

ARBETSRAPPORT

FRÅN SKOGFORSK NR 725 2010



Markkemi och fastläggning av C och N i produktionsinriktade bestånd med snabbväxande trädslag

SLUTRAPPORT FÖR ENERGIMYNDIGHETENS PROJEKT 30659

Soil chemistry and C and N sequestration in plantations with fast-growing tree species

Rose-Marie Rytter & Lars Högbom

STUDIE PÅ UPPDRAG AV:



Ämnesord: Markkemi, näringsförråd, kolinlagring, trädslagsförsök.

SKOGFORSK

– Stiftelsen skogsbrukets forskningsinstitut

arbetar för ett lönsamt, uthålligt mångbruk av skogen. Bakom Skogforsk står skogsföretagen, skogsägareföreningarna, stiftelsen, gods, skogsmaskinföretagare, allmänningar m.fl. som betalar årliga intressentbidrag. Hela skogsbruket bidrar dessutom till finansieringen genom en avgift på virke som avverkas i Sverige. Verksamheten finansieras vidare av staten enligt särskilt avtal och av fonder som ger projektbundet stöd.

FORSKNING OCH UTVECKLING

Två forskningsområden:

- Skogsproduktion
- Virkesförsörjning

UPPDRAG

Vi utför i stor omfattning uppdrag åt skogsföretag, maskintillverkare och myndigheter. Det kan gälla utredningar eller anpassning av utarbetade metoder och rutiner.

KUNSKAPSFÖRMEDLING

För en effektiv spridning av resultaten används flera olika kanaler: personliga kontakter, webb och interaktiva verktyg, konferenser, media samt egen förlagsverksamhet med produktion av trycksaker och filmer.

Innehåll

Sammanfattning.....	5
Summary	6
Inledning.....	7
Syfte.....	8
Betydelse.....	8
Bakgrund	9
Miljöaspekter	9
Trädslagsspecifik inverkan på markkemi.....	9
Trädslagsspecifik inverkan på fastläggning av kol och kväve.....	9
Försökslokaler.....	10
Trädslag.....	12
Försöksdesign	13
Provtagnings- och analysmetoder.....	13
Jordart.....	13
Provtagning av matjorden	14
Analys av näringsämnen, pH och ledningstal.....	15
Volymvikt.....	16
Bestämning av relativ grus- och stenvolym i marken.....	17
Näringsförråd per ytenhet	18
Statistisk analys.....	19
Resultat och diskussion	19
Jordart och grusinnehåll.....	19
Generella resultat av näringsanalyser	23
Total kolhalt (Tot-C) och humushalt.....	23
Total kvävehalt (Tot-N) och C:N-kvot	25
Växttillgängligt förråd av P, K, Mg och Ca.....	26
pH, ledningstal (Lt) och TS-halt.....	29
Lättare bunden växttillgänglig näring.....	29
Finjordens volymvikt	30
Grus- och stenvolym.....	31
Näringsförråd per ytenhet	34
Måluppfyllelse och redovisning.....	35
Erkännanden.....	35
Referenser.....	35

Bilaga 1 Kartor över försökslokaler. Statistisk design visas	39
Bilaga 2 Total kolhalt (Tot-C) i marken.....	45
Bilaga 3 Total kvävehalt (Tot-N) i marken.....	47
Bilaga 4 Markens C:N kvot.....	49
Bilaga 5 Markens halt av P-AL.....	51
Bilaga 6 Markens halt av K-AL.....	53
Bilaga 7 Markens halt av Mg-AL.....	55
Bilaga 8 Markens halt av Ca-AL.....	57
Bilaga 9 Sammanfattning av statistikresultat	59
Bilaga 10 Markens volymvikt.....	63

Sammanfattning

Behovet av alternativ till fossila bränslen medför att odling av snabbväxande trädslag sannolikt blir en betydelsefull inriktning inom den svenska skogsproduktionen. Olika snabbväxande trädslag är i dag av stort intresse, främst som producenter av biomassa till bränsle, men också för upptag av CO₂ ur atmosfären. I ett europeiskt perspektiv ses återbeskogning av åkermark som en av de viktigaste potentiella kolfällorna. Genom att anlägga bibränsleplantager erhålls, förutom en långsiktig fastläggning av C i mark och rotsystem, ett kretslopp där nya växande plantor tar upp CO₂ som frigjorts vid förbränning. Då det handlar om system med korta omloppstider och stora uttag av biomassa och näring är det viktigt att följa utvecklingen av näringsförråden i marken för att kunna ge rekommendationer om markförbättrande åtgärder i tid.

En fråga som länge diskuterats är hur olika trädslag påverkar de markkemiska egenskaperna och här finns ett stort behov av studier som kan öka vår kunskap om trädslagsspecifik inverkan på näringsförrådets storlek och fördelningen av näringsämnen i markprofilen, kopplade till klimat och produktion. Studier av inlagring av C, vilka omfattar både biomassa och mark, vid återbeskogning av tidigare åkermark är få och även här finns en trädslagsspecifik påverkan som det är av intresse att studera vidare.

För att söka svar på dessa frågeställningar om olika trädslags produktionsförmåga och inverkan på markegenskaper anlades ett trädslagsförsök på åkermark på fem olika lokaler, från norr till söder i Sverige. Sex olika snabbväxande trädslag planterades under 2009 i parceller (40 × 40 m) med fyra upprepningar på respektive lokal. Provtagning av matjorden och bestämning av stenvolym utfördes på samtliga lokaler för att erhålla ett känt startläge inför framtida uppföljningar med syfte att dokumentera (i) förändringar i markkemi och (ii) fastläggning av C och N beroende på trädslag, klimat och produktion vid återbeskogning av åkermark.

Analyser av pH, ledningstal, tot-C, tot-N och övriga näringsämnen (NH₄-N, NO₃-N, P, K, Mg, Ca, S, Cl, Na, Mn, B) visade att åkermarken på de valda lokalerna förhöll sig som åkermark i Sverige i allmänhet, jämfört med tidigare gjorda undersökningar. Skillnader i näringshalter och övriga markparametrar förekom mellan de olika lokalerna, men inom en och samma lokal fångade försöksdesignen upp de variationer som fanns. Försöksdesignen tog även hänsyn till variationer i terräng och väderstreck. Inga signifikanta skillnader i markegenskaper upptäcktes mellan de olika trädslagsparcellerna inom en lokal, vilket ger ett homogent utgångsläge inför de kommande uppföljningarna. Volymsandelen grus och sten i marken bestämdes och räknades bort vid beräkningar av näringsförråd per ha och ned till 30 cm djup, d.v.s. i matjordsskiktet. Kolförrådet i matjorden varierade mellan 60 och 150 Mg ha⁻¹ och förrådet av N mellan 5,1 och 9,5 Mg ha⁻¹ på de olika lokalerna, vilket sannolikt är en följd av den tidigare markanvändningen. De erhållna resultaten som sammanställts i rapporten utgör en dokumentation av olika markparametrar och visar förhållandet i matjorden före plantering av de olika trädslagen.

Summary

The need to replace the use of fossil fuels in the near future leads to an increased interest in renewable alternatives. In this context the cultivation of fast growing tree species for bio fuels is likely to be an important part of the forest production in Sweden. Different tree species are of interest, mainly as producers of biomass for fuel, but also for sequestration of carbon. Afforestation of arable land is regarded as one of the major potential carbon sinks in Europe. By using fast-growing tree species for energy purposes, carbon is stored in biomass and soils, and sustainable systems with recirculation of CO₂ may be established. It is also important to follow the development of soil characteristics in such cultivation systems, with short rotation times and biomass removal, to be able to make soil improving treatments in time.

The influence of different tree species on soil properties has long been discussed and further studies are needed to increase our knowledge of species-specific effects on the size and distribution of nutrient stores in the soil profile and their link to climate and production. Studies of carbon sequestration involving both biomass and soil are few and studies dealing with the relationship between carbon storage, tree species and above ground production are of great interest.

Experimental plantations were established on five arable sites, on different latitudes from north to south in Sweden, to answer questions concerning production capacity of various tree species and their influence on soil. Six different fast growing tree species were planted in 2009 on separate plots (40 × 40 m) with four repetitions on each site. Sampling of the topsoil and estimation of the stone content was done on all sites in order to get start values for different soil parameters. Future soil samplings are planned with the objective to follow and document (i) changes in soil chemistry and (ii) the sequestration of C and N in soil and biomass of different tree species at afforestation of former arable land on different latitudes.

Analyses of pH, conductivity, tot-C, tot-N and other nutrients (NH₄-N, NO₃-N, P, K, Mg, Ca, S, Cl, Na, Mn, B) showed that the soils on the experimental sites did not differ from arable soils in Sweden in general, according to previous studies. Differences in nutrient concentrations and other soil parameters between the sites were common. Within a single site the variations in soil parameters were caught up by the experimental design which also took variations in topography and orientation into account. No significant differences in soil characteristics between the plots of different tree species were detected which gives a homogeneous start for future monitoring. Soil volume content of gravel and stone were determined and were subtracted when calculating the nutrient content per ha down to 30 cm depth, i.e. in the topsoil. Carbon stock in the topsoil ranged from 60 to 150 Mg ha⁻¹ and the storage of N between 5.1 to 9.5 Mg ha⁻¹ for the various sites which most likely reflected earlier land use. The results are compiled in the report, which is a documentation of the soil parameters, showing the conditions in the topsoil before planting the different tree species.

Inledning

Ett ökande framtida energibehov i kombination med stora krav på förnybarhet och positiva miljöeffekter skapar nya utmaningar inom energiförsörjningen. Många olika energikällor är aktuella och biobränsle har numera en självklar roll i detta sammanhang. För att uppfylla behovet av biobränsle inom en snar framtid kommer odling av snabbväxande trädslag, även på åkermark, sannolikt att bli en betydelsefull inriktning inom den svenska skogsproduktionen. De senaste rapporterna visar att omkring 300 000 till 500 000 hektar åkermark och övergiven ännu ej beskogad åkermark i Sverige kan komma att odlas med energigrödor och snabbväxande trädslag i framtiden (Anon., 2006; Larsson m.fl., 2009). Då en stor del av de årliga antropogena utsläppen av växthusgaser orsakas av den globala avskogningen medför en ökad skogsareal också en positiv miljöeffekt genom inbindning av kol i biomassa och mark, vilket bidrar till en minskning av de höga atmosfäriska CO₂-koncentrationerna. I Europa är återbeskogning av tidigare åkermark en av de viktigaste kolsänkorna (Powlson m.fl., 1998) och beräkningar visar att den beskogade arealen hade en nettoökning med 7 % under perioden 1990–2005 (Cabeza & Jäätelä, 2008). En ytterligare ökning av skogsarealen är viktig för klimatarbetet.

Olika snabbväxande trädslag är i dag av stort intresse, främst som producenter av biomassa till bränsle, men också för upptag av CO₂ ur atmosfären. Genom att anlägga biobränsleplantager erhålls, förutom en mer långsiktig fastläggning av C i mark och rotsystem, ett kretslopp där nya växande plantor tar upp CO₂ som frigjorts vid förbränningen. De olika trädslagens produktivitet påverkar inlagringen av C i marken och man har visat att det förekommer trädslagsspecifika effekter på inlagringen i humusskiktet. Här behövs dock fler studier av olika trädslag på mark med känd historia, planterade i replikerade försök och som omfattar både biomassa och mark (Post & Kwon, 2000).

Vid odling av trädslag med korta omloppstider, kombinerat med stora uttag av biomassa och växtnäring, ställs höga krav på näringscirkulationen och både ur produktions- och miljösynpunkt är det viktigt att följa förändringar av markegenskaperna för att kunna ge rekommendationer om gödning, kalkning eller askåterföring i god tid. Hur olika trädarter påverkar markegenskaperna har länge diskuterats och det är fortfarande en aktuell och angelägen forskningsuppgift.

För att söka svar på frågeställningar rörande olika trädslags produktionsförmåga och inbördes förhållande anlades trädslagsförsök på fem olika lokaler från norr till söder i Sverige (se Rytter & Lundmark, STEM projekt nr 30658). Sex olika snabbväxande trädslag planterades under 2009 i parceller (40 × 40 m) med fyra upprepningar på respektive lokal. Varje enskilt trädslag finns därmed representerat på totalt 20 parceller. I samarbete med trädslagsprojektet genomförs projektet ”Markkemi och fastläggning av C och N i produktionsinriktade bestånd med snabbväxande trädslag” som avser att följa och dokumentera (i) trädslagsspecifika förändringar i markkemin och (ii) de olika trädslagens fastläggning av C och N i biomassa och mark vid återbeskogning av åkermark.

Under markprojektets inledande fas (2007–2010) har en omfattande provtagning av matjordsskiktet genomförts med påföljande jordartsbestämning samt analys av markkemiska parametrar. Statistiska analyser av de olika markparametrarnas variationer inom en lokal har fått utgöra stöd för utplaceringen av försökets upprepningar (block). Markens relativa volymsandel grus (2–20 mm) och sten (≥ 20 mm) bestämdes för samtliga lokaler i en omfattande stenkartering och näringsförråd per ytenhet har beräknats. I rapporten beskrivs utgångsläget för försöket med avseende på de olika markegenskaperna, hur dessa varierar mellan och inom lokalerna, samt hur åkermarken på de valda försökslokalerna förhåller sig till svensk åkermark generellt. I bilagedelen finns utförliga tabeller med block- och parcellmedelvärden för de analyserade parametrarna. De utgör en dokumentation över startvärden för de olika markparametrarna och kommer att användas vid beräkningar av framtida eventuella förändringar i markegenskaper.

Syfte

Syftet med detta projekt är att följa och dokumentera (i) förändringar i markkemi och (ii) fastläggning av C och N i biobränsleplantager med snabbväxande trädslag, planterade på tidigare åkermark och på olika latituder i Sverige.

Projektet avser att ge information om:

- Utveckling och förändring av markegenskaper vid återbeskogning av åkermark.
- Trädslagsspecifik inverkan på markkemin.
- Dynamiska samband mellan markkemiska parametrar och trädens tillväxt och produktion ovan jord.
- Olika trädarters fastläggning av C och N i biomassa och mark.
- Klimatets inverkan på ovanstående förlopp.

Betydelse

- Med projektet erhålls en unik möjlighet att från plantering och framåt följa utvecklingen av markkemiska parametrar i åkermark med känd historia, planterad med olika trädslag, i ett replikerat försök.
- Resultat från projektet ger underlag för rekommendationer angående markförbättrande åtgärder som askåterföring, kalkning eller kvävegödsling.
- Återbeskogning av åkermark är en viktig potentiell kolfälla sett ur europeiskt perspektiv.
- Information erhålls för planering av arealer som bör skogsplanteras med tanke på
 - ökad efterfrågan på biobränsle,
 - fastläggning av kol och därmed reduktion av halten CO₂ i atmosfären.

Bakgrund

MILJÖASPEKTER

I Kyotoavtalet (United Nations, 1977) har Sverige åtagit sig att minska sina utsläpp av växthusgaser med fyra procent till 2012. I en rapport från Vetenskapliga rådet för klimatfrågor (2007) är rekommendationen att minska utsläppen med 20–25 procent till år 2020, och med 70–85 procent till 2050, i jämförelse med 1990 års nivåer, för att nå EU:s tvågradersmål, d.v.s. att begränsa den globala uppvärmningen till maximalt två grader jämfört med 1990 års nivå. I en klimatrappport från Kommissionen för hållbar utveckling (Rummukainen & Källén, 2009) konstateras att ökningstakten för växthusgashalter i atmosfären globalt nu är högre än tidigare. I Sverige är ett av miljömålen att återbeskoga de stora arealer stormfällad skog som uppkommit efter de senaste årens kraftiga stormar i Sverige. Dessa ytor läcker stora kvantiteter koldioxid till atmosfären. Förutom skogsmark som ska återplanteras finns det även 300 000 till 500 000 ha åkermark som kan användas för odling av energigrödor och snabbväxande trädslag i framtiden (Anon., 2006; Larsson m.fl., 2009). Studier har visat att en ökad fastläggning av kol är en tydlig effekt vid återbeskogning av åkermark och det kan ur europeiskt perspektiv bli den viktigaste potentiella kolfällan för jordbruksmarken (Powlson m.fl., 1998).

TRÄDSLAGSSPECIFIK INVERKAN PÅ MARKKEMI

En diskussion om olika trädarters inverkan på markegenskaperna har länge förts och man har kunnat visa på en artspecifik påverkan på näringsförrådets storlek samt fördelningen av näringsämnen i markprofilen (Binkley, 1995; Nordén, 1994; Augusto m.fl., 2002). Markens pH(H₂O) varierade mellan 5,8 och 4,2 för olika trädarter, med det högsta värdet under alm och det lägsta under gran, i en och samma plantering (Oostra m.fl., 2006). I 30–40 åriga närliggande bestånd, på tidigare jordbruksmark, visade det övre markskiktet (0–10 cm) signifikanta skillnader i pH, basmättnad, utbytbara baskatjoner och andra näringsämnen mellan olika arter (Hagen-Thorn m.fl., 2004). Denna typ av jämförande studier bör göras på mark med samma ursprung och historik. Generaliseringar har ofta varit svåra att göra på grund av en stor variation mellan olika bestånd med avseende på tidigare markanvändning, beståndsålder, tillväxthastighet samt för få upprepningar. Behov av ytterligare studier finns för att öka kunskapen om hur olika trädslag påverkar markens långsiktiga bördighet. En parameter som ännu inte är helt klarlagd och av intresse att studera vidare är t.ex. N-dynamiken (Augusto m.fl., 2002).

