



# Arbetsrapport

Från Skogforsk nr. 883–2015

## Markkemi och fastläggning av C och N i bestånd med snabbväxande trädslag – Etapp 2 Slutrapport till Energimyndigheten 2015

Soil chemistry and C and N sequestration  
in plantations with fast-growing tree species  
– Phase 2 Final report to The Swedish Energy Agency 2015

Lars Högbom och Rose-Marie Rytter

# Arbetsrapport

Från Skogforsk nr. 883-2015

I serien Arbetsrapport finns bakgrundsmaterial, metodbeskrivningar, resultat, analyser och slutsatser från både pågående och avslutad forskning.

## Titel:

Markkemi och fastläggning av C och N i bestånd med snabbväxande trädslag – Etapp 2 Slutrapport till Energimyndigheten 2015.

Soil chemistry and C and N sequestration in plantations with fast-growing tree species – Phase 2 Final report to The Swedish Energy Agency 2015.

## Bildtext:

Markprovtagning.

## Ämnesord:

Biobränsle, Jordbruksmark, Kolinlagring, Markkemi, Snabbväxande trädslag, Trädplantager, Trädslagsförsök, Återbeskogning.  
Biofuel, farmland, arable land, carbon sequestration, soil chemistry, fast-growing tree species, plantations, tree species experiments, afforestation.

## Redigering och formgivning:

Ingegerd Hallberg

© Skogforsk 2015

ISSN 1404-305X



**SKOGFORSK**

Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala

Tel: 018-18 85 00 Fax: 018-18 86 00

skogforsk@skogforsk.se

skogforsk.se



**Lars Högbom**, docent i Skoglig marklära.

Anställd på Skogforsk sedan 1999. Forskar om miljöeffekter av skogsbruk.



**Rose-Marie Rytter**, Fil.Dr. i ämnet Ekologi och

Miljövård, inriktning Skoglig Intensivodling.

Forskningskonsult och egen företagare.

## Abstract

Fuel from fast-growing tree plantations may contribute to a sustainable energy supply, and abandoned farmland could be used. Six fast-growing tree species – hybrid aspen, hybrid/Siberian larch, Norway spruce, poplar, silver birch and willow – were planted in replicated experiments on five former arable sites in Sweden. The main objectives of the study were to quantify effects of afforestation on soil properties and sequestration of carbon (C) and nitrogen (N) in biomass and soil in these plantations.

For all the species, five years afforestation had common effects on soil. There were some differences between species, but these were rare and without distinct patterns. Concentrations and pools of soil organic C generally decreased, but including litter C in the estimates resulted in increased or unchanged C pools compared to pre-planting conditions. Total N pools increased and C/N ratios decreased. Pools of plant-available phosphorus (P) decreased. Concentrations of potassium (K) and magnesium (Mg) increased in the upper 10 cm of soil and decreased at lower layers, indicating redistribution of those nutrients by plant uptake and recycling through decay. Soil pools of calcium (Ca) were unchanged. Minor decreases in pH and conductivity were observed.

Total standing C stocks, i.e. C stored in woody biomass above and below ground, fine roots, litter and mineral soil, were estimated for willows. Overall, the willow plantations represented a C sink after five years growth on arable land. Total standing C stocks increased by an average of 15%. After removal of stem biomass, C in other plant pools was sufficient to compensate for the soil C decrease. The importance of understory litter in C budgets for young plantations was clear, as it comprised 24–80% of aboveground litter C.

## Innehåll

Summary .....	2
Sammanfattning.....	3
Bakgrund .....	4
Syfte.....	5
Lokaler, trädslag och försöksdesign .....	6
Provtagning och analys .....	7
Resultat och diskussion .....	8
Etapp 1 – Före plantering .....	8
Etapp 2 – Efter fem års tillväxt .....	8
Volymvikt, relativ grus- och stenvolym.....	9
Koncentrationer av näringsämnen i mineraljorden, C/N-kvot, pH och ledningstal .....	10
Näringsförråd .....	15
C-inlagring i <i>Salix</i> -bestånden.....	17
Måluppfyllelse och redovisning .....	17
Referenser.....	18

## Summary

Fast-growing tree species are of interest as producers of biomass for various purposes, including wood biomass for fuel. Biofuels from fast-growing tree plantations may contribute to a sustainable energy supply and allow fossil fuels to be gradually phased out. Large areas of abandoned farmland in Sweden could be replanted with different energy crops and tree species in the future. Little research has been conducted into the effects of afforestation on soil properties, and greater knowledge is needed about the impact of various tree species on soil chemical variables, regarding productivity and climate change.

