från tidigare redovisade tabell (tabell 1) skulle detta ge följande uträkning:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 > \mu_2$$

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{s_p^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

$$s_p^2 = \frac{(n_1 - 1) * s_1^2 + (n_2 - 1) * s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

$$t = \frac{(43,6 - 31,5) - 0}{\sqrt{531,865 * \left(\frac{1}{40} + \frac{1}{40} \right)}}$$

$$s_p^2 = \frac{39 * 23,8^2 + 39 * 22,3^2}{40 + 40 - 2}$$

$$t = \frac{12,1}{\sqrt{531,865 * 0,05}}$$

$$s_p^2 = \frac{22\,091,16 + 19\,394,31}{78}$$

$$t = \frac{12,1}{\sqrt{26,59325}}$$

$$s_p^2 = \frac{41\,485,47}{78}$$

$$t = 2,34638$$

$$s_p^2 = 531,865$$

På 5 % signifikansnivå (enkelsidigt test) ska det framräknade testvärdet jämföras med 1,66 (H_0 förkastas). Med 95 % säkerhet föreligger alltså en skillnad i stendjup när man jämför de två marktyperna.

Bilaga 2

Resultat kemiska analyser. Halterna är uttryckta som % av lufttork vikt. pH är analyserat i ett vattenextrakt av jorden.

| | | | pH H ₂ O | %C tot | %N tot |
|----|------|-------|---------------------|--------|--------|
| G1 | Åker | Humus | 5,32 | 10,6 | 0,528 |
| G1 | Åker | 0-5 | 4,96 | 6,50 | 0,363 |
| G1 | Åker | 10-20 | 5,04 | 4,52 | 0,255 |
| G2 | Åker | Humus | 5,26 | 13,2 | 0,591 |
| G2 | Åker | 0-5 | 5,04 | 8,21 | 0,405 |
| G2 | Åker | 10-20 | 5,26 | 4,32 | 0,234 |
| G3 | Åker | Humus | 5,18 | 13,1 | 0,606 |
| G3 | Åker | 0-5 | 5,02 | 6,98 | 0,361 |
| G3 | Åker | 10-20 | 5,32 | 3,95 | 0,219 |
| G4 | Åker | Humus | 5,19 | 12,7 | 0,583 |
| G4 | Åker | 0-5 | 4,88 | 8,61 | 0,424 |
| G4 | Åker | 10-20 | 5,08 | 4,43 | 0,219 |
| | | | | | |
| G1 | Skog | Humus | 3,87 | 44,0 | 1,28 |
| G1 | Skog | 0-5 | 3,97 | 5,85 | 0,251 |
| G1 | Skog | 10-20 | 4,38 | 1,52 | 0,068 |
| G2 | Skog | Humus | 3,71 | 42,5 | 1,27 |
| G2 | Skog | 0-5 | 3,92 | 5,62 | 0,226 |
| G2 | Skog | 10-20 | 4,51 | 3,95 | 0,157 |
| G3 | Skog | Humus | 3,87 | 38,9 | 1,25 |
| G3 | Skog | 0-5 | 4,01 | 14,7 | 0,555 |
| G3 | Skog | 10-20 | 4,63 | 3,45 | 0,128 |
| G4 | Skog | Humus | 3,92 | 46,8 | 1,36 |
| G4 | Skog | 0-5 | 3,94 | 6,72 | 0,275 |
| G4 | Skog | 10-20 | 4,53 | 2,91 | 0,111 |