TRÄDSLAGSSPECIFIK INVERKAN PÅ FASTLÄGGNING AV KOL OCH KVÄVE

Studier av trädslagsspecifika effekter på humusskiktet har visat på olika stor inlagring av kol och kväve mellan arter (Vesterdal & Raulund-Rasmussen, 1998; Berg m.fl., 2005). När det gäller mineraljorden och artspecifika effekter på kolinlagringen är resultaten inte lika entydiga (Binkley, 1995; Hagen-Thorn m.fl., 2004). Post & Kwon (2000) fann att inlagringshastigheten var relaterad till vegetationens produktivitet, fysikaliska och kemiska egenskaper hos marken samt tidigare markanvändning och författarna underströk det värdefulla med fler framtida experiment som studerar dynamiken för fastläggning av C i marken när markanvändningen övergår från brukad mark, med känd historia, till

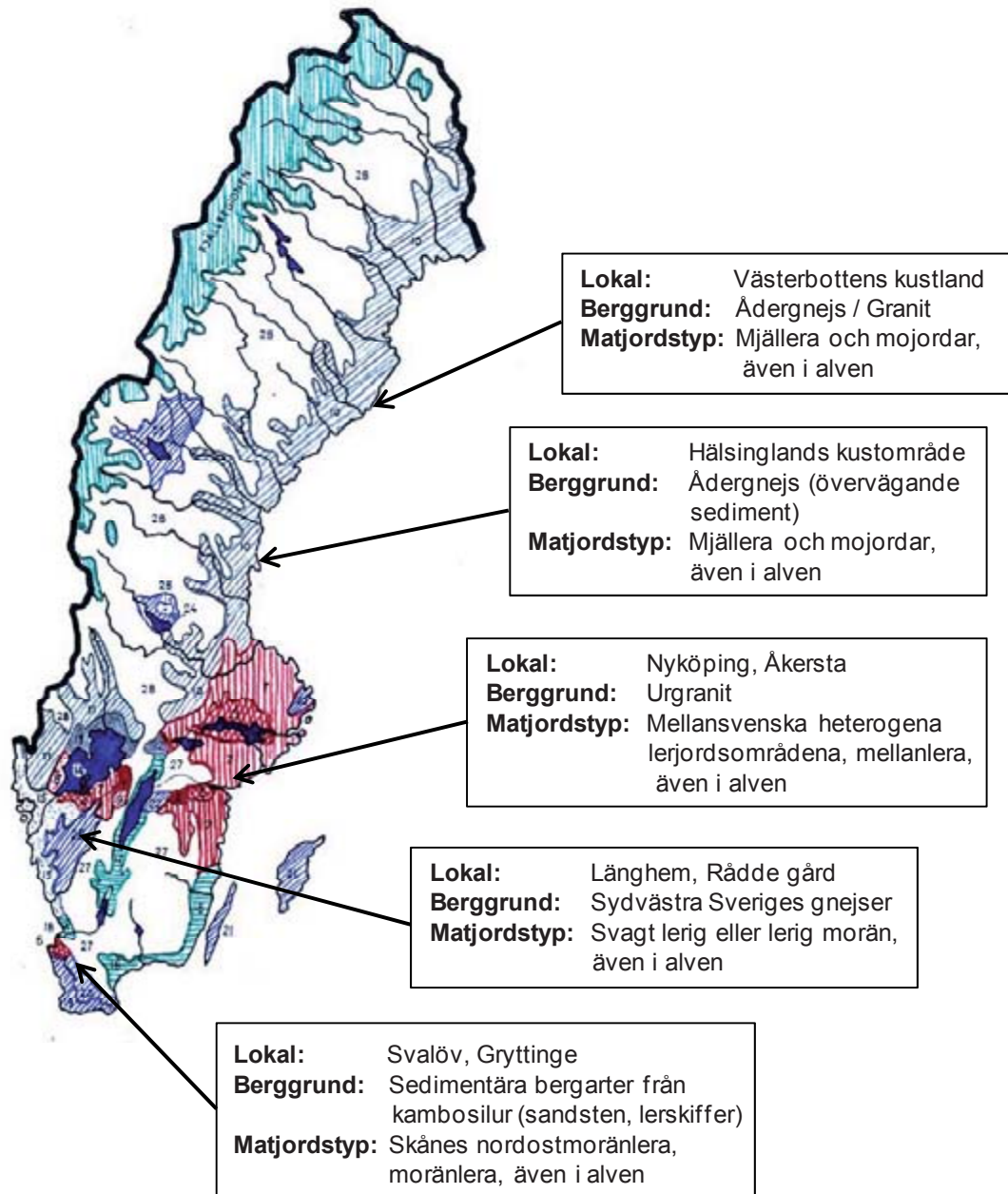
perenn växtlighet. Studier av inlagring av kol som omfattar både biomassa och mark vid beskogning av tidigare åkermark är få, inte minst i Europa (Vesterdal m.fl., 2006). Uppskattningsvis finns 20–30 % av totalt upplagrat kol i skogs-ekosystemet i marken i slutna bestånd (Richter m.fl., 1999; Vesterdal m.fl., 2006). Hastigheten med vilken inlagringen sker är också sparsamt studerad. Man har antagit att den tid det tar för en återbeskogad yta att bli en nettoupplagringsplats för kol är ca 10 år, men detta har inte visats empiriskt för flertalet skogstyper (Fredeen m.fl., 2007).

Försökslokaler

Trädslagsförsöket har under 2009 etablerats på följande lokaler (1) – (5):

- | | | |
|-----|---------------|---|
| (1) | Västerbotten | Lövånger, Västanbyn (64°20'N; 21°14'O; alt. 20 m.ö.h.) |
| (2) | Ångermanland | Bjästa, Norrsvedje (63°12'N; 18°29'O; alt. 14 m.ö.h.) |
| (3) | Södermanland | Nyköping, Åkersta (58°44'N; 16°47'O; alt. 35 m.ö.h.) |
| (4) | Västergötland | Länghem, Rådde gård (57°37'N; 13°15'O; alt. 180 m.ö.h.) |
| (5) | Skåne | Svalöv, Gryttinge (55°56'N; 13°12'O; alt. 100 m.ö.h.) |

Försökets spridning över landet innebär att berggrunden varierar från kambrosiluriska lerstenar och skiffrar i Skåne till gnejser och graniter på de övriga lokalerna (figur 1). Matjordstyperna i de områden där försöksytorna placerats är huvudsakligen av lerjordstyp. I söder dominerar moränlerorna eller leriga moräner, i Mellansverige mellanlera, och i norr mjällror och mojordar.



Figur 1.
Försökslokalernas placering på karta över Sveriges åkerjordsområden med hänsyn till dominerande matjordstyp (enligt G. Ekström, 1970, hämtad från Troedsson & Nykvist, 1973, berggrundstyp från Loberg, 1980).

Åkermarkens produktivitet på lokalerna (1) – (5) betecknas som medelgod och markens närmaste historia är känd:

- (1) Västerbotten – Lövvånger, Västanbyn – marken har under lång tid odlats med spannmål då ägaren fram till slutet av 1990-talet hade svinproduktion. Därefter anlades vall år 2000 på åkrarna och på det område där block 2–4 är beläget har vallen bara fungerat som träda, medan det på det andra området tagits vallskördar ända fram till att försöket anlades. Marken är välhävdat och det fanns inget sly på den. Plöjning, harvning och behandling mot ogräs, huvudsakligen kvickrot, utfördes på vår och försommar 2009.
- (2) Ångermanland – Bjästa, Norrsvedje – lokalen består av en åker som inte brukats på sex år. Vegetationen avlägsnades genom slåtter 2008. Ytterligare buskvegetation togs bort 2009. Tidigare odlades korn på skiftet. Inför planteringen av trädslagsförsöket plöjdes och harvades lokalen. Behandling mot ogräs utfördes under vår och försommar 2009.
- (3) Södermanland – Nyköping, Åkersta – spannmålsodling fram till och med 2007. Plöjning, jämnning med vält och behandling mot ogräs under hösten 2008. Under våren 2009 genomfördes ytterligare en ogräsbekämpning samt harvning av åkern.
- (4) Västergötland – Långhem, Rådde gård – försöket består av två odlingsblock: (I) spannmål och därefter vall under 2008, (II) 5–10 år gammal *Salix*-odling som bröts upp under hösten 2008. Lokalen har ogräsbekämpats, men inte plöjts. På den del av försöket som bestod av tidigare *Salix*-odling finfördelades marken ytligt (10 cm) med jordfräs.
- (5) Skåne – Svalöv, Gryttinge – spannmålsodling fram till och med 2006, marken har därefter legat i träda. Lokalen plöjdes, harvades och ogräsbekämpades före plantering av trädslagsförsöket.

Trädslag

Till trädslagsförsöket har bästa kommersiellt tillgängliga odlingsmaterial valts för respektive trädslag och odlingslokal. Alla trädslag finns representerade på samtliga lokaler. Odlingsmaterialet är valt för att passa den aktuella breddgraden och den bästa vedertagna tekniken för odling har använts. Följande arter och hybrider ingår:

- (1) Hybridasp (*Populus tremula* x *P. tremuloides*).
- (2) Poppel (*Populus trichocarpa* m.fl.).
- (3) Vårtbjörk (*Betula pendula*).
- (4) Gran (*Picea abies*).
- (5) Lärk (*Larix kaempferi* x *L. decidua*, samt *L. sibirica*).
- (6) *Salix* (*Salix schwerinii* x *S. viminalis*).

Försöksdesign

På varje lokal, totalt fem stycken, finns fyra upprepningar av sex olika trädslag i parceller (tabell 1). Parcellerna har en ungefärlig storlek på 40 × 40 m och trädslagen har slumpats ut på parcellerna inom respektive block. Upprepningarna är fördelade på fyra block som placerats ut med hänsyn till variationer i terräng och väderstreck.

Tabell 1.
Försöksdesign, geografisk placering, trädslag och omfattning.

Lokaler	Latitud	Trädslag på samtliga lokaler	Upprepningar per lokal och trädslag	Totalt antal ytor per trädslag
Västerbotten, Lövånger	64° N	Hybridasp	4	20
Ångermanland, Bjästa	63° N	Poppel	4	20
Södermanland, Nyköping	58° N	Vårtbjörk	4	20
Västergötland, Länghem	57° N	Gran	4	20
Skåne, Svalöv	56° N	Lärk	4	20
		<i>Salix</i>	4	20
Σ 5		Σ 6	Σ 24	Σ 120

För kartor över försöksdesignen på respektive lokal se bilaga 1. Ytterligare information om försökslokaler och trädslag finns i slutrapport från projektet 30658 (Rytter & Lundmark, 2010).

Provtagnings- och analysmetoder

JORDART

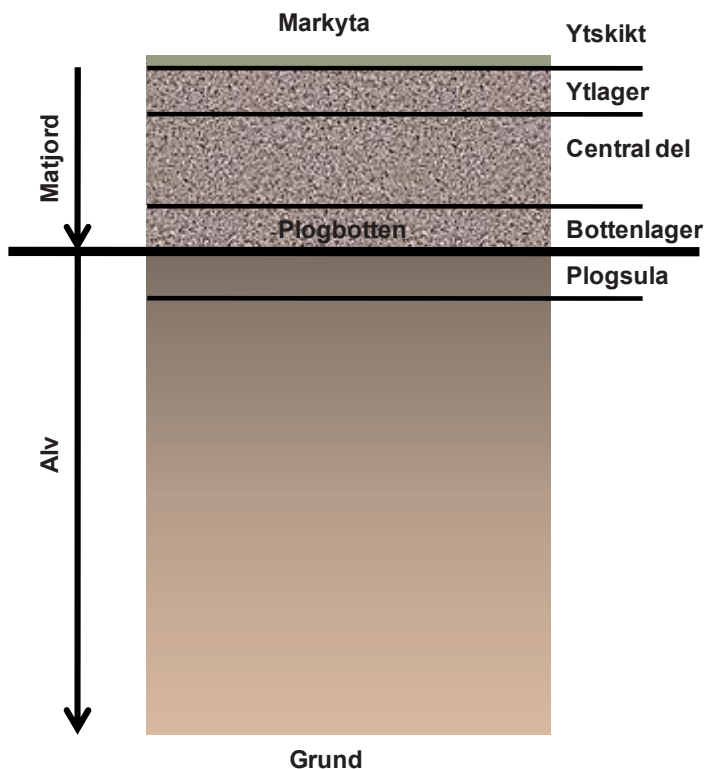
Markens textur, d.v.s. en indelning av jordarter med hänsyn till mineralpartiklarnas storlek, bestämdes med ett utrullningsprov. Ett sådant prov testar mineralkornens sammanhållning genom att fuktad jord rullas till en tunn tråd som slutligen bryter. Texturklassen bestäms genom att tjockleken vid brottstället jämförs med värden i tabell (t.ex. Troedsson & Nykvist, 1973). Utrullningsprovet grundar sig på att partiklarna i jorden mer eller mindre binds till varandra (kohesion) och ju mindre partiklarna är desto större blir ytan och därmed också kohesionskraften. Den största sammanhållningen mellan partiklar förekommer i leror som kan rullas till <3 mm tjocklek. Även mo och mjåla kan rullas (4–6 mm), men inte grovmo eller sand.

Vid bedömning av jordart bestämmer man först om jordarten är sorterad eller osorterad. Osorterade jordarter, moräner, innehåller alla kornstorlekar, medan de sorterade, sediment, innehåller ett fåtal kornstorlekar varav en vanligtvis dominerar. Andelen grus (% , partikelstorlek 2–20 mm) i marken bestämdes genom uppslamning och siktning av torkade volymbestämda jordprov. Det togs tre volymbestämda prov per trädslagsparcell. Totalt insamlades $24 \times 3 = 72$ volymbestämda prov per lokal. Som bestämd volym användes jordborrens volym ner till 30 cm djup ($94,25 \text{ cm}^3$).

PROVTAGNING AV MATJORDEN

På de utsedda lokalerna i trädslagsförsöket är jordmånerna huvudsakligen s.k. kulturjordmån. En kulturjordmån är en tidigare plöjd jordbruksmark med en tydlig avgränsning mellan matjord och alv (Skoglig marklära, SLU, MarkInfo). Matjorden i en åker räknas som en speciell form av humusformen mull (Troedsson & Nykvist, 1973). Mullen innehåller som regel mer minerogent än organogent material. Blandningen av humus och mineraljord sker genom plöjning av åkerjorden. Detta leder till att en skarp gräns skapas mellan humusblandad mineraljord och underliggande lager, en s.k. plogsula (figur 2). Matjordsskiktet är i allmänhet 20–30 cm djupt och mörkfärgat vid hög mullhalt.

Provtagningen av matjorden på försöksytorna i markprojektet gjordes ner till 30 cm djup eller till plogbotten där plogsulan börjar. Djupet till plogsulan var i de flesta provtagningspunkterna 30 cm på samtliga lokaler. En viss variation förekom inom en och samma lokal, men djupet till plogsulan var sällan mindre än 27 cm. I de fall där markprofilen inte nyligen var påverkad av markberedning (plöjning) delades varje propp upp i två djupnivåer, 0–10 cm och 10–30 cm (eller till plogbotten). Framöver kommer en uppdelning på två djupnivåer att göras för att i ett tidigt skede kunna upptäcka en förändring i det övre matjordsskiktet. Tidigare studier av markförändringar i yngre trädbestånd har huvudsakligen visat på markkemiska förändringar i de övre skikten (Ariksson & Eriksson, 1998; Vesterdal & Raulund-Rasmussen, 1998; Hagen-Thorn m.fl., 2004).



Figur 2. Schematisk bild av markprofil i odlad jord (efter S. Andersson, hämtad från Troedsson & Nykvist, 1973).

Jordprover för analys av kol (C), kväve (N) och övriga näringsämnen insamlades på samtliga lokaler under 2008 och 2009 (tabell 1). På varje trädslagsparcell (totalt 24 per lokal) togs 20 borrhprover ner till 30 cm djup eller till plogbotten där plogsulan börjar. Borrhproverna delades upp i två djupnivåer: 0–10 cm och 10–30 cm (eller till plogbotten) där markprofilen inte var störd av nyligen gjord markberedning (Långhem). På nyplöjd mark provtogs hela djupet ner till 30 cm utan uppdelning (Svalöv, Nyköping, Bjästa, Lövånger). Samtliga 20 borrhprover per trädslagsparcell slogs samman till ett prov per parcell och djupnivå inför analys. Vid provtagningen användes markkarteringsborrar med yttre diameter 25 mm, inre diameter 20 mm och längd på borr 30 cm.

På varje trädslagsparcell togs också tre volymbestämda jordprov för bestämning av markdensitet (volymvikt). Som bestämd volym användes borrens volym till 30 cm djup (94,25 cm³).

ANALYS AV NÄRINGSÄMNINGEN, pH OCH LEDNINGSTAL

Samtliga jordprov siktades genom en sikt med håldiameter 2 mm. Proverna torkades vid 70°C till konstant vikt. Torr vikter bestämdes för jordfraktionerna med partikelstorlek <2 mm (finjord) och 2–20 mm (grus). pH, ledningstal (Lt) och näringsämnen analyserades i jordfraktionen <2 mm (tabell 2).

Tabell 2.
Markprovtagning.

Markdjup (cm)	Antal prov (sammanslagna per yta)	Analys(samtliga nivåer)
0–30	96	Kemiska & fysikaliska parametrar: pH (H ₂ O), Lt, TS, Totalanalys: Tot-C, Tot-N, C:N
0–10	24	Växttillgängligt förråd i marken: P, K, Mg, Ca (extraherat med ammoniumlaktat)
10–30	24	Växttillgängligt: NH ₄ -N, NO ₃ -N, P, K, Mg, Ca, S, Cl, Na, Mn, B (extraherat med HAc)
	Σ 144	

pH och ledningstal (Lt) mättes i uppslammad jord i vattenlösning. Minst 5 ml lufttorkad jord blandades med vatten i proportionen 1:5. Suspensionen skakades kraftigt i fem minuter och fick sedan stå i ett par timmar. Därefter skakades suspensionen om och pH och ledningstal mättes med kalibrerade instrument.

Torrsubstanshalt bestämdes enligt SS-ISO 11465. Provmängden 10–15 g jord torkades vid 105°C till konstant vikt uppnåddes.

Totalhalten av C och N i jordprov från de olika lokalerna analyserades med en elementaranalysator (CarloErba NA 1500, Rodano, Italy) genom torr förbränning enligt SS-ISO 10694. Proven förångades vid hög temperatur och god syretillgång, vilket resulterade i att all C oxiderades till CO₂ och all N oxiderades till NO_x eller N₂. Gaserna detekterades med en mätcell som mäter termisk konduktivitet.

Genom att extrahera jordprovet med ett extraktionsmedel, t.ex. en syra, kan man lösa hårt bundna föreningar och därmed analysera enskilda näringsämnen. Fosfor (P) är hårt bundet i marken och en AL-lösning (ammoniumlaktat) kan lösa ut en del av detta P. Ibland används en 2M lösning av HCl, men den

fosformängd som löses ut är betydligt större än den mängd som kan tas upp av växterna (t.ex. Troedsson & Nykvist, 1973). I denna studie har P, K, Mg och Ca extraherats med ammoniumlaktat med påföljande plasmaanalys av de enskilda näringsämnen (ICP-OES; Inductively Coupled Plasma with Optical Emission Spectrometry; Varian Inc. Model 735-ES, Palo Alto, CA, USA). Förrådslösningen till AL-extraktion har beretts från 916 ml (1,1 kg) mjölksyra, 1 790 ml (1,9 kg) HAc och 800 g NH₄Ac som blandats med destillerat vatten till 10 liter. Extraktionslösningen erhöles genom spädning tio gånger och hade pH 3,70 – 3,80.