Long-term experiments with different tree species were set up on abandoned farmland at five sites from north to south in Sweden. Six fast-growing species (hybrid aspen, hybrid/Siberian larch, Norway spruce, poplar, silver birch, willow) were planted on each site in a randomised complete block design with four replications. The main objectives of the study were to (i) quantify afforestation effects on soil properties, and (ii) estimate sequestration of carbon (C) and nitrogen (N) in biomass and soil in those plantations.

The mineral soil was sampled before the trees were planted in 2009 (phase 1). Two soil depth levels (0–10, 10–30 cm) were analysed for pH, conductivity, total carbon (Tot C) content, total nitrogen (Tot N) content, plant-available concentrations and pools of phosphorus (P), base cations (K, Ca, Mg), and other plant-available nutrients (NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, S, Cl, Na, Mn, B). Bulk densities and contents of gravel and stones in the upper 30 cm soil were estimated. The mineral soil was sampled and the above variables analysed after five growing seasons (2013, phase 2). Randomly distributed samples of aboveground litter were collected and analysed for C content.

For all species, five years afforestation had largely common effects on soil. There were some differences between species, but these were rare and without distinct patterns. Soil carbon (Tot C) concentrations were generally unchanged in the 0–10 cm soil depth, but decreased by an average of 7% in the 10–30 cm soil depth. Total C pools (Mg ha<sup>-1</sup>, 0–30 cm) in the mineral soil decreased on the southern sites, but remained unchanged on the northern sites. The inclusion of litter C in those estimates resulted in increased or unchanged soil C pools compared to pre-planting conditions. Total N concentrations increased by an average of 13% in the 0–10 cm soil depth and total N pools increased by a maximum of 0.9 Mg ha<sup>-1</sup>. The C/N ratios decreased from 12.0 – 15.5 to 10.4 – 14.3, suggesting that N was not immobilised to any significant degree. However, these results need to be followed up, since low ratios an increased risk of N leaching.

Concentrations and pools of plant-available P decreased, probably due to uptake by growing vegetation. Concentrations of potassium (K) and magnesium (Mg) increased in the upper 10 cm of soil and decreased in the lower soil layers, indicating redistribution of those nutrients by plant uptake and recycling through decomposition. Changes in soil pools of K and Mg varied among sites. Concentrations and pools of calcium (Ca) were unchanged. Sodium (Na) concentrations decreased, probably because the ion is easily leached. Sulphur (S) concentrations increased or decreased on individual sites, and changes of micro-nutrient concentrations were variable. Decreases in pH were observed, but those were small (approximately 0.1 units). Conductivity decreased, which indicated increased ion uptake by the vegetation, but leaching to the soil solution cannot be excluded.

Total standing C stocks, i.e. C stored in woody biomass above and below ground, fine roots, litter and mineral soil, were estimated for willows. Overall, the willow plantations represented a C sink after five years growth on arable land. The standing C stocks increased by an average of 15%. After removal of stem biomass, C in other plant pools was sufficient to compensate for the soil C decrease. The importance of understory litter in C budgets for young plantations was clear, as it comprised 24–80% of aboveground litter C.

## Sammanfattning

Snabbväxande trädslag är i dag av intresse som producenter av biomassa för olika syften, däribland för energiändamål. Biobränslen från snabbväxande trädplantager kan bidra till ett uthålligt energisystem där fossila bränslen successivt fasas ut. I Sverige finns betydande arealer nedlagd åkermark som är möjliga att återplantera med olika energigrödor och trädslag framöver. Effekter av återplantering av skog på åkermark är hittills sparsamt studerade och det finns behov av ökad kunskap om olika trädslags inverkan på markkemiska variabler, relaterat till produktion och klimat. För att söka svar på frågor rörande olika trädslags produktionsförmåga och markpåverkan etablerades långsiktiga trädslagsförsök på åkermark på fem lokaler från norr till söder i Sverige. På varje lokal planterades sex snabbväxande trädslag (gran, hybridasp, hybrid/sibirisk lärk, poppel, vårtbjörk, *Salix*) i randomiserad blockdesign med fyra upprepningar. Markprojektets övergripande syfte är att upprepat och långsiktigt följa och dokumentera (i) förändringar i markkemiska variabler, samt (ii) fastläggning av kol (C) och kväve (N) i biomassa och mark i dessa plantager.