I rotzonen påverkas jorden kemiskt och löser upp lättare bunden växtnäring i jorden. Roten surgör en mikrozon på ca 0,1 mm avstånd där pH-värdet sänks. Genom att använda en svag syra vid extraktionen efterliknas rotens kemiska påverkan på bunden växtnäring i jorden. I denna studie har näringsämnen extraherats ur jordprovet med en svag lösning av ättiksyra (spädning 1 000 ggr, 0,018 M HAc = 0,1 % HAc) med påföljande plasmaanalys av de enskilda näringsämnen (ICP-OES; Inductively Coupled Plasma with Optical Emission Spectrometry; Varian Inc. Model 735-ES, Palo Alto, CA, USA). Metoden är känd som Spurway & Lawton- metoden (1949). Vid analys i laboratoriet har en extraktionstid på 30 minuter tillämpats. Proportionen jord:HAc var 1:6. De halter av ammoniumkväve (NH₄-N) och nitratkväve (NO₃-N) som erhålls med metoden motsvarar vad som erhålls med den så kallade N-min metoden. Kväve, fosfor och svavel i organisk form syns däremot inte i analysen, vilket ger en underskattning av tillgången av dessa ämnen.

VOLYMVIKT

Vid uppskattning av förråd av C och övriga näringsämnen i marken per ytenhet (t.ex. per ha) måste provtagningsdjup och markens grad av kompaktering inkluderas i beräkningarna. Generellt brukar förråden beräknas för ett givet markdjup, i detta projekt 30 cm. Mängden jord i ett givet provtagningsdjup och en given volym är bland annat beroende av hur kompakterad jorden är och detta mäts genom bestämning av jordprovets volymvikt (markdensitet).

Tre volymbestämda jordprov har insamlats på varje trädslagsparcell för bestämning av volymvikt. Totalt samlades $24 \times 3 = 72$ volymprov in per lokal. Som bestämd volym användes borrens volym ned till 30 cm djup (94,25 cm³). Samtliga jordprov siktades genom en sikt med håldiameter 2 mm. Torr vikter bestämdes för fraktioner med partikelstorlekarna <2 mm samt ≥2 mm oorganiska och organiska partiklar. Största partikelstorlek (<20 mm) bestämdes av borrens diameter. pH, ledningstal och näringsämnen analyserades i den finkorniga jordfraktionen <2 mm.

Volymvikten (markdensiteten, g cm⁻³) av finjordfraktionen <2mm har beräknats från de volymbestämda borrproven enligt:

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{M_b - M_{2-20\text{mm}}}{V_b - V_{2-20\text{mm}}} = \frac{M_b - M_{2-20\text{mm}}}{V_b - \frac{M_{2-20\text{mm}}}{\rho_{\text{gr}}}} \quad (1)$$

där

ρ = volymvikt för finjordfraktionen < 2 mm (g cm^{-3})
 M = massan av finjorden från borrhprovet (g)
 V = volymen av den ostörda finjorden (cm^3)
 M_b = massan av borrhprovet inklusive grus (2–20 mm, g)
 V_b = jordborrens volym (cm^3)
 $M_{2-20\text{mm}}$ = massan av grus (2–20 mm, g)
 $V_{2-20\text{mm}}$ = volymen av grus (cm^3)
 ρ_{gr} = medeldensitet för granit ($2,650 \text{ g cm}^{-3}$)

BESTÄMNING AV RELATIV GRUS- OCH STENVOLYM I MARKEN

För att få en rättvisande uppskattning av den volym som den s.k. finjorden (partiklar <2 mm), som analyserats med avseende på C och övrigt näringsinnehåll utgör, bör även markens innehåll av grus (2–20 mm) och sten (≥ 20 mm) bestämmas. Volymen av grus bestämdes i laboratoriet i de jordprov som insamlats för bestämning av finjordens volymvikt.

Volymen av sten har bestämts vid fältinventeringar på samtliga lokaler under 2010. Sten definieras vanligen som oorganiska markpartiklar med storleken 0,02 till 0,2 m. Större partiklar ($>0,2$ m) klassificeras som block, men dessa är oftast avlägsnade i åkermarken. Markens innehåll av sten kallas stenighet och definieras som den relativa volymen av sten i marken.

Den metod som har använts i markprojektet är baserad på den så kallade ”Viro-metoden” (Viro, 1952). Metoden bygger på sticksondering ned till 30 cm djup, med notering av djupet i marken vid påträffande av sten eller block. Utrustningen utgörs av en graderad ”Viro-sond” (en rostfri metallten) med 10 mm diameter och 130 cm längd. Som slagverktyg används en liten slägga (1,6 kg). Det genomsnittliga stickdjup som därmed erhålls har ett tydligt samband med stenvolymen, vilken kan beräknas med en funktion (Viro, 1952; Tamminen & Starr, 1994; Eriksson & Holmgren, 1996). En referensfunktion tas fram och kalibreras efter data från ytor där både sondering och bestämning av sten och blockvolym, genom grävning, siktning och vägning, har utförts. Då stenigheten varierar mellan lokal och jordart är en sådan kalibrering för den undersökta marken oftast nödvändig. De befintliga funktionerna baseras på skogsmark och är inte anpassade till åkermark eller mark med låg stenighet (<10 %) utan behöver kalibreras för dessa förhållanden.

På varje försökslokal slumpades 16 cirkulära provytor ut med 20 m diameter (totalt 80 provytor). Varje sådan provyta sonderades systematiskt med 52 stick ned till 30 cm djup. Stickdjupet då en sten påträffades noterades och medelstickdjupet för de 52 punkterna beräknades. I mitten av provytorna grävdes referensgropar med längd \times bredd \times djup = $0,30 \times 0,30 \times 0,30$ m och volymen $0,027 \text{ m}^3$. Före utgrävningen sonderades referensgropens yta ($0,3 \times 0,3$ m) med 16 systematiskt utplacerade stickpunkter ned till 30 cm djup. Referensgropens medelstickdjup beräknades. Då gropen grävdes siktades all jord genom ett tråg med ett rutnät av storleken $0,02 \times 0,02$ m. Kvarvarande sten med storleken $>0,02$ m rengjordes från jord och vägdes. Stenar som delvis rymdes i gropen vägdes separat för att bestämma den del av stenens volym som omfattades av referensgropens volym.

Referensgrupens volym av sten med storleken ≥ 20 mm, ($V_{\geq 20\text{mm}}$, m^3), erhöles genom division av stenarnas vikt, ($M_{\geq 20\text{mm}}$, kg) med medeldensiteten för granit, $\rho_{\text{gr}} = 2\,650 \text{ kg m}^{-3}$ (Poesen & Lavee, 1994):

$$V_{\geq 20\text{mm}} = \frac{M_{\geq 20\text{mm}}}{\rho_{\text{gr}}} \quad (2)$$

Därefter beräknades den relativa stenvolymen $\sigma_{20\text{mm}}$ enligt:

$$\sigma_{\geq 20\text{mm}} = \frac{V_{\geq 20\text{mm}}}{V_{\text{rg}}} \quad (3)$$

där

V_{rg} = referensgrupens volym ($0,027 \text{ m}^3$)

En referensfunktion för sambandet mellan medelstickdjup vid sondering och uppmätt stenvolym från referensgröpar togs därefter fram. Regressioner för medelstickdjup för cirkulära provytor och referensgröpar gjordes för att undersöka överensstämmelsen mellan dessa.

Näringsförråd per ytenhet

Förrådet av näringsämnen per yta och ned till 30 cm djup beräknades genom att multiplicera halterna (koncentrationerna) med jordmassan för ytan och provtagningsdjupet. Då näringsanalyser vanligtvis görs på finjordfraktionen med partikelstorlek < 2 mm räknas partiklar med storleken ≥ 2 mm (grus och småsten) bort (t.ex. McNabb m.fl., 1986) samt markens innehåll av större stenar, som bestäms i fält då dessa inte samlas in p.g.a. jordborrens begränsande diameter.

Beräkning av näringsförråd per yta, N_f (g cm^{-2} alternativt Mg ha^{-1}) har gjorts enligt följande formel:

$$N_f = \rho \times (1 - \sigma_{2-20\text{mm}} - \sigma_{\geq 20\text{mm}}) \times d \times C \quad (4)$$

där

ρ = volymvikt för finjordfraktionen < 2 mm (g cm^{-3})

$\sigma_{2-20\text{mm}}$ = den relativa volymen av jordfraktionen 2–20 mm (grus), beräknat enligt:

$$\sigma_{2-20\text{mm}} = \frac{V_{2-20\text{mm}}}{V_b} \quad (5)$$

där

$V_{2-20\text{mm}}$ = volymen av grus (cm^3) och V_b = jordborrens volym (cm^3)

$\sigma_{\geq 20\text{mm}}$ = den relativa stenvolymen ≥ 20 mm, beräknad enligt formel (3)

d = provtagningsdjupet i cm

C = koncentrationen av näringsämnet (g g^{-1})

STATISTISK ANALYS

Variansanalyser för test av eventuella skillnader i blockmedelvärden och parcellmedelvärden, med avseende på markparametrar utfördes med SAS-proceduren ANOVA (SAS Institute Inc, 1999). Tvåvägs-variansanalys användes för att testa block- och parcellmedelvärden av Tot-C, Tot-N, C:N, pH(H₂O), Lt, TS, ammoniumlaktatextraherat fosfor, kalium, magnesium och kalcium (P-AL, K-AL, Mg-AL och Ca-AL) samt lättillgänglig näring, extraherad med svag syra, NH₄-N, NO₃-N, P, K, Ca, Mg, S, Cl, Na, Mn, och B. Samma analys användes också för att testa eventuella skillnader i block- och parcellmedelvärden med avseende på jordens volymvikt. Envägs-variansanalys utfördes med SAS-proceduren ANOVA för test av skillnader mellan block med avseende på markens relativa volym av grus (2–20 mm) och sten (≥20 mm). Denna analys användes också för test av skillnader i lokalmedelvärden för ovanstående parametrar.

För att undersöka samband mellan medelstickdjup och stenvolym i referensgröpar och samband mellan medelstickdjup i referensgröpar och på cirkulära provtytor användes SAS-proceduren REG, linjär regression.

En skillnad accepterades som signifikant om sannolikheten för den testade nollhypotesen (ingen skillnad) var mindre än eller lika med 5 % ($p \leq 0,05$) och i de fall där huvudtestet visade på signifikanta skillnader gjordes parvisa jämförelser med Tukey's Studentized Range Test.

Resultat och diskussion

JORDART OCH GRUSINNEHÅLL

Viktsandelen grus i matjordsskiktet (ner till 30 cm) var störst i Långhem och Svalöv (tabell 3). Dessa jordar hade också ett större inslag av sten (>20 mm) av olika storlekar och klassas därför som moräner (se avsnitt "Grus- och stenvolym" nedan). Matjorden från lokalen i Nyköping innehöll jämförelsevis lägre grus- och stenmängder, men var ändå tydligt osorterad och klassas även den som morän. De norrländska lokalerna hade däremot en betydligt lägre grushalt i matjorden, vilket visar på ett sedimentärt ursprung. I naturen är emellertid jordarten aldrig så väl sorterad att den bara utgörs av en enda fraktion (Troedsson & Nykvist, 1973).

Tabell 3.
Viktsandel (%) av olika partikelfraktioner i borkärnor ner till 30 cm djup. Medelfel ($\pm se$) anges (n=24 per lokal, varje n består av ett medelvärde av tre volymbestämda prov).

Fraktion Lokal	Finjord (<2 mm)	Grus (2–20 mm)		Organiskt (≥2 mm)		
		se	se	se	se	
Svalöv	92,8	0,5	7,2	0,5	0,1	0,02
Långhem	91,1	0,5	8,8	0,4	0,2	0,04
Nyköping	95,9	0,3	3,8	0,3	0,3	0,03
Bjästa	99,4	0,02	0,02	0,01	0,6	0,2
Lövånger	99,5	0,2	0,2	0,1	0,3	0,1

Jordarten på lokalerna har också bestämts med ett så kallat utrullningsprov (se t.ex. Troedsson & Nykvist, 1973). Utrullningsprovet gjordes på matjorden, vilken klassificeras som en speciell form av humusformen mull (Troedsson & Nykvist, 1973). Då matjorden som regel innehåller mer minerogent än organogent material ger utrullningsprovet en uppfattning om det minerogena ursprunget i mullen. Utrullningsproven visade att jordarten i huvudsak var en lerjordstyp på samtliga lokaler, från styv lera i Nyköping till lättlera med inslag av mjäla i norr (figurer 3–7).

Dominerande berggrund och matjordstyp i de områden där försökslokalerna är belägna erhöles från berggrunds- och jordmånkartor (Ekström 1970, hämtad från Troedsson & Nykvist, 1973; Loberg, 1980).



Figur 3.
Svalöv, Gryttinge.
Berggrund: Sedimentära bergarter från kambrosilur.
Matjordstyp: Skånes nordostmoränlera, moränlera, även i alven.
Utrullningsprov: 1 mm motsvarar styv moränlera.



Figur 4.
Långhem, Rådde.
Berggrund: Sydvästra Sveriges gnejser.
Matjordstyp: Svagt lerig eller lerig morän, även i alven.
Utrullningsprov: 2,5 mm motsvarar lerig morän, moränlättilera.



Figur 5.
Nyköping, Åkersta.
Berggrund: Urgranit.
Matjordstyp: Mellansvenska heterogena lerjordområdena, mellanlera, även i alven.
Utrullningsprov: 1,25 mm motsvarar lerig morän, moränmellanlera.



Figur 6.
Bjästa, Norrsvedje.
Berggrund: Ådergnejs.
Matjordstyp: Mjällera, även i alven.
Utrullningsprov: 3 – 4 mm motsvarar mjällera till lättlera.



Figur 7.
Lövånger, Västanbyn.
Berggrund: Ådergnejs, granit.
Matjordstyp: Mjällera, moränlättilera, även i alven.
Utrullningsprov: 2 – 2,5 mm i block 2 – 4 motsvarar och lättlera.
3 – 4 mm i block 1 motsvara och mjällera till lättlera.

GENERELLA RESULTAT AV NÄRINGSANALYSER

Statistiska analyser visade att försöksutläggningen fungerade bra på samtliga lokaler med avseende på de analyserade kemiska egenskaperna hos marken (se tabell 2). Fördelningen av blocken fångade in de variationer som fanns i fält. Nedan redovisas lokalmedelvärden för de analyserade näringsämnen, pH och ledningstal. Resultaten från lokalen i Långhem visas uppdelade på två djupnivåer och även efter tidigare vall (block 1 och 2) och tidigare *Salix*-odling (block 3 och 4). På lokalen i Bjästa förekom signifikanta blockskillnader för ett stort antal av de analyserade parametrarna och därför redovisas block 1 och 2 åtskilda från block 3 och 4. Tabeller med block- och parcellmedelvärden visas i bilagor (bilaga 2–9).

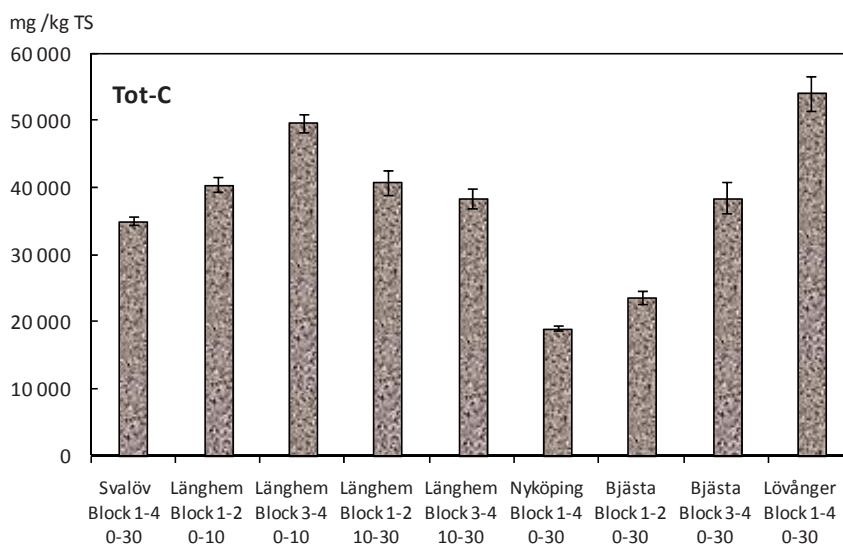
På lokalerna i Svalöv och Nyköping förekom signifikanta skillnader i blockmedelvärden för olika parametrar sparsamt, men inga skillnader mellan trädslagsparcellerna upptäcktes. I Långhem skilde sig den tidigare vallen (block 1 och 2) från den tidigare *Salix*-plantagen (block 3 och 4). Skillnaderna mellan dessa block omfattade så gott som samtliga analyserade parametrar. Några skillnader i medelvärden mellan trädslagsparceller förekom däremot inte i djupet 0–10 cm, och i det djupare skiktet, 10–30 cm, upptäcktes endast en signifikant, men liten, skillnad i pH mellan två trädslagsparceller, samt en skillnad i natriumkoncentration. I Bjästa fanns signifikanta skillnader mellan block 1–2 och block 3–4. Dessa blockpar är skilda åt av ett dike. Block 1 och 2 är också placerade i en svag sluttning, medan block 3 och 4 ligger på planare mark. Inga skillnader mellan trädslagsparceller fanns i Bjästa. På lokalen i Lövånger förkom vissa skillnader i blockmedelvärden mellan block 1, som är placerat på ett eget fält, och de övriga blocken. Men också block 3, som ligger i ett sankt hörn av det större fältet, skilde sig från de övriga blocken med avseende på vissa näringsämnen. Inte heller på lokalen i Lövånger förekom några skillnader mellan trädslagsparceller. Resultaten visar att blockindelningen har fångat in de skillnader i markegenskaper som förekom inom lokalerna, samt även tagit hänsyn till terräng och väderstreck.

TOTAL KOLHALT (TOT-C) OCH HUMUSHALT

Jord innehåller kol (C) i organisk och oorganisk form. I de flesta jordar finns det mesta av kolet bundet i organiska komponenter. Dessa komponenter utgörs av nedbrytningsrester från växter och djur samt markens mikroorganismer. Humus definieras vanligtvis som den fraktion som omfattar den organiska substansen i marken, med undantag av förna och levande organismer (Troedsson & Nykvist, 1973). Humus utgörs av ett stort komplex av organiska substanser bestående av kol, syre och väte, och kan dessutom innehålla bl.a. kväve, fosfor och svavel.

Den totala kolhalten i matjorden från försökslokalerna varierade mellan 19 000 och 54 000 mg kg⁻¹ TS⁻¹ eller 2 till 5 viktsprocent (figur 8). Medelhalten C i matjorden (ner till plogsulan) beräknades till 4,1 viktsprocent i en omfattande undersökning av svensk åkermark 2001–2007 (Eriksson m.fl., 2010). Lägst C-halt återfanns i marken på lokalen i Nyköping, där spannmål nyligen odlats och betydande mängder C tagits ut i samband med skörd, och högst C-halt i det övre markskiktet (0–10 cm) på den tidigare *Salix*-ytan i Långhem, samt i Lövånger där marken legat i träda några år. Tabeller med medelvärden för

block och trädslagsparceller med avseende på total kolhalt i matjorden på de olika försökslokalerna visas i bilaga 2a och 2b.



Figur 8. Total kolhalt (Tot-C) i jord från olika lokaler. Medelvärde och medelfel ($\pm se$) visas. För block 1-4 är $n = 24$ och för block 1-2 och 3-4 är $n = 12$. Provtagningsdjupet anges i cm.

Humushalten varierar i olika jordar, från mindre än 1 % i sandjordar till mer än 20 % i organogena jordar (t.ex. McVay & Rice, 2002). I en undersökning av tillståndet i svensk åkermark beräknades humushalten från total kolhalt under antagandet att markens humus innehåller 58 % C (Eriksson m.fl., 1997, 2010). Humushalten i svensk åkermark var medeltal 7,1 % (Eriksson m.fl., 2010). I denna siffra ingår även organogena jordar med halter högre än 20 %, varför medianvärdet 4,3 % ger ett bättre mått på halterna i mineraljordar. Humushalten i jord från de olika försökslokalerna i detta projekt har beräknats på motsvarande sätt (tabell 4). Variationen i humushalt i mineraljordar beror på textur, klimat, vegetation och markanvändning. Mer intensiv djurhållning med stor vallandel bör kunna leda till högre humushalter i jorden liksom återbeskogning (Eriksson m.fl., 1997; McVay & Rice, 2002). De högre humushalterna i vall- och *Salix*-odlingarna i Långhem (block 1-2, respektive block 3-4) tyder på detta. Humushalten i marken på försökslokalen i Lövånger är också något högre, troligen beroende på att marken legat i träda under några år före försökets start.

Tabell 4. Beräknad humushalt (medelvärde, %) på olika lokaler

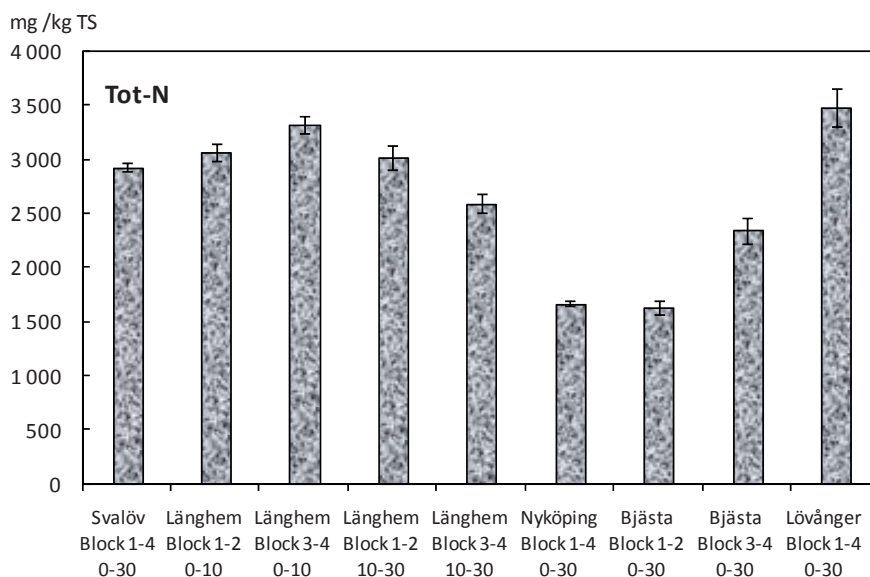
Lokal	Svalöv	Långhem			Nyköping		Bjästa		Lövånger
Block	1-4	1-2	3-4	1-2	3-4	1-4	1-2	3-4	1-4
Djup (cm)	0-30	0-10	0-10	10-30	10-30	0-30	0-30	0-30	0-30
Humushalt (%)	6,0	7,0	8,6	7,0	6,6	3,3	4,1	6,6	9,3
Medelfel (se)	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,1	0,2	0,4	0,4

TOTAL KVÄVEHALT (TOT-N) OCH C:N-KVOT

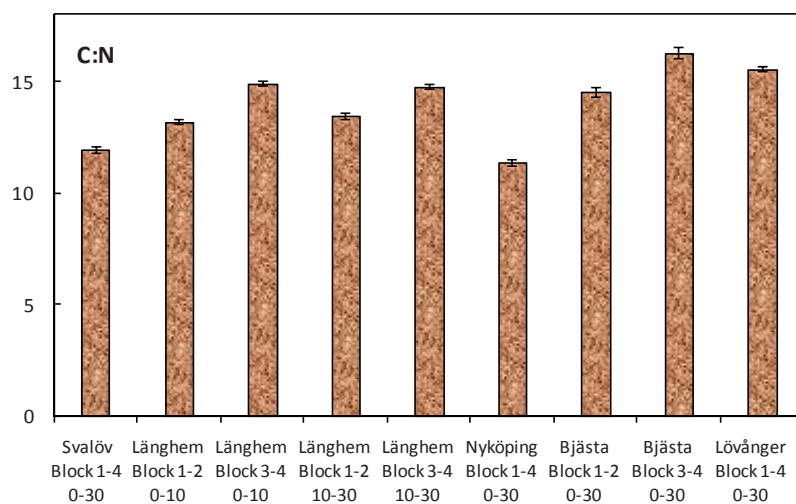
Den totala kvävehalten i jord från försökslokalerna varierar mellan 1 700 och 3 500 mg kg⁻¹ TS⁻¹ eller 0,17 och 0,35 viktsprocent. Det är av samma storleksordning som den beräknade medelhalten i svensk åkermark, 0,33 viktsprocent, från åren 2001–2007 (Eriksson m.fl., 2010). Lägst kvävehalt fanns i matjorden från spannmålsytan i Nyköping samt från block 1 och 2 i Bjästa. Dessa block var placerade i en svag sluttning och eventuellt kan avrinning ha orsakat de lägre värdena. Tabeller med medelvärden för block och trädslagsparceller med avseende på total kvävehalt i matjorden på de olika försökslokalerna visas i bilaga 3a och 3b.

Förhållandet mellan kol och kväve, den s.k. C:N-kvoten, används ofta som ett mått på den organiska substansens nedbrytningsgrad. I förna är den omkring 80 och minskar under nedbrytningen till 10–15 i en matjord (Troedsson & Nykvist, 1973). Så länge kvoten är hög binds kväveföreningarna hårt i marken, framför allt genom markorganismerna. Vid en lägre C:N-kvot finns kväve i tillräcklig mängd för nedbrytningsorganismerna och frigjorda ammoniumjoner kan tas upp av växterna.

Kvoterna på försökslokalerna varierade mellan som lägst 11,4 i Nyköping och som högst 15,6 i Lövsånger. Naturligt väl humifierat material har vanligen en kvot på ca 10 och i svensk åkermark var C:N-kvoten i medeltal 11 och som lägst i slättbygderna i Skåne och Mälardalen (Eriksson m.fl. 1997, 2010). Kvoter lägre än 10, som kan förekomma i odlingsintensiva områden, orsakas troligen av intensiv kvävegödsling och indikerar därmed en risk för kväveläckage. Tabeller med medelvärden för block och trädslagsparceller med avseende på C:N-kvot i matjorden på de olika försökslokalerna visas i bilaga 4a och 4b.



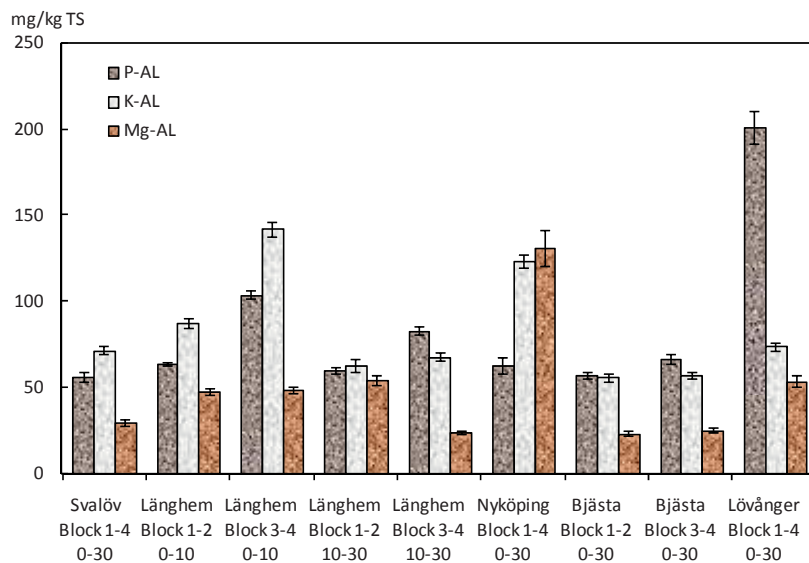
Figur 9. Total kvävehalt (Tot-N) i jord från olika lokaler. Medelvärde och medelfel (\pm se) visas. För block 1–4 är $n = 24$ och för block 1–2 och 3–4 är $n = 12$. Provtagningsdjupet anges i cm.



Figur 10.
C: N-kvot i jord från de olika lokalerna. Medelvärde och medelfel ($\pm se$) visas. För block 1–4 är $n = 24$ och för block 1–2 och 3–4 är $n = 12$. Provtagningsdjupet anges i cm.

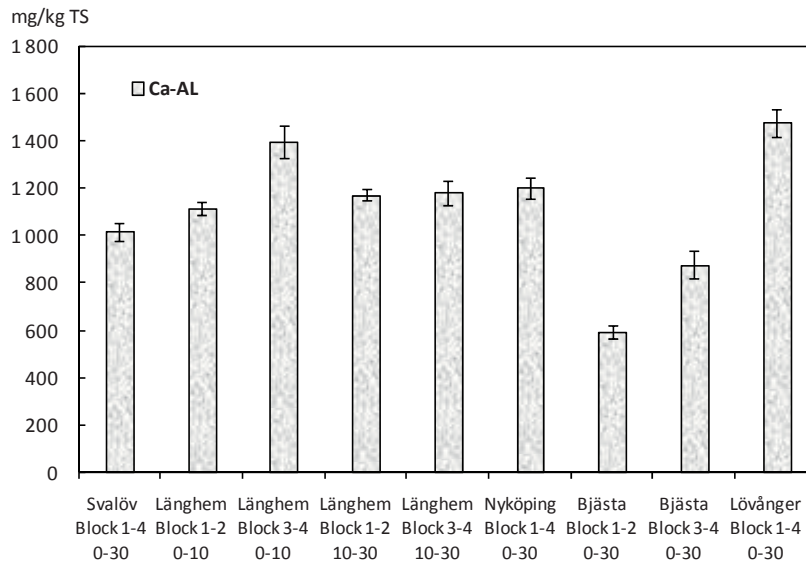
VÄXTTILLGÄNGLIGT FÖRRÅD AV P, K, Mg OCH Ca

Fosforhalten (ammoniumlaktatextraherat, P-AL) i svensk åkermark var i medeltal $82 \text{ mg kg}^{-1} \text{ TS}^{-1}$ under perioden 2001–2007 (Eriksson m.fl., 2010). Fosforhalten i matjorden från försökslokalerna varierade mellan $56\text{--}200 \text{ mg kg}^{-1} \text{ TS}^{-1}$, med det högsta värdet från lokalen i Lövånger (figur 11). Matjorden i Lövånger innehöll 2–3,5 gånger mer fosfor än de övriga lokalerna. Orsaken till detta är ännu inte klarlagd. Fosforgödslingen av åkermark i Sverige har mer eller mindre kontinuerligt minskat sedan början av 1990-talet, men någon minskning av fosforhalten i matjorden kunde inte märkas för den senaste 10-årsperioden (Eriksson m.fl., 2010).



Figur 11. Ammoniumlaktatextraherat P-AL, K-AL och Mg-AL. Medelvärde och medelfel (\pm se) visas. För block 1–4 är $n = 24$ och för block 1–2 och 3–4 är $n = 12$. Provtagningsdjupet anges i cm.

Kaliumhalten (K-AL) i svensk åkermark var i medeltal $124 \text{ mg kg}^{-1} \text{ TS}^{-1}$ under perioden 2001–2007 (Eriksson m.fl., 2010). Kaliumhalten i matjorden från försökslokalerna varierade mellan $56\text{--}142 \text{ mg kg}^{-1} \text{ TS}^{-1}$ med lägst värde i matjorden från Bjästa och högst i 0–10 cm skiktet i marken i den tidigare *Salix*-odlingen i Långhem (figur 11). Kalium och magnesium tas upp på samma sätt i växtroten och blir därför antagonistiska vid upptaget, d.v.s. en stor lättillgänglig mängd av det ena ämnet hämmar upptaget av det andra (t.ex. Eriksson m.fl., 2010). Därför är balansen mellan ämnena viktig och i markkarteringssammanhang tas K:Mg-kvoten fram som ett mått på detta. I svensk åkermark har denna kvot beräknats till 1,4 (Eriksson m.fl., 1997, 2010). I matjorden från försökslokalerna varierade kvoten mellan 0,9 – 2,4 och med ett medelvärde på 1,9. Ingen av kvoterna från försökslokalerna var för hög i förhållande till de riktlinjer som Jordbruksverket tagit fram för gödsling och kalkning (Jordbruksverket, 2009). En hög kvot kan ge magnesiumbrist, men det finns även en risk för kaliumbrist om kvoten är låg.



Figur 12. Ammoniumlaktatextraherat Ca-AL. Medelvärde och medelfel ($\pm se$) visas. För block 1-4 är $n = 24$ och för block 1-2 och 3-4 är $n = 12$. Provtagningsdjupet anges i cm.

Kalcium är den dominerande utbytbara katjonen i marken. Mängden växtupptagbart kalcium i marken är vanligen stor och i många fall så stor att upptaget av andra positiva joner i växten försvåras (Troedsson & Nykvist, 1973). Kalkning av mark görs därför huvudsakligen för att höja pH-värdet, samt för att förbättra markens struktur. Kalcium binds starkare i utbytbar form till de negativt laddade markpartiklarna än de övriga baskatjonerna. Magnesium som också är tvåvärd binds svagare p.g.a. att den är starkare hydratiserad. Urlakningen av magnesium kan ibland bli stor och i åkerjordar behövs oftast en tillförsel genom gödsling (Troedsson & Nykvist, 1973; Eriksson m.fl., 1997). I svensk åkermark var Ca:Mg-kvoten i medeltal 25 i matjorden (Eriksson m.fl., 1997). På försöksytorna låg kvoten mellan 26–34 utom i Nyköping där den var 9, vilket kan bero på att marken gödslats då spannmål odlats fram till och med 2007 eller förekomst av Mg-rika mineral. Tabeller med medelvärden för block och trädslagsparceller med avseende på P-AL, K-AL, Mg-AL och Ca-AL i matjorden på de olika försökslokalerna visas i bilagorna 5–8 (a, b).

pH, LEDNINGSTAL (Lt) OCH TS-HALT

pH och ledningstal är mätta i uppslammad jord i vattenlösning (tabell 5). Samtliga lokaler inom projektet har ett något lägre pH än riksgenomsnittet för svensk åkermark, som var 6,3 i plogskiktet under perioderna 1988–1997 och 2001–2007 (Eriksson m.fl., 1997, 2010). Knappt 6 % av jordarna i svensk åkermark hade ett pH på 5,5 eller lägre (Eriksson m.fl., 1997). Låga pH-nivåer är generellt kopplade till grovkornigare jordar, hög nederbörd (t.ex. Västsverige) och hög humushalt. Humusrika jordar har i genomsnitt upp till en enhet lägre pH än de humusfattiga, men den individuella variationen mellan jordar med samma humushalt är stor.

Tabell 5.
pH(H₂O), ledningstal (Lt) och torrsbstanshalt (TS-halt). Medelvärde och medelfel (\pm se) visas (n = 24). För block 1-4 är n = 24 och för block 1-2 och 3-4 är n = 12.

Lokal	Svalöv	Långhem			Nyköping	Bjästa			Lövånger
Block	1-4	1-2	3-4	1-2	3-4	1-4	1-2	3-4	1-4
Djup (cm)	0-30	0-10	0-10	10-30	10-30	0-30	0-30	0-30	0-30
pH	5,20 \pm 0,02	5,62 \pm 0,03	5,54 \pm 0,04	5,53 \pm 0,03	5,58 \pm 0,05	5,27 \pm 0,04	5,17 \pm 0,03	5,44 \pm 0,07	5,51 \pm 0,04
Lt (mS cm ⁻¹)	0,73 \pm 0,01	0,53 \pm 0,01	0,82 \pm 0,03	0,58 \pm 0,01	0,54 \pm 0,02	0,62 \pm 0,01	0,60 \pm 0,02	0,69 \pm 0,03	0,86 \pm 0,06
TS-halt (%)	75,2 \pm 0,3	74,1 \pm 0,4	66,8 \pm 0,7	76,0 \pm 0,4	73,3 \pm 0,5	74,5 \pm 0,3	73,5 \pm 0,4	70,2 \pm 0,7	69,6 \pm 0,8

Ledningstalet visar mängden lösta joner i markvätskan. Ledningstalet ligger ofta omkring 1 och upp till 3 mS cm⁻¹, beroende på vilka växter det gäller. Ett lågt ledningstal visar näringsbrist, medan ett högt tyder på att jorden gödslats för kraftigt. Ledningstalet på försökslokalerna var relativt lågt, men någon näringsbrist förekom inte bland de analyserade ämnena.

Signifikanta blockskillnader med avseende på pH, Lt eller TS-halt förekom på samtliga lokaler, men endast en liten skillnad i pH-värde mellan två trädslagsparceller kunde noteras i djupet 10–30 cm i Långhem (bilaga 9). Blockningen av försöket har sålunda fångat in de variationer som finns med avseende på dessa parametrar.

LÄTTARE BUNDEN VÄXTILLGÄNGLIG NÄRING

Växtroten påverkar jorden kemiskt och löser upp lättare bunden växtnäring i jorden. Roten surgör en mikrozon på ca 0,1 mm avstånd där pH-värdet sänks. Genom att använda en svag syra vid extraktionen efterliknas rotens kemiska påverkan på bunden växtnäring i jorden. En sådan metod visar mängden omedelbart tillgänglig växtnäring jämfört med extraktioner med starka syror som visar den s.k. reserven (Spurway & Lawton, 1949). Resultaten från analyser av den växttillgängliga näringen visade signifikanta blockskillnader för vissa näringsämnen på samtliga lokaler, men inga signifikanta skillnader mellan trädslagsparceller, med enda undantaget för en liten skillnad i natriumhalt på djupet 10–30 cm i Långhem (tabell 6, bilaga 9).