Under 2009 (Ettapp 1) togs prov av mineraljorden på två djupnivåer (0–10 cm, 10–30 cm) före plantering av de olika trädslagen. Mineraljorden analyserades med avseende på pH, ledningstal, totalt kolinnehåll (Tot C), totalt kväveinnehåll (Tot N), växttillgängliga förråd av fosfor (P) och baskatjoner (K, Ca, Mg), samt övrig växttillgänglig näring (NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, S, Cl, Na, Mn, B). Jordens volymvikt och markens volym av grus och sten bestämdes. En ny provtagning av mineraljorden och analys av samtliga ovanstående variabler genomfördes efter fem års tillväxt (2013, Ettapp 2). Arealbestämda prov av förnaskiktet samlades in och analyserades med avseende på C-innehåll.

De förändringar som ägt rum i marken sedan Etapp 1 omfattade huvudsakligen hela lokaler. Skillnader mellan trädslag förekom, men dessa trädslagseffekter var sällsynta och uppvisade inget tydligt mönster. Efter fem års tillväxt var koncentrationerna av Tot C i mineraljorden generellt sett oförändrade i skiktet 0–10 cm, men en minskning med i genomsnitt 7 % noterades i skiktet 10–30 cm. Förråden av Tot C (Mg ha<sup>-1</sup> till 30 cm djup) minskade generellt i försöket. När C i förna och markens grövre organiska material inkluderades ökade förråd eller förblev oförändrade, jämfört med före plantering. Tot N-koncentrationen ökade med i genomsnitt 13 % i det övre markskiktet. Förråden av Tot N ökade med upp till 0,9 Mg ha<sup>-1</sup> och C/N-kvoten minskade från 12,0 – 15,6 till 10,4 – 14,3. Detta tyder på att N inte blivit immobiliserat i någon högre grad. Den lägsta C/N-kvoten bör emellertid följas upp, då kvoter under 10 ökar risken för N-läckage. Koncentrationer och förråd av P minskade, sannolikt beroende på upptag i växande vegetation. Koncentrationer av kalium (K) och magnesium (Mg) ökade i det övre markskiktet och minskade i det lägre, vilket tyder på en omfördelning av dessa joner i marken. Förråden av K och Mg utvecklades olika på de olika lokalerna. Koncentrationer och förråd av kalcium (Ca) var oförändrade. Natriumkoncentrationen (Na) minskade, sannolikt ett resultat av att jonen lätt urlakas. Svavelkoncentrationen (S) ökade eller minskade på enskilda lokaler, men förblev oförändrad totalt sett i försöket. Mikronäringsämnenas koncentrationer visade på varierande utveckling. Efter fem år hade pH sjunkit generellt i försöket. Det rörde sig emellertid om små förändringar på omkring 0,1 enheter. Även ledningstalet minskade, vilket tyder på ett ökat upptag av joner i vegetationen, men eventuellt näringsläckage till markvattnet kan inte uteslutas.

*Salix*-bestånden avverkades och stambiomassan bestämdes under Etapp 2. En beräkning av C-fastläggningen i biomassa och mark i 5-åriga bestånd med *Salix* visade att det totala C-förrådet ökat med 15 % i genomsnitt. Markens förråd av C minskade endast i Svalöv, men minskningen kompenseras av det C som inlagrats vedbiomassan. Efter avverkning utgjorde andelen C i kvarvarande stubbar, stolar och grovrötter ca 20 % av stamandelen, vilket var tillräckligt för att kompensera för minskningen i marken. Markvegetationen bidrog med 24–80 % av den totala förnan i de unga *Salix*-bestånden.

## Bakgrund

I Sverige finns omkring 300 000–500 000 ha nedlagd åkermark som kan komma till användning vid odling av olika grödor och trädslag för framtida energiändamål (Anon. 2006; Larsson m.fl., 2009). Den förändrade markanvändning som återbeskogning av åkermark innebär, leder sannolikt till förändringar i näringskretsloppen. Exempelvis har ökade flöden av löst organiskt C och N uppmätts i markvattnet i skogsplanteringar på tidigare åkermark (Rosenqvist m.fl., 2010). I högproducerande trädplantager med kort omloppstid och upprepade uttag av biomassa blir markens förmåga att recirkulera växtnäring viktig. En näringsbrist kan uppstå snabbt och leda till begränsad tillväxt. Både ur produktions- och miljösynpunkt är det därför viktigt att upprepat och långsiktigt följa utvecklingen av markens kemiska och fysikaliska egenskaper. Rekommendationer för askåterföring, kalkning eller N-gödsling kan därefter ges i god tid.