Tabell 6.

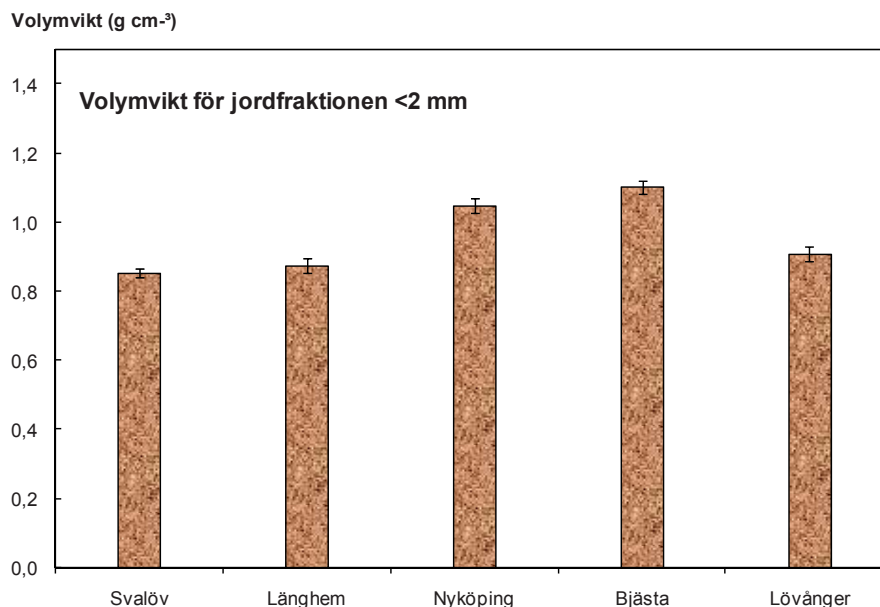
Växttillgänglig näring ($\text{mg kg}^{-1} \text{TS}^{-1}$). Medelvärden och medelfel (\pm se) visas ($n=24$). För block 1–4 är $n = 24$ och för block 1-2 och 3–4 är $n = 12$.

Lokal	Svalöv			Långhem			Nyköping			Bjästa		Lövånger	
	1–4	1–2	3–4	1–2	3–4	1–4	1–2	3–4	1–4	1–2	3–4	1–4	
Block	1–4	1–2	3–4	1–2	3–4	1–4	1–2	3–4	1–4	1–2	3–4	1–4	
Djup (cm)	0–30	0–10	0–10	10–30	10–30	0–30	0–30	0–30	0–30	0–30	0–30	0–30	
NO ₃ -N	14,9 (0,5)	6,4 (1,5)	2,8 (0,4)	14,5 (0,4)	3,7 (0,9)	2,8 (0,7)	21,8 (1,1)	17,1 (2,4)	28,4 (2,6)				
NH ₄ -N	7,7 (0,1)	12,7 (0,5)	20,3 (1,7)	8,9 (0,2)	10,5 (0,5)	5,2 (0,4)	5,5 (0,8)	6,8 (0,5)	6,0 (0,4)				
P	4,2 (0,23)	2,5 (0,07)	3,1 (0,10)	2,8 (0,35)	2,0 (0,06)	4,5 (0,30)	1,8 (0,10)	2,0 (0,09)	5,8 (0,56)				
K	32 (1,4)	62 (2,7)	106 (3,9)	40 (3,5)	36 (1,1)	44 (1,6)	32 (1,5)	32 (1,7)	34 (2,5)				
Mg	21 (0,9)	53 (3,7)	21 (2,0)	55 (2,4)	19 (0,9)	75 (4,1)	19 (1,1)	19 (2,1)	32 (2,3)				
Ca	550 (9,8)	641 (14)	694 (20)	660 (13)	755 (23)	414 (8,7)	358 (18)	517 (30)	563 (31)				
S	28 (1,2)	14 (0,3)	17 (0,4)	16 (0,5)	15 (0,4)	21 (0,5)	13 (1,0)	12 (0,9)	33 (5,7)				
Cl	4,4 (0,2)	4,6 (0,2)	6,4 (0,2)	4,1 (0,4)	4,7 (0,2)	10,2 (2,0)	5,8 (0,3)	6,8 (0,8)	4,3 (0,2)				
Na	18 (0,5)	14 (0,7)	18 (0,5)	16 (0,8)	14 (0,4)	21 (0,8)	20 (0,9)	19 (0,7)	18 (1,8)				
Mn	13,2 (0,6)	28,6 (7,6)	20,8 (2,0)	8,4 (0,4)	16,2 (1,4)	26,6 (3,0)	4,2 (0,3)	2,9 (0,3)	3,1 (0,2)				
B	0,22 (0,01)	0,23 (0,00)	0,27 (0,01)	0,25 (0,01)	0,22 (0,01)	0,25 (0,01)	0,09 (0,01)	0,08 (0,01)	0,12 (0,02)				

FINJORDENS VOLYMKVIKT

Volymvikt för finjordfraktionen med partikelstorlek <2 mm varierade mellan $0,85 - 1,10 \text{ g cm}^{-3}$ på försökslokalerna (figur 13, bilaga 10a). De lägre volymvikterna återfanns i Svalöv, Långhem och Lövånger. Signifikanta blockskillnader fanns i Långhem, huvudsakligen mellan den tidigare vallen (block 1 och 2) och *Salix*-plantagen (block 3 och 4), samt i Bjästa där block 1 skilde sig från block 3 (bilaga 10a). Några signifikanta skillnader i matjordens volymvikt mellan de olika trädslagparcellerna förekom däremot inte, vilket visar att blockens placering i huvudsak fångat in de skillnader som förekom (bilaga 10b).

Volymvikten påverkas i hög utsträckning av jordens kompakteringsgrad och det är därför viktigt att denna följs upp kontinuerligt i samband med tillväxten av de planterade trädslagen.



Figur 13. Volymvikt för jordfraktionen <2 mm i partikelstorlek för provtagningsdjupet 30 cm. Medelvärde och medelfel (\pm se) visas, n = 24 där varje n består av medelvärdet av tre prov.

GRUS- OCH STENVOLYM

Den relativa volymsandelen grus i matjordsskiktet var störst i Långhem och Svalöv (tabell 7). Nyköpingsjorden hade ett något lägre grusinnehåll, men jorden på dessa tre sydliga lokaler klassas samtliga som moräner. Den betydligt lägre andelen grus i jorden från de två norrländska lokalerna, i Bjästa och Löfvånger, i kombination med ett lågt steninnehåll (tabell 8) visar på ett sedimentärt ursprung.

Tabell 7.

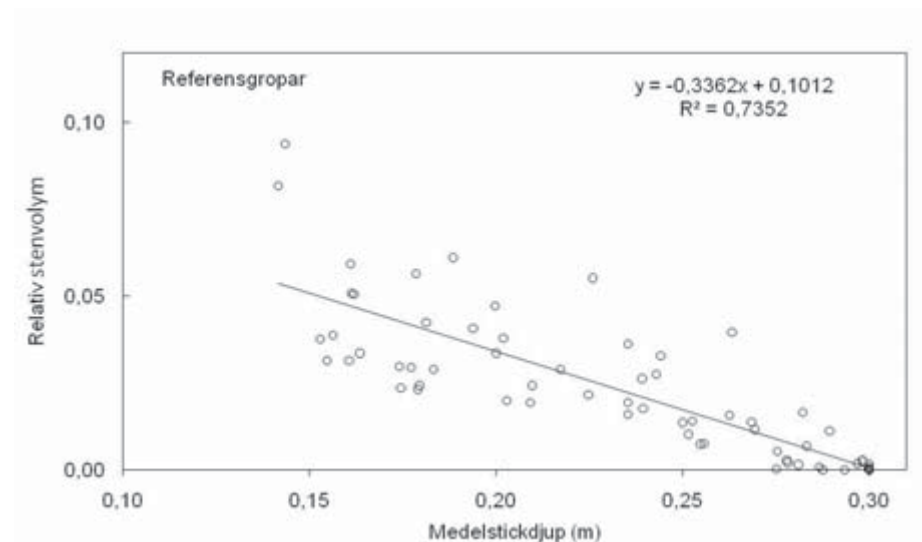
Markens relativa volymsandel grus. Medelvärden för block (n = 6, varje n består av ett medelvärde av tre delprov) och lokalmedelvärden (n = 24, varje n består av ett medelvärde av tre delprov). Volymsandelen anges med ett värde mellan 0 och 1. Block- och lokalmedelvärden markerade med olika bokstäver är signifikant åtskilda ($p \leq 0,05$).

Lokal	Djup	Relativ volymsandel grus				p-värde	Lokal $p < 0,0001$
		Block					
		1	2	3	4		
Svalöv	0–30	0,028	0,029	0,019	0,030	0,062	0,026 ^b
Långhem	0–30	0,031	0,033	0,039	0,032	0,197	0,034 ^a
Nyköping	0–30	0,019	0,012 ^a	0,012 ^a	0,021 ^b	0,006	0,016 ^c
Bjästa	0–30	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002	0,413	0,0001 ^d
Löfvånger	0–30	0,0025	0,0003	0,0000	0,0000	0,080	0,0007 ^d

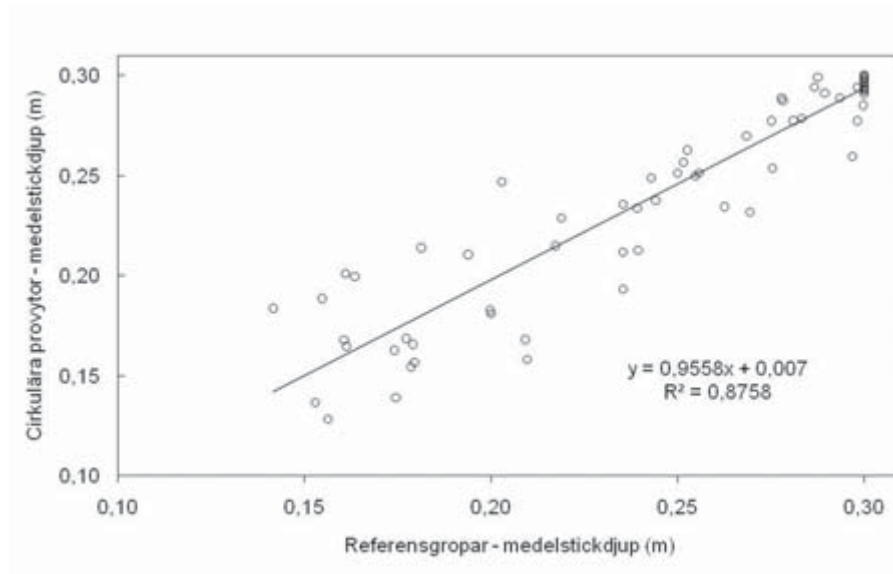
Volymen av sten i marken bestämdes vid fältinventeringar på samtliga lokaler under 2010. Sten definieras vanligen som oorganiska markpartiklar med storleken 0,02 till 0,2 m. Större partiklar (>0,2 m) klassificeras som block, men dessa är oftast avlägsnade i åkermarken. På de undersökta lokalerna hade merparten av de stenar som påträffades vid grävning av referensgropar en diameter <0,1 m.

Sambandet mellan det medelstickdjup som erhöles från referensgrupens yta och den relativa stenvolymen från referensgruppen uppskattades på totalt 80 provytor och omfattade samtliga lokaler (figur 14). Den statistiska analysen visade att sambandet var signifikant ($p < 0,0001$) och ett R^2 -värde på 0,74 visade att 74 % av den totala variationen förklarades av regressionslinjen, d.v.s. förhållandet mellan medelstickdjup och relativ stenvolym. Felkällor vid sondering av en bestämd jordvolym med sten är missade träffar, dels på grund av att sonden passerar förbi utan träff, dels på grund av att en sten ligger dold under en annan sten. Förekomst av större rötter kan också ge en felaktig träff, men detta var endast aktuellt på före detta *Salix*-ytan i Länghem.

Hur medelstickdjupet från referensgruppens yta ($0,3 \times 0,3$ m) förhöll sig till medelstickdjupet på de cirkulära provytorna (20 m diameter) uppskattades på motsvarande provytor (figur 15). Sambandet var signifikant ($p < 0,0001$) och R^2 -värdet visade att 88 % av den totala variationen kunde förklaras av sambanden mellan medelstickdjupen på respektive ytor. Det innebär att sambandet mellan relativ stenvolym och medelstickdjup, som uppmätts för referensgrupporna, kan appliceras på de större cirkulära provytorna. På varje försökslokal har 16 cirkulära provytor (20 m i diameter), som slumpats ut på de fyra blocken, sonderats.



Figur 14. Regressionslinjen visar korrelationen mellan relativ volym av sten (>0,02 m i diameter) och medelstickdjup i referensgröpar från samtliga lokaler (totalt 80 stycken referensgröpar). R^2 = del av den totala variationen som förklaras av regressionslinjen.



Figur 15. Regressionslinjen visar korrelationen mellan medelstickdjup från referensgruppen yta och medelstickdjupet på den anslutande cirkulära provytan. Samtliga lokaler ingår. $R^2 =$ del av den totala variationen som förklaras av regressionslinjen.

Relativ stenvolym har bestämts med hjälp av den erhållna ekvationen (figur 14) och medelvärden har beräknats per lokal och per block inom lokal (tabell 8). Den relativa stenvolymen var störst på de sydliga lokalerna (moräner) och betydligt lägre i de norrländska sedimentjordarna.

Tabell 8. Markens relativa volymsandel sten. Medelvärden för block ($n = 4$) och lokalmedelvärden ($n = 16$). Volymsandelen anges med ett värde mellan 0 och 1. Block- och lokalmedelvärden markerade med olika bokstäver är signifikant åtskilda ($p \leq 0,05$).

Lokal	Djup	Relativ volymsandel sten				p-värde	Lokal $p < 0,0001$
		Block					
		1	2	3	4		
Svalöv	0–30	0,041	0,037	0,031	0,034	0,364	0,036 ^b
Långhem	0–30	0,044	0,047	0,042	0,044	0,882	0,044 ^a
Nyköping	0–30	0,018	0,012 ^a	0,019	0,023 ^b	0,010	0,018 ^c
Bjästa	0–30	0,002	0,000	0,001	0,001	0,126	0,001 ^d
Lövånger	0–30	0,001 ^a	0,008 ^b	0,005	0,003 ^a	0,006	0,004 ^d

Den sammanlagda grus- och stenvolymen i matjordsskiktet (30 cm) uppgick som mest till 0,078 i relativa siffror, eller till 7,8 % på lokalen i Långhem, och som lägst till 0,0011 eller 0,11 % på lokalen i Bjästa. Vid omräkning av halter av näringsämnen till näringsförråd per ytenhet (ner till ett visst djup) bör volymsandelen grus och sten i marken räknas bort i de fall den är betydande. På mark av sedimentärt ursprung är denna andel ofta försumbar, men i moränjordar på skogsmark har den relativa volymsandelen sten uppmätts till 0,14 – 0,78 (Eriksson & Holmgren, 1996). Den studerade åkermarken i detta projekt innehåller en jämförelsevis låg volymsandel grus och sten, men om förändringar i näringsförråden ska följas under ett kortare tidsspann kan medräknandet av dessa volymer vara avgörande för upptäckten av signifikanta skillnader.

NÄRINGSFÖRRÅD PER YTENHET

Vid beräkning av markens förråd av näringsämnen per ytenhet, ner till 30 cm djup, har markens grus- och stenvolym räknats bort (formel 4 och 5). I detta fall användes lokalmedelvärden för de relativa volymsandelarna av grus och sten och enskilda mätvärden för näringskoncentrationerna (tabell 9). Resultatet från Långhem visas uppdelat på två olika djupnivåer. Ett djup ner till 30 cm gäller för de övriga lokalerna då marken plöjts samma år som provtagning genomfördes, vilket störde markprofilen.

Tabell 9.

Näringsförråd i marken på de olika lokalerna. (Mg ha⁻¹). Medelvärden och medelfel (\pm se) visas (n=24 där varje n består av 20 sammanlagda borrhov).

Lokal	Djup	Näringsförråd (Mg ha ⁻¹)					
		Tot-C	Tot-N	P-AL	K-AL	Mg-AL	Ca-AL
Svalöv	0–30	84 (1,5)	7,0 (0,11)	0,13 (0,007)	0,17 (0,006)	0,07 (0,004)	2,43 (0,094)
Långhem	0–10	37 (1,0)	2,6 (0,05)	0,07 (0,004)	0,09 (0,005)	0,04 (0,001)	1,02 (0,037)
Långhem	10–30	64 (1,9)	4,6 (0,13)	0,12 (0,005)	0,11 (0,004)	0,06 (0,006)	1,91 (0,045)
Nyköping	0–30	58 (1,2)	5,1 (0,08)	0,19 (0,015)	0,38 (0,012)	0,40 (0,031)	3,66 (0,123)
Bjästa	0–30	102 (6,5)	6,5 (0,33)	0,20 (0,006)	0,19 (0,005)	0,08 (0,003)	2,43 (0,144)
Lövånger	0–30	147 (7,0)	9,5 (0,46)	0,55 (0,026)	0,20 (0,007)	0,15 (0,009)	4,01 (0,157)

Kolförrådet i marken, ner till 30 cm djup, var lägst i Nyköping med 58 Mg ha⁻¹ och högst i Lövånger med 147 Mg ha⁻¹. Troligen orsakades skillnaden av att marken i Nyköping odlats med spannmål, vilket innebar ett stort uttag av C i samband med skörd, och att marken i Lövånger legat i träda några år innan försöksstarten. En teoretisk beräkning av förrådet av C i svensk åkermark utifrån humushalten och ner till 25 cm djup gav ett värde på 74 Mg ha⁻¹ i genomsnitt över landet (Eriksson m.fl., 1997). Den mark som trädslagsförsöket etablerats på skilde sig alltså inte från svensk åkermark i allmänhet när det gällde förrådet av C.

Den svenska åkermarken har under de senaste decennierna gödslats upp med fosfor och nivån är generell hög. Beräkningar av fosforförrådet i svensk åkermark ner till 25 cm djup gav ett värde på ca 0,30 Mg ha⁻¹ (P-AL) i genomsnitt (Eriksson m.fl., 1997). Detta motsvarade ett förråd av hårdare bunden fosfor på ca 2,30 Mg ha⁻¹ (P-HCl). Man har nu minskat ner på fosforgödslingen, men det märks inte någon större minskning av förråden under senare tid (Eriksson m.fl., 2010). På försöksytorna var fosforförrådet i marken i allmänhet lägre än det genomsnittliga värdet i svensk åkermark, det enda undantaget var marken i Lövånger (tabell 9).