Hur olika trädslag påverkar markkemin är en fråga som länge diskuterats inom markvetenskapen (Binkley, 1995; Nordén, 1994; Augusto m.fl., 2002; Vesterdal m.fl., 2008). Generaliseringar har emellertid varit svåra att göra på grund av stora variationer mellan bestånd samt att det finns för få eller inga upprepningar. Ytterligare studier i försök med replikerad design behövs som kan öka vår kunskap om trädslagsspecifik inverkan på näringsförrådets storlek och fördelningen av näringsämnen i markprofilen, kopplat till klimat och produktion. Kunskap om skillnader mellan arter skulle exempelvis kunna användas till att uppnå specifika miljömål (Oostra m.fl., 2006).

En betydande del av de årliga antropogena utsläppen av växthusgaser, uppskattningsvis 12–25 %, orsakas av global avskogning (IPCC, 2007). Ökade skogsarealer medför därför positiva klimateffekter genom en ökad inbindning av C i biomassa och mark. Återbeskogning av tidigare åkermark ses som en viktig kolsänka ur ett Europeiskt perspektiv (Powlson m.fl., 1998). Snabbväxande plantager med *Salix* och *Populus* på tidigare åkermark i Sverige beräknades ha en potential att årligen binda in 3,5 – 4,0 Mg C ha<sup>-1</sup> i vedbiomassa, ovan och under jord, och 0,4 – 0,5 Mg C ha<sup>-1</sup> i marken, under en 20-årsperiod (Rytter, 2012a). Om 400 000 ha överbliven åkermark i Sverige återbeskogades med *Salix* och *Populus*, skulle den årliga fastläggningen av C därmed motsvara närmare en tiondel av landets årliga antropogena utsläpp. Studier av C-inlagring som omfattar både biomassa och mark vid återbeskogning av åkermark är emellertid få och ytterligare studier behövs som behandlar samband mellan C-inlagring i marken, trädslag och beståndsålder (Vesterdal m.fl., 2006). Hastigheten med vilken inlagring sker är också sparsamt studerad. Man har antagit att en återbeskogad yta blir en nettoupplagringsplats för C inom ca 10 år – men detta har inte visats empiriskt för flertalet skogstyper (Fredeen m.fl., 2007).

För att finna svar på frågor avseende olika trädslags produktionsförmåga, inverkan på markegenskaper, samt potential för C- och N-fastläggning etablerades långsiktiga trädslagsförsök med inriktning på biomassaproduktion på bördig åkermark (Rytter & Lundmark, 2010). Inledande provtagningar och analys mineraljorden gjordes före plantering (Rytter & Högbom, 2010). Markens grus- och stenvolymer bestämdes på alla lokaler. En ny markprovtagning har nu genomförts efter fem års tillväxt. Förutom mineraljord har även förnaprov insamlats.

## Syfte

Projektets övergripande syfte är att följa och dokumentera (i) förändringar i markkemi och (ii) fastläggning av C och N i biobränsleplantager med snabbväxande trädslag (Rytter & Lundmark, 2014). Försöket är replikerat och planterat på tidigare åkermark på olika latituder i Sverige. Projektet avser att ge information om:

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

## LOKALER, TRÄDSLAG OCH FÖRSÖKSDESIGN

Trädslagsförsöket etablerades 2009 på fem försökslokaler från Västerbotten i norr till Skåne i söder (Tabell 1). Varje lokal planterades med sex olika snabbväxande trädslag. Det bästa tillgängliga odlingsmaterialet för respektive latitud har använts. Försöket är ogrödslat och ej bevattnat. Kemisk ogräskontroll gjordes 2008 och 2009. Därefter har ogräsbekämpning utförts vid behov. Utförlig information om försökslokaler, trädslag, skötsel och tillväxt finns i slutrapport till Energimyndigheten från projekt 30658 (2014), samt publicerat i en rapportserie från Skogforsk (Rytter & Lundmark, 2014). Följande arter och hybrider ingår:

- (1) Hybridasp (*Populus tremula* × *P. tremuloides*).
- (2) Poppel (*Populus trichocarpa* m.fl.).
- (3) Vårtbjörk (*Betula pendula*).
- (4) Gran (*Picea abies*).
- (5) Lärk (sibirisk lärk, *Larix sukaczewii* i norr och hybridlärk, *L. × eurolepis* i söder).
- (6) *Salix* (klon Gudrun i norr och klon Tora i söder).