Sverige har, globalt sett, unga jordmåner som inte är så starkt påverkade av vittring. Detta beror på att landet periodvis täckts av inlandsisar. Matjordens egenskaper är därför i allmänhet starkt kopplade till modern materialets mineralogi och textur. Det visar sig bl.a. i att den geografiska variationen i ämneshalter samvarierar med berggrund och jordart även för ämnen där det externa bidraget från t.ex. luftföroreningar är stort. Det stora magnesiumförrådet i marken i Nyköping jämfört med övriga lokaler kan t.ex. tyda på förekomst av dolomitkalksten i området eller stort inslag av mörka Mg-rika mineral (tabell 9; Eriksson m.fl., 1997). Även kalcium är ett ämne som i allmänhet visar en tydlig

koppling mellan berggrund och markegenskaper. I trädslagförsöket märktes däremot inte någon större skillnad mellan lokalerna med avseende på kalciumförrådet. Kalium är tydligt korrelerat till lerhalten i jorden och brukar vara högre än genomsnittet, t.ex. i lerjordsområdena runt Mälaren (Wiklander & Lotse, 1966). I Nyköping, där jorden klassats som en mellanlera, var inslaget av kalium dubbelt så högt som på de övriga lokalerna, men i Svalöv, där jorden klassats som en styv lera, var kaliumhalten däremot inte utmärkande hög.

Måluppfyllelse och redovisning

Projektet har uppfyllt de uppställda målen, vilket innebär att (1) markdata har samlats in genom jordprovtagning och stenkartering, (2) jordprover har analyserats i laboratoriet och resultaten statistiskt, (3) försöksdesignen har fångat in de variationer i markegenskaper som fanns på försökslokalerna och (4) data har sammanställts och dokumenterats inför framtida uppföljningar.

Projektet redovisas i en slutrapport till Energimyndigheten och publiceras i Skogforsks rapportserie. Under etappen har projektet presenterats i en artikel i ATL nr 79 (2009–11–03) och i en notis i Bioenergi nr 2 (2010). Rytter, R.-M. höll en muntlig presentation på IUFRO-konferensen ”IPS V – Poplars and willows: from research models to multipurpose trees for a biobased society”, i Orvieto, Italien, september 2010. Projektet presenterades där som en del i föredraget ”The potential of willow and poplar as carbon sinks”. En konferensartikel har skickats in till Biomass & Bioenergy. I planen ingår även att publicera resultatet från stenkarteringen på åkermark i en vetenskaplig journal.

Erkännanden

Vi vill tacka Frosten Nilsson, Fredrika Rytter och Vera Rytter för tålmodig assistans vid markprovtagningar och stenkartering på lerig åkermark. Markprojektet har finansierats av Energimyndigheten. Bidrag till konferens och resa erhöles från Formas.

Referenser

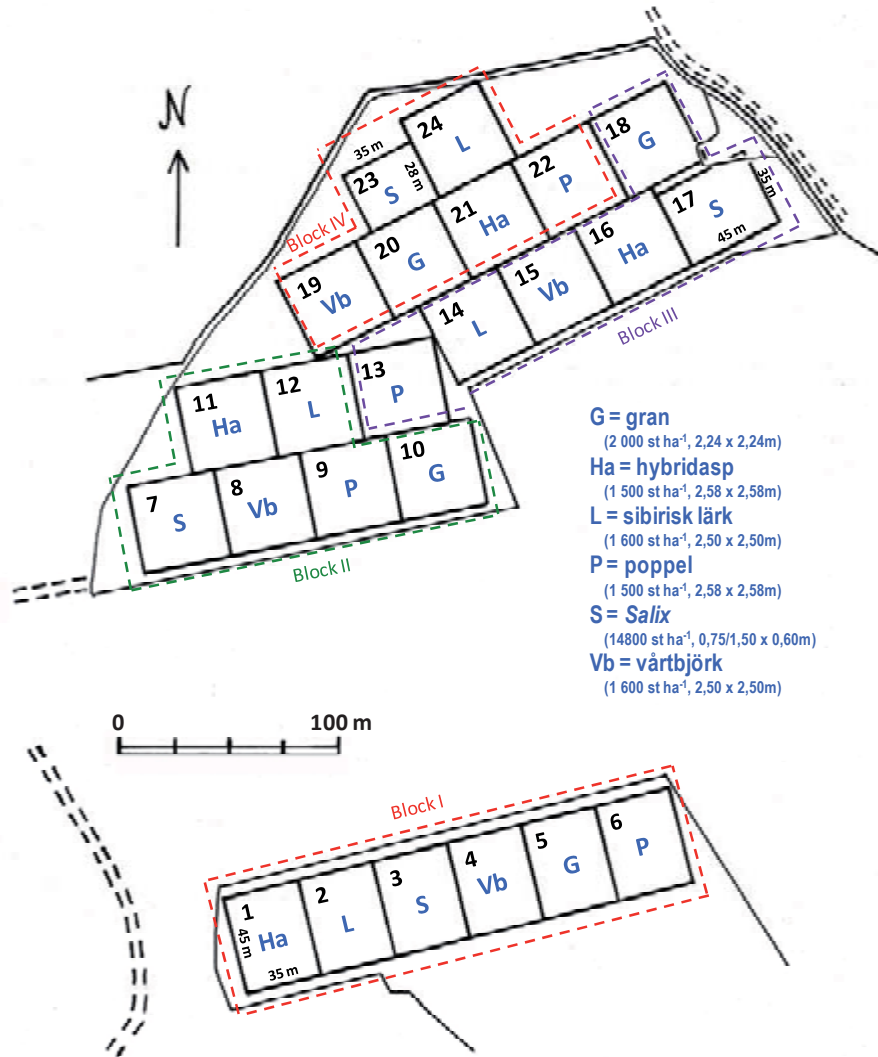
- Alriksson, A. & Eriksson, H.M. 1998. Variations in mineral nutrient and C distribution in the soil and vegetation compartments of five temperate tree species in NE Sweden. *For. Ecol. Manage.* 108, 261–273.
- Anon. 2006. På väg mot ett oljefritt Sverige. Kommissionen mot oljeberoende, Stockholm, 45 s.
- Augusto, L., Ranger, J., Binkley, D. & Rothe, A. 2002. Impact of several common tree species of European temperate forests on soil fertility. *Ann. Sci. For.* 59, 233–253.
- Berg, B., Gundersen, P. & Meentemeyer, V. 2005. Kolfastläggning uppskalad till svensk skogsmark – en sänka för koldioxid. Rapportserie SLU (ISSN 1400–7789), FAKTA Skog Nr 6.
- Binkley, D. 1995. The influence of tree species on forest soils: Processes and patterns. In: Mead, D.J. & Cornforth, I.S. (Eds.) *Proceedings of the Trees and Soil Workshop*, Lincoln University, 28 February – 2 March 1994. Agronomy Society of New Zealand, Special Publication No 10.

- Cabeza, M., Jäättelä, L. 2008. Forestry. In: Minimisation of and Adaptation to Climate change Impacts on biodiversity (eds., Berry, P., Paterson, J., Cabeza, M., Dubuis, A., Guisan, A., Jäättelä, L., Kühn, I., Midgley, G., Musche, M., Piper, J., Wilson, E.), EU contract no. 044399 (SSPI) MACIS, Deliverables 2.2 and 2.3, pp. 100–132.
- Eriksson, C.P. & Holmgren, P. 1996. Estimating the stone and boulder content in forest soils – evaluating the potential of surface penetration methods. *Catena* 28, 121–134.
- Eriksson, J., Andersson, A. & Andersson, R. 1997. Tillståndet i svensk åkermark. Naturvårdsverket. Naturvårdsverkets förlag. Rapport 4778.
- Eriksson, J., Mattsson, L. & Söderström, M. 2010. Tillståndet i svensk åkermark och gröda, data från 2001–2007. Naturvårdsverkets förlag. Rapport 6349.
- Fredeen, A.L., Waughtal, J.D. & Pypker, T.G. 2007. When do replanted sub-boreal clearcuts become net sinks for CO₂? *For. Ecol. Manage.* 239, 210–216.
- Hagen-Thorn, A., Callesen, I., Armolaitis, K. & Nihlgård, B. 2004. The impact of six European tree species on the chemistry of mineral topsoil in forest plantations on former agricultural land. *For. Ecol. Manage.* 195, 373–384.
- Jordbruksverket, 2009. Riktlinjer för gödsling och kalkning 2010. Jordbruksinformation 13–2009. Jordbruksverket.
- Larsson, S., Lundmark, T. & Ståhl, G. 2009. *Möjligheter till intensivodling av skog*. Slutrapport från regeringsuppdrag Jo 2008/1885, SLU, 136 s.
- Loberg, B. 1980. Geologi. Material, processer och Sveriges berggrund. P. A. Norstedt & Söners förlag, Stockholm, 302 s. ISBN 91-1-804185-5
- McNabb D.H., Cromack, K. & Fredriksen, R.L. 1986. Variability of nitrogen and carbon in surface soils of six forest types in the Oregon Cascades. *Soil Science Society of America Journal*, 50, 1037–1041.
- McVay K.A. & Rice C.W. 2002. Soil Organic Carbon and the Global Carbon Cycle. US Department of Agriculture, Kansas State University, Pub. No. MF-2548.
- Nordén, U. 1994. Influence of broad-leaved tree species on pH and organic matter content of forest topsoils in Scania, South Sweden. *Scand J. For. Res.* 9, 1–8.
- Oostra, S., Majdi, H. & Olsson, M. 2006. Impact on soil carbon stocks and soil acidity in southern Sweden. *Scand. J. For. Res.* 21, 364–371.
- Poesen, J. & Lavee, H. 1994. Rock fragments in top soils: significance and processes. *Catena* 223, 1–28.
- Post, W.M. & Kwon, K.C. 2000. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. *Global Change Biology* 6, 317–327.
- Powlson, D.S., Smith, P., Coleman, K., Smith, J.U., Glendining, M.J., Körschens, M. & Franco, U. 1998. A European network of long-term sites for studies on soil organic matter. *Soil and Tillage Research* 47, 263–274.
- Raulund-Rasmussen, K. & Vejre, H. 1995. Effect of tree species and soil properties on nutrient immobilization in the forest floor. *Plant and Soil* 168–169, 345–352.
- Richter, D.D., Markewitz, D., Trumbore, S.E., & Wells, C.G. 1999. Rapid accumulation and turnover of soil carbon in a re-establishing forest. *Nature* 400, 56–58.
- Rummukainen, M. & Källén, E. 2009. Ny klimatvetenskap 2006–2007. Kommissionen för hållbar utveckling. Skriftserie, Regeringskansliet, 66 s.

- Rytter, L. & Lundmark, T. 2010. Trädslagsförsök med inriktning på biomassa-
produktion. Slutrapport för Energimyndighetens projekt nr 30658. Skogforsk,
Arbetsrapport nr 726, Uppsala, 12 s.
- SAS Institute Inc (1999): *SAS/STAT User's Guide Version 8* SAS Institute Inc Cary NC
ISBN 1-58025-494-2.
- Skoglig marklära, SLU. 2008. MarkInfo. Internetadress: <http://www-markinfo.slu.se>
- Spurway, C.H. & Lawton, K. 1949. Soil testing. Mich. Agri. Exp. Sta. Bul. 132.
- Tamminen, P. & Starr, M. 1994. Bulk density of forested mineral soils. *Silva Fennica* 28,
pp. 53-60.
- Troedsson, T. & Nykvist, N. 1973. Marklära och markvård. Almqvist & Wiksell
Läromedel AB. Stockholm. ISBN 91-20-05544-7.
- United Nations, 1997. Kyoto protocol to the United Nations framework convention
on climate change. FCCC/CP/1997/L.7/add.1.
- Vesterdal, L. & Raulund-Rasmussen, K. 1998. Forest floor chemistry under seven tree
species along a soil fertility gradient. *Can. J. For. Res.* 28, 1636-1647.
- Vesterdal, L., Rosenqvist, L., van der Salm, C., Hansen, K., Groenoberg, B.-J. &
Johansson, M.-B. 2006. Carbon sequestration in soil and biomass following
afforestation: Experiences from oak and Norway spruce chronosequences in
Denmark, Sweden and the Netherlands. *In: Environmental Effects of
Afforestation in North-Western Europe – From Field Observations to Decision
Support.* G. Heil, B. Muys & K. Hansen (eds.) Springer, Plant and vegetation. 19-
51.
- Vetenskapliga rådet för miljöfrågor. 2007. Miljövårdsberedningens rapport 2007:03;
Vetenskapligt underlag för klimatpolitiken.
- Viro, P.J. 1952. On the determination of stoniness. *Communicationes Instituti Forestalis
Fenniae* 40 (3), 1-19.
- Wiklander, L. & Lotse, E. 1996. Minerological and physico-chemical studies om clay
fractions of Swedish cultivated soils. *Lantbrukshögskolans Annaler* 32, 439-475.