Försöksdesignen är replikerade block med fyra upprepningar av varje trädslag per lokal (Tabell 1). Blocken har placerats ut med hänsyn till variation i terräng och väderstreck. Trädslagsparcellernas storlek är 40 × 40 m och trädslagen har fördelats slumpmässigt på parcellerna inom respektive block. Kartor över lokalerna finns i Rytter & Lundmark (2010; 2014) och Rytter & Högbom (2010).

Tabell 1.  
Försökslokaler, geografisk placering, trädslag, försöksdesign och omfattning.

Lokal	Latitud	Longitud	Trädslag samtliga lokaler	Upprepning per lokal och trädslag	Antal ytor per trädslag
Västerbotten, Lövsånger, Västanbyn	64°20'N	21°14'O	Hybridasp	4	20
Ångermanland, Bjästa, Norrsvedje	63°12'N	18°29'O	Poppel	4	20
Södermanland, Nyköping, Åkersta	58°44'N	16°47'O	Vårtbjörk	4	20
Västergötland, Långhem, Rådde	57°37'N	13°15'O	Gran	4	20
Skåne, Svalöv, Gryttinge	55°56'N	13°12'O	Lärk	4	20
			<i>Salix</i>	4	20
∑ 5			∑ 6	∑ 24	∑ 120



## PROVTAGNING OCH ANALYS

Under hösten 2013 provtogs mineraljord och förna på samtliga lokaler. I Nyköping, som delvis omplanterats efter ett omfattande angrepp av sork 2010 och 2011, provtogs endast parcellerna med *Salix*. Prover togs på en central nettoyta (30 × 30 m) inom varje trädslagsparcell. Provtagningsdjupet var ca 30 cm till plogbotten där plogsulan börjar. Vid provtagningarna användes en jordborr med 20 mm inre diameter, 30 cm längd och med volymen 94,25 cm<sup>3</sup>. På varje trädslagsyta togs 20 borrhoprover som slogs samman till två prover per djupnivå, 0–10 cm och 10–30 cm inför analys. Ytterligare tre borrhoprover till 30 cm djup insamlades på varje parcell för bestämning av finjordens volymvikt (partikelstorlek <2 mm), grusvolym (2–20 mm) samt innehåll av grövre organiskt material (2–20 mm). Samtliga jordprover siktades (håldiameter 2 mm). Proverna torkades vid 70°C till konstant vikt. Torrsvikt bestämdes för finjord, grus och organiskt material. Ledningstal (Lt), pH, torrsbstans (TS) och näringsämnen analyserades i jordfraktionen <2 mm (Tabell 2). En utförlig beskrivning av analysmetoder och utrustning finns i rapporten från Etapp 1 (Rytter & Högbom, 2010).

Förnaprov, (blad eller barr från träd samt markvegetation), insamlades med en 0,2 m × 0,2 m ram som placerades ut slumpmässigt inom nettoytan på varje trädslagsparcell. Fyra prover togs per parcell (Tabell 2). En skarp kniv användes till att skära längs ramens inre kant. Förnan inom ramen torkades vid 70°C och torrvikten bestämdes. De fyra proverna slogs samman till ett prov per parcell och efter homogenisering analyserades totalt C-innehåll (Tot C) genom torrförbränning i en elementaranalysator vid 1100°C (LECO TruMav, LECO UK – Hazel Grove, Stockport).

Tabell 2.  
Analyserade variabler i mineraljord och förna.

Markfraktion	Djup cm	Antal prov	Analyserade variabler På båda nivåerna i mineraljorden
Mineraljord	0–10	100*	Kemiska & fysikaliska analyser: pH (H <sub>2</sub> O), Lt, TS, Totalanalys: Tot C, Tot N, C/N.
	10–30	100*	Växttillgängligt förråd i marken: P-AL, K-AL, Mg-AL, Ca-AL (extraherat med ammoniumlaktat).
			Växttillgängligt: NH <sub>4</sub> -N, NO <sub>3</sub> -N, P, K, Mg, Ca, S, Cl, Na, Mn, B (extraherat med HAc).
Förna	Markytan	100**	Totalanalys: Tot C.
		Σ300	

\* Varje prov bestod av 20 delprov. \*\*Varje prov bestod av fyra delprov.

# Resultat och diskussion

## ETAPP 1 – FÖRE PLANTERING

Resultaten från markstudiernas första Etapp, finns redovisade i slutrapporten till Energimyndigheten 2010 och i Skogforsks rapportserie (Rytter & Högbom, 2010). En kort sammanfattning av startläget, d.v.s. från före plantering ges här. Analysresultaten från Etapp 1 visade, att åkermarken på försökslokalerna förhöll sig som åkermark i Sverige i allmänhet, med avseende på pH och näringsinnehåll, jämfört med en omfattande studie av tillståndet i svensk åkermark (Eriksson m fl., 1997; 2010). Resultaten från markstudierna kan därmed bli generaliserbara för svenska förhållanden. Förutom skillnader mellan lokaler, avseende de analyserade variablerna (Tabell 2), förekom variationer inom en och samma lokal. Dessa variationer fångades upp av försöksdesignen och de olika trädslagsparcellerna skilde sig inte statistiskt åt för merparten av de analyserade variablerna. Detta gav ett homogent utgångsläge för jämförelser mellan de olika trädslagen framöver.

Markens grus- och stenvolym bestämdes på samtliga lokaler och räknades bort vid beräkning av näringsförråd per ha och ner till 30 cm markdjup, d.v.s. i matjordsskiktet. Betydelsen av att inkludera volymerna av grus och sten vid en areell uppskalning av näringsförråden i åkermark visades i en delstudie. Små volymer (<10 %) av grus och sten som inte räknades bort från den totala markvolymen orsakade överskattningar av C- och N-förråden i åkermarken med 8–9 % (Rytter, 2012b). Kolförråden i matjorden på försökslokalerna varierade mellan 60 och 150 Mg ha<sup>-1</sup> och N-förråden mellan 5,1 och 9,5 Mg ha<sup>-1</sup>, efter borträknade grus- och stenvolymer. Startvärden för övriga näringsämnen från före plantering finns sammanfattade i Rytter & Högbom (2010).

I samband med provtagning av mineraljorden under Etapp 1 gjordes analys av ursprungsmaterial och textur (Tabell 3). I norr återfinns postglaciala mjällorer och i söder moränleror med glacialt ursprung.

Tabell 3.  
Mineraljordens ursprung och textur (0–30 cm, från Rytter, 2012b).

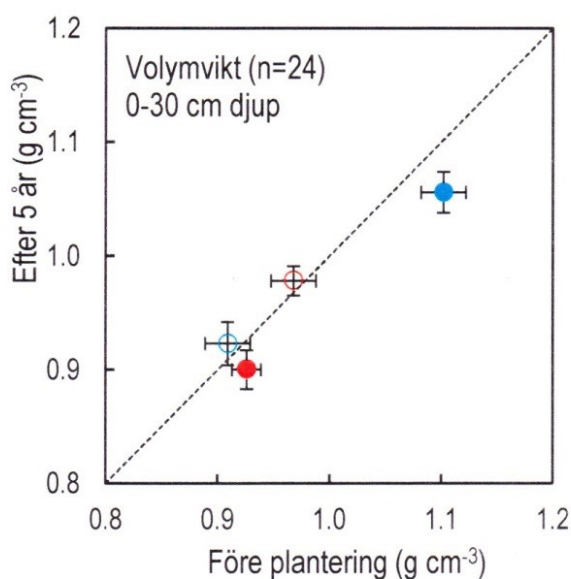
Lokal	Sediment	Ursprung	Texturklass	
			Svensk*nomenklatur	International**nomenclature
Lövånger	Sorterat	Postglacial	Lerigmjåla	Silt loam
Bjästa	Sorterat	Postglacial	Lerigmjåla	Silt loam
Nyköping	Osorterat	Glacial	Mellanlera	Clay loam
Långhem	Osorterat	Glacial	Lättlera	Loam
Svalöv	Osorterat	Glacial	Styvlara	Silty clay

## ETAPP 2 – EFTER FEM ÅRS TILLVÄXT

I rapporten redovisas de förändringar som ägt rum sedan Etapp 1. Tabeller med utgångsvärden (före plantering) för pH, volymvikter och näringskoncentrationer per lokal, trädslagsparcell och block, från Etapp 1 finns presenterade i Rytter & Högbom (2010). I Etapp 2 ingår lokalen i Nyköping endast i redovisningen av *Salix*.

### VOLYMKVIKT, RELATIV GRUS- OCH STENVOLYM

Volymvikterna av finjordfraktionen med partikelstorlek <2 mm visade inga signifikanta skillnader mellan olika år på någon av lokalerna eller i en totalanalys ( $p=0,29$ , Figur 1). Tendens till lägre volymvikt efter fem år kunde noteras i Bjästa och Svalöv. Volymvikten påverkas av jordens kompakteringsgrad, förekomst av rötter, innehåll av organiskt material och aktivitet av markorganismer (Strong & La Roi, 1985; Bronick & Lal, 2005). En minskning av volymvikten blir därför en sannolik utveckling, då volymens rötter och organiskt material i 0–30 cm skiktet ökar i samband med tillväxt av träd och markvegetation. Under de första fem åren efter plantering av trädslagsförsöket kan markens kompaktering även ha ökat jämfört med startläget då marken nyligen plöjts och harvats. Volymvikten efter fem år är troligen en kombination av ovanstående faktorer.