Kartor över försökslokaler. Statistisk design visas

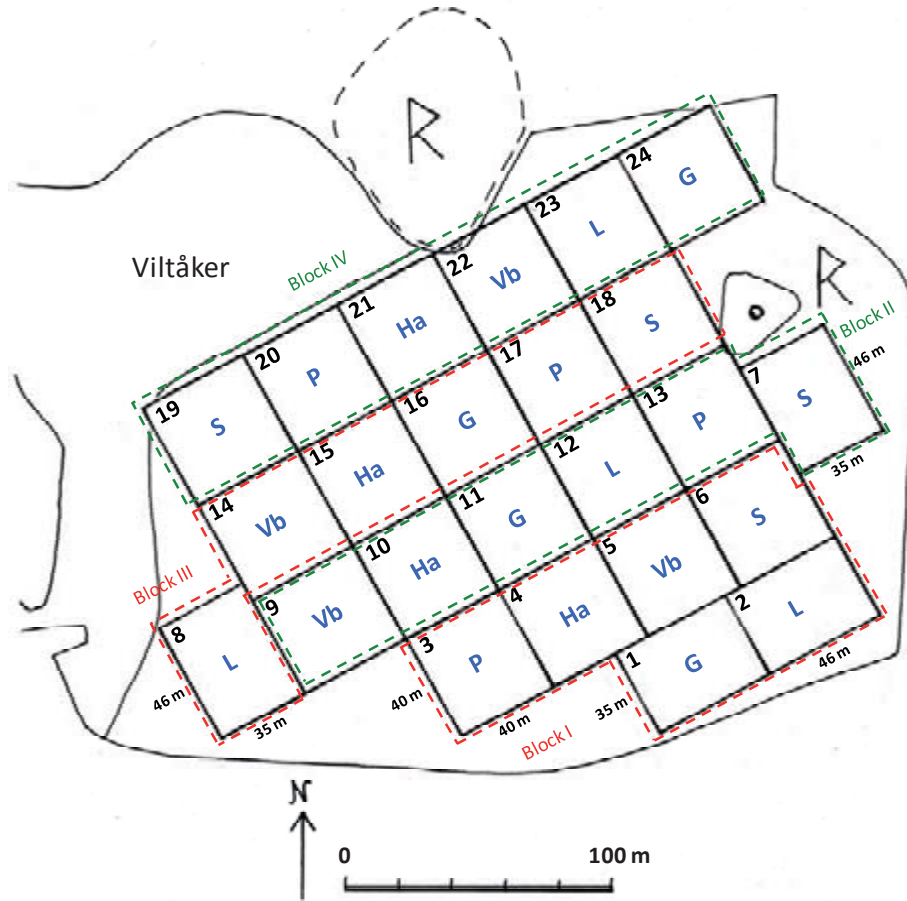
Lövånger - Västanbyn



Bjästa - Norrsvedje



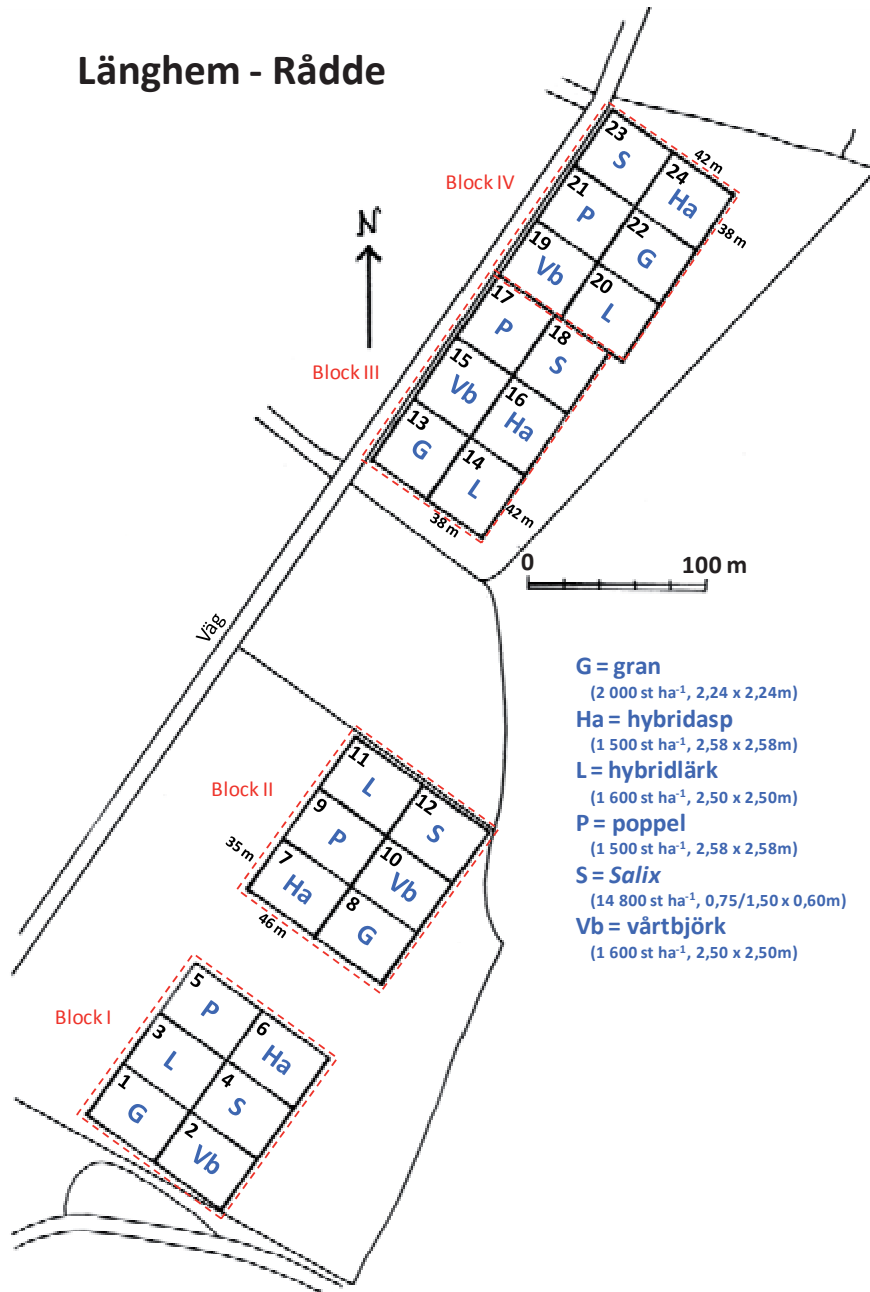
Nyköping - Åkersta



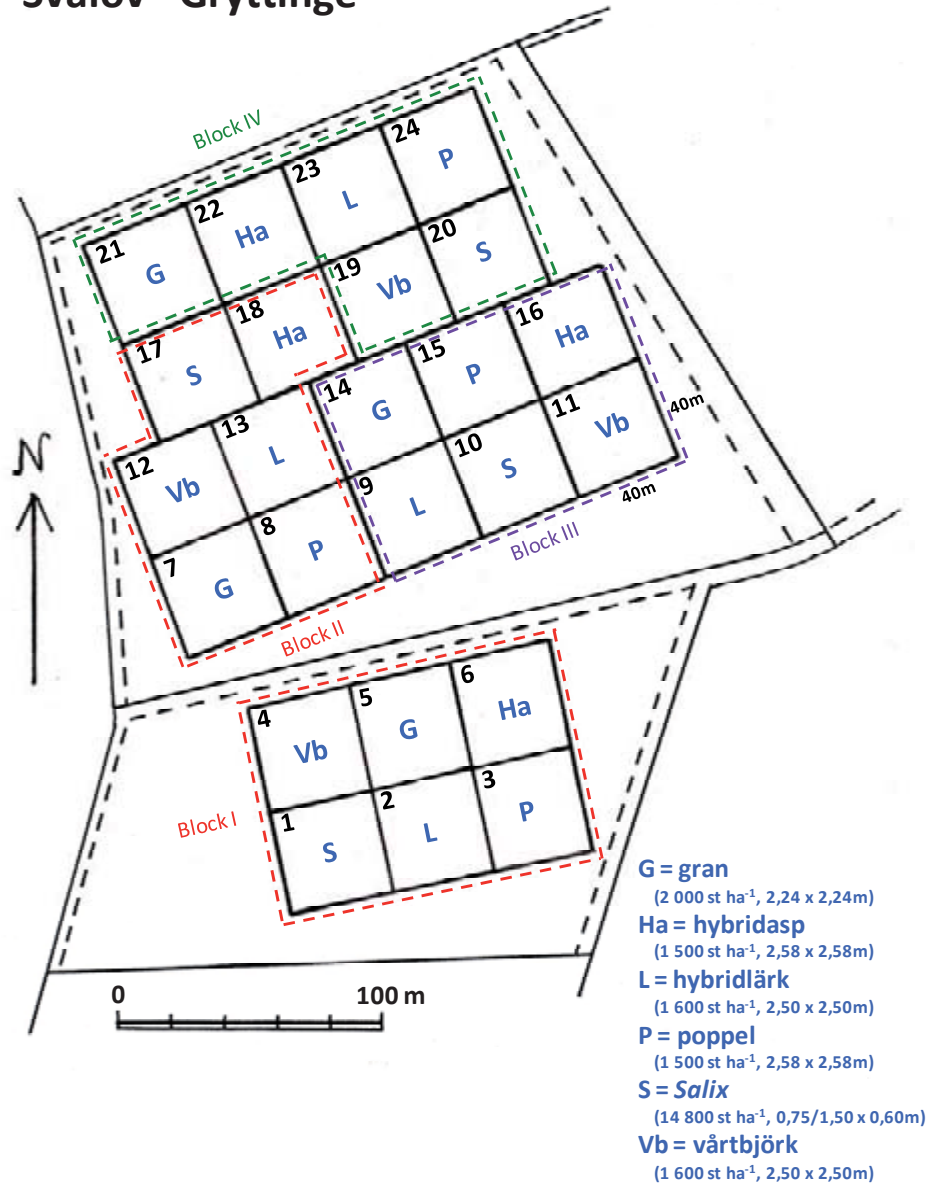
G = gran
(2 000 st ha⁻¹, 2,24 x 2,24m)
Ha = hybridasp
(1 500 st ha⁻¹, 2,58 x 2,58m)
L = hybridlärk
(1 600 st ha⁻¹, 2,50 x 2,50m)

P = poppel
(1 500 st ha⁻¹, 2,58 x 2,58m)
S = Salix
(14 800 st ha⁻¹, 0,75/1,50 x 0,60m)
Vb = vårtbjörk
(1 600 st ha⁻¹, 2,50 x 2,50m)

Långhem - Rådde



Svalöv - Gryttinge



Bilaga 2

Total kolhalt (Tot-C) i marken

Bilaga 2a

Medelvärden för block 1–4 ($n = 6$, där varje n består av 20 sammanslagna borrhov) och för lokal ($n = 24$). Medelvärden markerade med olika bokstäver är signifikant åtskilda ($p \leq 0,05$).

Lokal	Djup	Tot-C (mg kg ⁻¹ TS ⁻¹)				p-värde	Lokal $p < 0,0001$
		Block					
		1	2	3	4		
Svalöv	0–30	35 400	34 100	34 800	35 900	0,837	35 100 ^{cd}
Långhem	0–10	38 200 ^c	42 800 ^{bc}	50 800 ^a	48 500 ^{ab}	0,001	45 100 ^b
Långhem	10–30	37 700	43 800 ^a	42 200	34 500 ^b	0,026	39 600 ^{bc}
Nyköping	0–30	20 400	18 900	17 900	18 700	0,064	19 000 ^e
Bjästa	0–30	25 000 ^b	22 200 ^b	38 400 ^a	38 500 ^a	0,001	31 000 ^d
Lövånger	0–30	54 200	66 400 ^a	41 500 ^b	54 400	0,010	54 200 ^a

Bilaga 2b

Medelvärden för trädslagparceller ($n = 4$, där varje n består av 20 sammanslagna borrhov). Medelvärden markerade med olika bokstäver är signifikant åtskilda ($p \leq 0,05$).

Lokal	Djup	Tot-C (mg kg ⁻¹ TS ⁻¹)						p-värde
		Trädslag						
		Gran	Hybridasp	Hybridlärk	Poppel	Vårtbjörk	Salix	
Svalöv	0–30	35 900	36 800	33 800	35 300	33 600	35 000	0,794
Långhem	0–10	43 400	43 800	45 200	46 800	45 400	46 000	0,872
Långhem	10–30	39 700	41 200	40 400	40 000	38 800	37 100	0,899
Nyköping	0–30	19 700	18 200	19 200	18 000	17 900	21 000	0,066
Bjästa	0–30	29 800	32 600	30 600	31 600	33 700	27 800	0,865
Lövånger	0–30	52 200	52 600	53 300	53 900	55 700	57 200	0,983

Bilaga 3

Total kvävehalt (Tot-N) i marken

Bilaga 3a

Medelvärden för block 1–4 ($n = 6$, där varje n består av 20 sammanslagna borrhov) och för lokal ($n = 24$). Medelvärden markerade med olika bokstäver är signifikant åtskilda ($p \leq 0,05$).

Lokal	Djup	Tot-N (mg kg ⁻¹ TS ⁻¹)				p-värde	Lokal $p < 0,0001$
		Block					
		1	2	3	4		
Svalöv	0–30	3 100	2 880	2 850	2 880	0,277	2 930 ^{bc}
Långhem	0–10	2 920 ^b	3 220 ^a	3 400 ^a	3 250 ^a	0,034	3 200 ^{ab}
Långhem	10–30	2 820 ^{ab}	3 220 ^a	2 820 ^{ab}	2 370 ^b	0,003	2 800 ^c
Nyköping	0–30	1 720	1 700	1 620	1 650	0,452	1 670 ^d
Bjästa	0–30	1 720 ^b	1 530 ^b	2 320 ^a	2 370 ^a	0,002	1 980 ^d
Lövånger	0–30	3 580 ^{ab}	4 280 ^a	2 650 ^b	3 420 ^{ab}	0,011	3 480 ^a

Bilaga 3b

Medelvärden för trädslagparceller ($n = 4$, där varje n består av 20 sammanslagna borrhov). Medelvärden markerade med olika bokstäver är signifikant åtskilda ($p \leq 0,05$).

Lokal	Djup	Tot-N (mg kg ⁻¹ TS ⁻¹)						p-värde
		Trädslag						
		Gran	Hybridasp	Hybridlärk	Poppel	Vårtbjörk	Salix	
Svalöv	0–30	2 950	3 000	2 900	2 920	2 850	2 950	0,963
Långhem	0–10	3 030	3 130	3 200	3 280	3 280	3 280	0,675
Långhem	10–30	2 850	2 900	2 830	2 800	2 750	2 700	0,957
Nyköping	0–30	1 700	1 630	1 730	1 600	1 600	1 780	0,228
Bjästa	0–30	1 850	2 150	1 930	2 030	2 100	1 850	0,761
Lövånger	0–30	3 350	3 400	3 380	3 500	3 550	3 725	0,975

Bilaga 4

Markens C:N kvot

Bilaga 4a

Markens C:N kvot. Medelvärden för block 1–4 (n = 6, där varje n består av 20 sammanslagna borrhov) och för lokal (n = 24). Medelvärden markerade med olika bokstäver är signifikant åtskilda ($p \leq 0,05$).

Lokal	Djup	C:N Block				p-värde	Lokal $p < 0,0001$
		1	2	3	4		
Svalöv	0–30	11,4 ^b	11,8 ^{ab}	12,2 ^{ab}	12,5 ^a	0,048	12,0 ^c
Långhem	0–10	13,1 ^b	13,3 ^b	15,0 ^a	14,9 ^{ab}	<0,0001	14,1 ^b
Långhem	10–30	13,4 ^b	13,6 ^b	15,0 ^a	14,6 ^a	<0,0001	14,1 ^b
Nyköping	0–30	11,9	11,1	11,1	11,4	0,165	11,4 ^c
Bjästa	0–30	14,5 ^b	14,5 ^b	16,4 ^a	16,2 ^a	0,004	15,4 ^a
Lövånger	0–30	15,1	15,5	15,7	16,0	0,157	15,6 ^a

Bilaga 4b

Markens C:N kvot. Medelvärden för trädslagsparceller (n = 4, där varje n består av 20 sammanslagna borrhov). Medelvärden markerade med olika bokstäver är signifikant åtskilda ($p \leq 0,05$).

Lokal	Djup	C:N Trädslag					Salix	p-värde
		Gran	Hybridasp	Hybridlärk	Poppel	Vårtbjörk		
Svalöv	0–30	12,2	12,3	11,7	12,1	11,8	11,8	0,727
Långhem	0–10	14,3	14,0	14,1	14,2	13,8	14,0	0,793
Långhem	10–30	14,1	14,2	14,3	14,3	14,2	13,8	0,608
Nyköping	0–30	11,6	11,2	11,2	11,2	11,2	11,8	0,684
Bjästa	0–30	15,9	14,9	15,7	15,4	15,7	14,9	0,548
Lövånger	0–30	15,6	15,5	15,9	15,5	15,8	15,2	0,707

Bilaga 5

Markens halt av P-AL

Bilaga 5a

Medelvärden för block 1–4 ($n = 6$, där varje n består av 20 sammanslagna borrhov) och för lokal ($n = 24$). Medelvärden markerade med olika bokstäver är signifikant åtskilda ($p \leq 0,05$).

Lokal	Djup	P-AL (mg kg ⁻¹ TS ⁻¹)				p-värde	Lokal $p < 0,0001$
		Block					
		1	2	3	4		
Svalöv	0–30	77,5 ^a	50,7 ^b	50,0 ^b	45,5 ^b	<0,0001	55,9 ^c
Långhem	0–10	63,2 ^b	64,5 ^b	103 ^a	104 ^a	<0,0001	83,8 ^b
Långhem	10–30	58,3 ^b	62,2 ^b	80,3 ^a	85,7 ^a	0,0001	71,6 ^{bc}
Nyköping	0–30	45,3 ^b	56,2 ^{ab}	60,2 ^{ab}	89,7 ^a	0,011	62,8 ^c
Bjästa	0–30	58,3 ^b	56,0 ^b	62,7 ^{ab}	70,5 ^a	0,017	61,9 ^c
Lövånger	0–30	248 ^a	191 ^{ab}	166 ^b	198 ^{ab}	0,016	201 ^a

Bilaga 5b

Medelvärden för trädslagsparceller ($n = 4$, där varje n består av 20 sammanslagna borrhov). Medelvärden markerade med olika bokstäver är signifikant åtskilda ($p \leq 0,05$).

Lokal	Djup	P-AL (mg kg ⁻¹ TS ⁻¹)						p-värde
		Trädslag						
		Gran	Hybridasp	Hybridlärk	Poppel	Vårtbjörk	Salix	
Svalöv	0–30	59,8	56,3	51,0	55,0	53,0	60,5	0,084
Långhem	0–10	79,3	85,5	82,0	85,7	86,0	84,3	0,620
Långhem	10–30	73,0	73,5	67,5	72,8	72,8	70,2	0,918
Nyköping	0–30	65,8	67,8	69,3	54,5	59,5	60,3	0,899
Bjästa	0–30	59,0	62,8	59,5	66,5	57,5	66,0	0,399
Lövånger	0–30	223	188	176	216	198	203	0,591

Bilaga 6

Markens halt av K-AL

Bilaga 6a

Medelvärden för block 1–4 ($n = 6$, där varje n består av 20 sammanslagna borrhov) och för lokal ($n = 24$). Medelvärden markerade med olika bokstäver är signifikant åtskilda ($p \leq 0,05$).

Lokal	Djup	K-AL (mg kg ⁻¹ TS ⁻¹)				p-värde	Lokal $p < 0,0001$
		Block					
		1	2	3	4		
Svalöv	0–30	74,7	68,8	69,2	74,0	0,751	71,7 ^b
Långhem	0–10	85,2 ^b	90,0 ^b	150 ^a	134 ^a	<0,0001	114 ^a
Långhem	10–30	59,7	65,2	72,8	62,7	0,171	65,1 ^{bc}
Nyköping	0–30	114	125	116	138	0,208	123 ^a
Bjästa	0–30	62,0 ^a	49,5 ^b	59,7 ^{ab}	54,5 ^{ab}	0,026	56,4 ^c
Lövånger	0–30	73,8	70,5	74,5	75,7	0,895	73,6 ^b

Bilaga 6b

Medelvärden för trädslagsparceller ($n = 4$, där varje n består av 20 sammanslagna borrhov). Medelvärden markerade med olika bokstäver är signifikant åtskilda ($p \leq 0,05$).

Lokal	Djup	K-AL (mg kg ⁻¹ TS ⁻¹)						p-värde
		Trädslag						
		Gran	Hybridasp	Hybridlärk	Poppel	Vårtbjörk	Salix	
Svalöv	0–30	77,5	74,2	77,0	72,2	66,5	62,5	0,442
Långhem	0–10	116	112	111	114	117	118	0,981
Långhem	10–30	65,2	64,5	62,8	74,2	66,5	57,2	0,344
Nyköping	0–30	113	123	126	129	126	124	0,906
Bjästa	0–30	54,5	54,2	58,5	58,8	56,2	56,2	0,894
Lövånger	0–30	68,8	83,0	77,5	62,0	68,8	81,8	0,154

Bilaga 7

Markens halt av Mg-AL

Bilaga 7a

Medelvärden för block 1–4 ($n = 6$, där varje n består av 20 sammanslagna borrhov) och för lokal ($n = 24$). Medelvärden markerade med olika bokstäver är signifikant åtskilda ($p \leq 0,05$).

Lokal	Djup	Mg-AL (mg kg ⁻¹ TS ⁻¹)				<i>p</i> -värde	Lokal <i>p</i> < 0,0001
		Block					
		1	2	3	4		
Svalöv	0–30	38,2 ^a	25,2 ^b	30,2 ^{ab}	25,3 ^b	0,018	29,7 ^{cd}
Långhem	0–10	46,7	48,7	51,8	44,7	0,168	48,0 ^{bc}
Långhem	10–30	49,5 ^a	58,5 ^a	26,3 ^b	21,5 ^b	<0,0001	39,0 ^{bcd}
Nyköping	0–30	96,3	154	142	134	0,220	131 ^a
Bjästa	0–30	25,3	21,2	28,2	22,2	0,024	24,2 ^d
Lövånger	0–30	47,8	72,7	42,0	52,0	0,005	53,6 ^b

Bilaga 7b

Medelvärden för trädslagsparceller ($n = 4$, där varje n består av 20 sammanslagna borrhov). Medelvärden markerade med olika bokstäver är signifikant åtskilda ($p \leq 0,05$).

Lokal	Djup	Mg-AL (mg kg ⁻¹ TS ⁻¹)						<i>p</i> -värde
		Trädslag						
		Gran	Hybridasp	Hybridlärk	Poppel	Vårtbjörk	Salix	
Svalöv	0–30	27,0	29,5	30,2	28,2	29,5	33,8	0,823
Långhem	0–10	46,2	43,2	47,5	53,5	48,2	49,0	0,227
Långhem	10–30	40,2	37,0	39,5	37,8	41,0	38,2	0,968
Nyköping	0–30	113	133	111	170	156	104	0,322
Bjästa	0–30	22,5	25,0	24,8	23,5	25,0	24,5	0,918
Lövånger	0–30	59,5	45,5	52,2	51,8	57,8	55,0	0,686

Bilaga 8

Markens halt av Ca-AL

Bilaga 8a

Medelvärden för block 1–4 ($n = 6$, där varje n består av 20 sammanslagna borrhov) och för lokal ($n = 24$). Medelvärden markerade med olika bokstäver är signifikant åtskilda ($p \leq 0,05$).

Lokal	Djup	Ca-AL (mg kg ⁻¹ TS ⁻¹)				p-värde	Lokal $p < 0,0001$
		Block					
		1	2	3	4		
Svalöv	0–30	1 160	932	1 060	906	0,136	1 020 ^c
Långhem	0–10	1 070 ^b	1 160 ^b	1 470 ^a	1 320 ^{ab}	0,002	1 250 ^b
Långhem	10–30	1 110	1 230	1 260	1 106	0,110	1 180 ^{bc}
Nyköping	0–30	974 ^b	1 230 ^{ab}	1 320 ^a	1 280 ^a	0,008	1 200 ^b
Bjästa	0–30	597 ^b	592 ^b	976 ^a	778 ^a	0,002	736 ^d
Lövånger	0–30	1 550 ^{ab}	1 720 ^a	1 220 ^b	1 420 ^b	0,016	1 480 ^a

Bilaga 8b

Medelvärden för träslagsparcer (n = 4, där varje n består av 20 sammanslagna borrhov). Medelvärden markerade med olika bokstäver är signifikant åtskilda ($p \leq 0,05$).