Figur 1.  
Volymvikt av finjorden (partikelstorlek <2 mm) i Svalöv (fyllt röd)  
Långhem (ofyllt röd), Bjästa (fyllt blå) och Lövånger (ofyllt blå).  
Medelvärde och standardfel av 24 prov per lokal visas. Varje prov  
bestod av tre delprov.

Markens relativa grusvolym minskade i Långhem och ökade något i Bjästa och Lövånger (Tabell 4). Det rörde sig dock om mycket små volymer. Grusinnehållet i moränjordarna i Svalöv och Långhem var högre än grusinnehållet i Bjästa och Lövånger där jorden har ett sedimentärt ursprung. Grusvolymer och stenvolymer räknades bort vid beräkningar av näringsförråd per ytenhet (Mg ha<sup>-1</sup>).

Tabell 4.

Markens relativa grusvolym. Medelvärden för block (n=6, varje n bestod av tre delprov) och lokal (n=24, varje n bestod av tre delprov). Den relativa volymen är angiven med ett värde mellan 0 och 1. Signifikant skilda block- och lokalmedelvärden har markerats med olika bokstäver ( $p \leq 0,05$ ).

Relativ volymsandel grus 2013									
Lokal	Djup	Block					Lokal	År (2009–2013)	
	(cm)	1	2	3	4	p-värde	p < 0,0001	p-värde	
Svalöv	0–30	0,023	0,031	0,025	0,032	0,18	0,028 <sup>a</sup>	0,55	
Långhem	0–30	0,011 <sup>a</sup>	0,023 <sup>b</sup>	0,025 <sup>b</sup>	0,026 <sup>b</sup>	0,0012	0,022 <sup>b</sup>	<0,0001	
Bjästa	0–30	0,0031	0,0027	0,0020	0,0013	0,51	0,0023 <sup>c</sup>	<0,0001	
Lövånger	0–30	0,0034	0,0018	0,0038	0,0028	0,71	0,0030 <sup>c</sup>	0,0027	

Markens stenvolym (partikelstorlek 0,02 m – 0,2 m) bestämdes på samtliga lokaler under Etapp 1 (Rytter & Högbom, 2010; Rytter, 2012b).

## KONCENTRATIONER AV NÄRINGSÄMNINGEN I MINERALJORDEN, C/N-KVOT, PH OCH LEDNINGSTAL

De förändringar av mineraljordens näringskoncentrationer, pH och ledningstal som visade sig efter fem års tillväxt av försöket, var främst effekter som omfattade respektive lokal. Skillnader mellan trädslag förekom, men trädslagseffekter var sällsynta och visade inget tydligt mönster. Nedan redovisas och diskuteras främst förändringar för hela lokaler, samt från övergripande analyser. I de övergripande analyserna ingick samtliga lokaler, förutom Nyköping som omplanterats.

Koncentrationen av totalkol (Tot C) var generellt sett oförändrad i skiktet 0–10 cm, men minskade med i genomsnitt 7 % i skiktet 10–30 cm (Figur 2). Tot C består av organiskt bundet C och mineralbundet (karbonater). Karbonatkolet visade sig vara negligerbart i åkermark med pH < 6. Tot C omfattar därför huvudsakligen organiskt bundet C (Eriksson m.fl., 1997; 2010). En minskning av koncentrationen i marken, tyder på att nedbrytningen av äldre organiskt C, d.v.s. från före plantering av trädslagen, var större än tillförseln av nytt organiskt C till marken. Studier av förändringar av markens organiska C-förråd vid återbeskogning har gett varierande resultat; d.v.s. ökning, minskning eller oförändrat (Guo & Gifford, 2002; Vesterdal m.fl., 2002). Man har konstaterat att tidigare markanvändning, t.ex. åker eller betesmark, har byggt upp olika stora C-förråd. Storleken av markens organiska C-förråd avgör i hög utsträckning om förråden minskar eller ökar i ett initialt skede av återbeskogning (Post & Kwon, 2000).