Lokal	Djup	Ca-AL (mg kg ⁻¹ TS ⁻¹)						p-värde
		Träslag						
		Gran	Hybridasp	Hybridlärk	Poppel	Vårtbjörk	Salix	
Svalöv	0–30	941	972	1 040	1 010	1 020	1 120	0,837
Långhem	0–10	1 240	1 070	1 230	1 400	1 300	1 280	0,136
Långhem	10–30	1 190	1 080	1 170	1 270	1 200	1 170	0,449
Nyköping	0–30	1 120	1 270	1 220	1 280	1 300	1 030	0,184
Bjästa	0–30	639	692	790	814	777	702	0,593
Lövånger	0–30	1 570	1 360	1 370	1 520	1 440	1 600	0,588

Bilaga 9

Sammanfattning av statistikresultat

Sammanfattning av statistikresultat från analys av pH, Lt, TS-halt och växttillgänglig näring (Spurway-analys). Resultaten redovisas per lokal. För Långhem visas en uppdelning på två djupnivåer. Provtagningsdjupet anges i cm.

Lokal	Djup	Ämne	Art p-värde	Block p-värde	Kommentar
Svalöv	0-30	pH	0,8471	0,0614	
		TS	0,8035	0,0026	Block 1 ≠ 3 & 4
		Lt	0,8849	0,0007	Block 1 ≠ 2 & 3 & 4
		NO ₃ -N	0,3317	0,0523	
		NH ₄ -N	0,0917	0,0920	
		Cl	0,7749	0,2938	
		P	0,7921	0,0073	Block 1 ≠ 2 & 4
		K	0,3842	0,1790	
		Mg	0,8818	0,1868	
		Ca	0,8650	0,4683	
		S	0,7123	0,0096	Block 1 ≠ 2 & 3 & 4
		Na	0,4275	0,5733	
		Mn	0,2236	0,3983	
		B	0,9288	0,4893	

Lokal	Djup	Ämne	Art p-värde	Block p-värde	Kommentar
Långhem	0-10	pH	0,0561	0,0279	Block 2 ≠ 3
		TS	0,2605	<0,0001	Block 1 & 2 ≠ 3 & 4 och 3 ≠ 4
		Lt	0,2232	<0,0001	Block 1 & 2 ≠ 3 & 4 och 3 ≠ 4
		NO ₃ -N	0,7096	0,0435	Block 1 ≠ 3
		NH ₄ -N	0,1457	0,0022	Block 1 & 2 ≠ 3 och 1 ≠ 4
		Cl	0,2465	< 0,0001	Block 1 & 2 ≠ 3 & 4
		P	0,5301	0,0063	Block 1 & 2 ≠ 4
		K	0,9776	< 0,0001	Block 1 & 2 ≠ 3 & 4
		Mg	0,3918	< 0,0001	Block 1 & 2 ≠ 3 & 4
		Ca	0,1436	0,0404	Block 1 ≠ 3
		S	0,6735	0,0013	Block 1 ≠ 3 & 4 och 2 ≠ 3
		Na	0,1625	0,0006	Block 1 ≠ 3 & 4
		Mn	0,4414	0,0223	Block 1 ≠ 2
B	0,3158	0,0001	Block 1 & 2 ≠ 3 och 2 ≠ 4		
	10-30	pH	0,0264	0,4075	Ha (5.38) ≠ P (5.65) & Vb (5.63)
		TS	0,7167	0,0010	Block 2 ≠ 3
		Lt	0,3081	0,0134	Block 1 & 2 & 3 ≠ 4
		NO ₃ -N	0,2118	< 0,0001	Block 1 & 2 ≠ 3 & 4
		NH ₄ -N	0,8440	0,0370	Block 2 ≠ 3
		Cl	0,1487	0,0532	
		P	0,4058	0,0012	Block 1 ≠ 2 & 3 & 4
		K	0,2856	0,5923	
		Mg	0,9260	< 0,0001	Block 1 & 2 ≠ 3 & 4
		Ca	0,1185	0,0044	Block 1 ≠ 3 & 4
		S	0,1667	0,3552	
		Na	0,0415	0,0412	S (13.0) ≠ Vb (17.8), Block 1 ≠ 3
		Mn	0,8292	0,0021	Block 1 & 2 ≠ 3 & 4
		B	0,0503	0,0185	Block 1 ≠ 4

Lokal	Djup	Ämne	Art p-värde	Block p-värde	Kommentar
Nyköping	0-30	pH	0,4509	0,0380	Block 1 ≠ 4
		TS	0,9142	0,4522	
		Lt	0,4179	0,1236	
		NO ₃ -N	0,4972	0,0550	
		NH ₄ -N	0,5492	0,0597	
		Cl	0,6889	0,2421	
		P	0,6691	0,0379	Block 1 ≠ 4
		K	0,6840	0,1401	
		Mg	0,2701	0,1824	
		Ca	0,4133	0,1082	
		S	0,5646	0,2130	
		Na	0,7176	0,0386	Tukey's visade inga skillnader
		Mn	0,8949	0,0003	Block 1 ≠ 4
B	0,0285	0,1153			

Lokal	Djup	Ämne	Art p-värde	Block p-värde	Kommentar
Bjästa	0-30	pH	0,1764	0,0010	Block 1 & 2 ≠ 3
		TS	0,7965	0,0017	Block 1 & 2 ≠ 3
		Lt	0,2074	0,0720	
		NO ₃ -N	0,2867	0,0383	Block 1 ≠ 3
		NH ₄ -N	0,8574	0,2573	
		Cl	0,3309	0,2905	
		P	0,4713	0,0368	Block 1 ≠ 2
		K	0,1510	0,0343	Block 1 ≠ 2
		Mg	0,8308	0,1134	
		Ca	0,6226	0,0039	Block 1 ≠ 3 & 4 och 2 ≠ 3
		S	0,2767	0,4888	
		Na	0,2873	0,5951	
		Mn	0,4395	0,0159	Block 1 ≠ 3
		B	0,1033	0,1039	

Lokal	Djup	Ämne	Art p-värde	Block p-värde	Kommentar
Lövänger	0-30	pH	0,3989	0,3109	
		TS	0,5009	0,0111	Block 2 ≠ 3
		Lt	0,2056	0,0080	Block 1 ≠ 3 & 4
		NO ₃ -N	0,5675	0,2700	
		NH ₄ -N	0,3749	0,4015	
		Cl	0,2696	0,0549	
		P	0,2877	0,4221	
		K	0,2240	0,4504	
		Mg	0,0838	0,0078	Block 2 ≠ 3 & 4
		Ca	0,0868	0,0072	Block 1 ≠ 3 & 4
		S	0,1901	0,0024	Block 1 ≠ 2 & 3 & 4
		Na	0,0699	0,0187	Block 1 ≠ 3 & 4
		Mn	0,7275	0,0153	Block 2 ≠ 3
B	0,1154	< 0,0001	Block 1 ≠ 2 & 3 & 4		

Bilaga 10

Markens volymvikt

Bilaga 10a

Markens volymvikt (g cm^{-3}). Medelvärden för block 1–4 ($n = 6$, där varje n består av medelvärdet av tre delprov) och för lokal ($n = 24$, där varje n består av medelvärdet av tre delprov). Medelvärden markerade med olika bokstäver är signifikant åtskilda ($p \leq 0,05$).

Lokal	Djup	Volymvikt (g cm^{-3})				p-värde	Lokal $p < 0,0001$
		Block					
		1	2	3	4		
Svalöv	0 – 30	0,84	0,83	0,85	0,90	0,313	0,85 ^b
Långhem	0 – 30	0,98 ^a	0,92 ^{ab}	0,76 ^c	0,84 ^{bc}	0,000	0,88 ^b
Nyköping	0 – 30	1,11	1,02	1,02	1,04	0,339	1,05 ^a
Bjästa	0 – 30	1,17 ^a	1,14 ^{ab}	1,00 ^b	1,10 ^{ab}	0,020	1,10 ^a
Lövånger	0 – 30	0,87	0,89	0,95	0,91	0,713	0,91 ^b

Bilaga 10b

Markens volymvikt (g cm^{-3}). Medelvärden för trädslagsparceller ($n = 4$, varje n består av ett medelvärde av tre delprov). Medelvärden markerade med olika bokstäver och är signifikant åtskilda ($p \leq 0,05$).

Lokal	Djup	Volymvikt (g cm^{-3})						p-värde
		Trädslag						
		Gran	Hybridasp	Hybridlärk	Poppel	Vårtbjörk	Salix	
Svalöv	0–30	0,85	0,85	0,89	0,83	0,83	0,87	0,847
Långhem	0–30	0,88	0,90	0,86	0,84	0,92	0,83	0,469
Nyköping	0–30	0,99	1,08	1,07	1,09	1,10	0,96	0,263
Bjästa	0–30	1,17	1,09	1,07	1,08	1,09	1,11	0,616
Lövånger	0–30	0,94	0,92	0,83	0,92	0,87	0,95	0,644

Arbetsrapporter från Skogforsk fr.o.m. 2009

År 2009	
Nr 669	Almqvist, C., Eriksson, M. & Gregorsson, B. 2009. Cost functions for variable costs of different Scots pine breeding strategies in Sweden. 12 s.
Nr 670	Andersson, M. & Eriksson, B. 2009. HANDDATORER MED GPS. För användning vid röjningsplanläggning och röjning. 25 s.
Nr 671	Stener, L.G. 2009. Study of survival, growth, external quality and phenology in a beech provenance trial in Rånna, Sweden. 12 s.
Nr 672	Lindgren, D. 2009. Number of pollen in polycross mixtures and mating partners for full sibs for breeding value estimation. 15 s.
Nr 673	Bergkvist, I. 2009. Integrerad avverkning av grotbuntar. 21 s.
Nr 674	Rosvall, O. 2009. Kompletterande strategier för det svenska förädlingsprogrammet. 26 s.
Nr 675	Arlinger, J., Barth, A. & Sonesson, J. 2009. Förstudie om informationsstandard för stående skog. 21 s.
Nr 676	Nordström, M. & Möller J. J. 2009. Den skogliga digitala kedjan – Fas 1. 38 s.
Nr 677	Möller J.J., Hannrup, B., Larsson, W., Barth, A. & Arlinger, J. 2009. Ett system för beräkning och geografisk visualisering av avverkade kvantiteter skogsbränsle baserat på skördardata. 36 s.
Nr 678	Enström, J. & Winberg, P. 2009. Systemtransporter av skogsbränsle på järnväg. 27 s.
Nr 679	Iwarsson Wide, M. & Belbo, H. 2009. Jämförande studie av olika tekniker för skogsbränsleuttag. – Skogsbränsleuttag med Naarva-Gripen 1500-40E, Bracke C16.A och LogMax 4000, Mellanskog, Färila. 43 s.
Nr 680	Iwarsson Wide, M. 2009. Jämförande studie av olika metoder för skogsbränsleuttag. Metodstudie – uttag av massaved, helträd, kombinerat uttag samt knäckkvistning i talldominerat bestånd, Sveaskog, Askersund. 25 s.
Nr 681	Iwarsson Wide, M. 2009. Teknik och metod Ponsse EH25. – Trädbränsleuttag med Ponsse EH25 i kraftledningsgata. 14.
Nr 682	Iwarsson Wide, M. 2009. Skogsbränsleuttag med Bracke C16. – Bränsleuttag med Bracke C16 i tall respektive barrblandskog. 14 s.
Nr 683	Thorsén, Å. & Tosterud, A. 2009. Mer effektiv implementering av FoU-resultat. – En intervjuundersökning bland Skogforsks intresenter. 58 s.
Nr 684	Rytter, L., Hannerz, M., Ring, E., Högbom, L. & Weslien, J.-O. 2009. Ökad produktion i Svenska kyrkans skogar – Med hänsyn till miljö och sociala värden. 94 s.
Nr 685	Bergkvist, I. 2009. Skördarstorlek och metod i förstagallring av tall och gran – studier av prestation och kvalitet i förstagallring. 29 s.
Nr 686	Englund, M. 2009. Röststyrning av aggregatet på en engreppsskördare – En Wizard of Oz-studie. 32 s.
Nr 687	Lindgren, D. 2009. Polymix breeding with selection forwards. 14 s.
Nr 688	Eliasson, L., Nordén, B. 2009. Fyra olika studier med A-gripen. 31 s.
Nr 689	Larsson, F. 2009. Skogsmaskinföretagarnas kundrelationer, lönsamhet och produktivitet. Under bearbetning. 44 s.
Nr 690	Jönsson, P., Löfroth, C. & Englund, M. 2009. Förarstol för stående arbetsställning – en pilotstudie. 12 s.
Nr 691	Brunberg, T., Lundström, H. & Thor, M. 2009. Gallringsstudier hos SCA vintern och sommaren 2009. 26 s.
Nr 692	Eliasson, L. & Johannesson, T. 2009. Underväxtens påverkan på bränsleanpassad slutavverkning – Studie från avverkning hos Sca Skog AB. 11 s.
Nr 693	Nordén, B. & Eliasson, L. 2009. En jämförelse av ett Hugglinksystem med en traktormonterad flihhugg vid flisning på avlägg. 9 s.
Nr 694	Hannrup, B. et al., 2009. Utvärdering av ett system för beräkning och geografisk visualisering av avverkade kvantiteter skogsbränsle. 42 s.
Nr 695	Iwarsson Wide, M. 2009. Skogsbränsleuttag i vägkanter. Prestationsstudie – uttag av Skogsbränsle i vägkant med BRACKE C16. 14 s.
Nr 696	Iwarsson Wide, M. 2009. Skogsbränsleuttag i vägkanter. Prestationsstudie – uttag av Skogsbränsle i vägkant med ponsse dual med EH 25. 15 s.

Nr 697	Almqvist, C. & Wennström, U. 2009. Granfröplantageskötselresa 2009-08-31–200-09-03. Noter från besök i respektive plantage. 22 s.
Nr 698	Wilhelmsson, L. m.fl. 2009. D3.1 Initial analysis of drivers and barriers. 41 s.
Nr 699	Wilhelmsson, L. m.fl. 2009. D3.2 Existing models and model gap analyses for wood properties. 54 s.
År 2010	
Nr 700	Hannerz, M. & Cedergren, J. 2010. Attityder och kunskapsbehov – förädlad skogsodlingsmaterial. 56 s.
Nr 701	Rytter, R.M. 2010. Detektion av röta i bokved – resultat av måthöjd, riktning och tidpunkt. 10 s.
Nr 702	Rosvall, O. & Lindström, A. 2010. Förädlings effekter i Sveriges skogar - kompletterande scenarier till SKA-VB 08. 31 s.
Nr 703	von Hofsten, H. 2010. Skörd av stubbar – nuläge och utvecklingsbehov. 18 s.
Nr 704	Karlsson, O. & Nisserud, F. 2010. Utveckling av en dynamisk helfordonsmodell för skotare. 73 s.
Nr 705	Eliasson, L. & Johannesson, T. 2010. Förröjningens påverkan på grotskotning – En studie av produktivitet, ekonomi, grotkvalitet hos SCA skog. 9 s.
Nr 706	Rytter, L. & Stener L.G. 2010. Uthållig produktion av hybridasp efter skörd – Slutrapport 2010 för Energimyndighetens projekt 30346. 23 s.
Nr 707	Bergkvist, I. 2010. Utvärdering av radförbandsförsök anlagda mellan 1982-1984. 16 s.
Nr 708	Hannrup, B. & Jönsson, P. 2010. Utvärdering av sågmotorn F11-iP med avseende på uppkomsten av kapsprickor – en jämförande studie. 28 s.
Nr 709	Iwarsson Wide, M., Belbo, H. 2010. Jämförande studie av olika tekniker för skogsbränsleuttag i mycket klen skog Skogsbränsleuttag med Naarva-Gripen 1500-40E och Log Max 4000, Mellanskog, Simeå 28 s.
Nr 710	Englund, M., Löfroth, C. & Jönsson, P. 2010. Inblandning av rött ljus i LED-lampor – Laboratoriestudier av hur människor uppfattar tre olika ljusblandningar. 7 s.
Nr 711	Mullin, T.J., Hallander, J., Rosvall, O. & Andersson, B. 2010. Using simulation to optimise tree breeding programmes in Europe: an introduction to POPSIM™. 28 s.
Nr 712	Jönsson, P. 2010. Hydrauliskt dämpad hytt – ett lyft för arbetsmiljön? 14 s.
Nr 713	Eriksson, B. & Sonesson, J. 2010. Tredje generationen skogsbruksplaner – Slutrapport DElproj 4 – Arbetsgång vid planläggning. 23 s.
Nr 714	Sonesson, J. 2010. Nya arbets sätt i skogsbruksplanläggning. 20 s.
Nr 715	Eliasson, L. 2010. Huggbilar med lastväxlarsystem. 13 s.
Nr 716	Eliasson, L. & Granlund P. 2010. Krossning av skogsbränsle med en stor kross – En studie av CBI 8400 hos Skellefteå Kraft. 6 s.
Nr 717	Stener, L.G. 2010. Tillväxt, vitalitet och densitet för kloner av hybridasp och poppel i sydsvenska försök. 46 s.
Nr 718	Palmquist, C. & Sandberg, J. & Vibrationskomfort och ergonomi på förarstolar i skotare. 98 s.
Nr 719	Thor, M. 2010. Avverkning och hantering av virke och avverkningsrester vid angrepp av tallvedsnematoder i svensk skog. 42 s.
Nr 720	Fogdestam, N. 2010. Studier av Biotassu Griptilt S35 i gallring. 11 s.
Nr 721	Brunberg, T. 2010. Bränsleförbrukningen i skogsbruket. 12 s.
Nr 722	Brunberg, T. 2010. Rätt begrepp. 25 s.
Nr 723	Löfroth, C. & Svenson, G. 2010. ETT – modulsystem för skogstransporter – Delrapport för de två första åren. 130 s.
Nr 724	Rytter, L. & Lundmark, T. 2010. Slutrapport för Energimyndighetens projekt 30658. Trädslagsförsök med inriktning på massaproduktion. – Tree species trial with emphasis on biomass production. 24 s.
Nr 725	Rytter, R.M. & Högbom, L. 2010. Slutrapport för Energimyndighetens Projekt 30659. Markkemi och fastläggning av C och N i produktionsinriktade bestånd med snabbväxande trädslag – Soil chemistry and C and N sequestration in plantations with fast-growing tree species. 64 s.

Nr 726	Brunberg, T., Eliasson, L. & Lundström, H. 2010. Skotning av färsk och hyggestorkad grot. 15 s.
--------	---