Djup	Lokal	Koncentrationer. Signifikant förändring ( $p \leq 0,05$ )								
		Tot C	Tot N	C/N	P-AL	K-AL	Ca-AL	Mg-AL	pH	Lt
0-10	Svalöv		↑	↓		↑		↑		
	Långhem	↓	↑	↓	↓	↑		↑	↑	↓
	Bjästa	↑	↑	↓	↓	↑			↓	↓
	Lövånger		↑	↓		↑		↑	↓	
10-30	Svalöv	↓		↓	↓					↓
	Långhem	↓		↓	↓	↓		↓		↓
	Bjästa		↑	↓	↓	↓		↓	↓	↓
	Lövånger			↓		↓		↓		↓
0-10	Totalt		↑ 13 %	↓ 10 %		↑ 66 %		↑ 25 %	↓ 2 %	↓ 9 %
	p-värde (år)	0,52	<0,0001	<0,0001	0,097	<0,0001	0,37	<0,0001	<0,0001	0,027
10-30	Totalt	↓ 7 %		↓ 12 %	↓ 13 %	↓ 24 %		↓ 16 %	↓ 2 %	↓ 22 %
	p-värde (år)	0,028	0,10	<0,0001	0,0008	<0,0001	0,94	0,0020	0,0002	<0,0001

Figur 2.

Sammanfattning av förändringar av näringskoncentrationer (mg kg<sup>-1</sup>), C/N-kvot, pH och ledningstal (Lt) i mineraljorden per lokal och totalt i försöket. P, K, Ca och Mg är extraherade med ammoniumlaktat (AL). Statistiskt signifikanta ökning (↑) och minskningar (↓) efter fem års odling visas ( $p \leq 0,05$ ). I analyserna ingick 24 prov per lokal och 96 prov totalt. Varje prov bestod av 20 delprov.

Totalkvävet (Tot N) omfattar till största delen organiskt N, samt ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) och nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Totala N-koncentrationen ökade i skiktet 0–10 cm efter fem års tillväxt (Figur 2), vilket tyder på att mineralbundet N tagits upp från djupare nivåer i marken och återförts organiskt bundet i förna och mikroorganismer. En minskning av NO<sub>3</sub>-N i mineraljorden kunde noteras (Figur 3). Koncentrationen av NH<sub>4</sub>-N både ökade och minskade på de olika lokalerna, men blev oförändrad i totalanalysen. Vid nedbrytning av proteiner som ingår i den organiska substansen frigörs först NH<sub>4</sub>-N, vilket kan förklara ökningen. Visst läckage kan inte uteslutas i första hand av NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, som på grund av den negativa laddningen inte binds lika hårt till markpartiklarna som NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. En uppföljning av eventuellt flöde av joner till markvattnet är önskvärd för att få en uppfattning om näringsflödet i trädslagsförsöket som grund för framtida skötselrekommendationer.

C/N-kvoten har sjunkit på samtliga lokaler och i båda markdjupen (Figur 2). C/N-kvoterna varierade mellan 12,0 – 15,6 under Etapp 1 i skiktet 0–30 cm. Under Etapp 2 varierade kvoten mellan 10,4 – 14,3. Lägsta kvot återfanns i Svalöv. Kvoter lägre än 10, som förekommer i intensivt odlade marker, indikerar en ökad risk för kväveläckage.

Koncentrationen av växttillgängligt fosfor (P-AL) har minskat något sedan Etapp 1 (Figur 2). Det tyder på ett upptag av fosfatjoner i växande träd och i markvegetation. Eftersom fosfatjonerna binds relativt hårt till markpartiklarna är urlakningsförluster i allmänhet små (Troedson & Nykvist, 1974). De under Etapp 1 uppmätta höga koncentrationerna i Lövånger, har förhållit sig reaktivt oförändrade under Etapp 2.

Växttillgängligt kalium (K-AL) har ökat i skiktet 0–10 cm i mineraljorden och minskat i skiktet 10–30 cm (Figur 2). Kalium förekommer huvudsakligen som fria joner i markvätskan och tas därmed lätt upp av växterna. I det djupare markskiktet kan den minskade koncentrationen tyda på upptag, men eventuellt också på läckage. I det övre skiktet har koncentrationen av K-AL ökat. Denna ökning beror sannolikt på frigörande av  $K^+$  vid nedbrytning av förna samt även från urlakning. Kalium som finns i förna urlakas mycket lätt (Troedson & Nykvist, 1973).

Koncentrationerna av växttillgängligt magnesium (Mg-AL) visade samma mönster som K-AL (Figur 2). Kalium och Mg tas upp på samma sätt i växten och blir därför antagonistiska vid upptaget, d.v.s. en stor tillgänglig mängd av det ena ämnet hämmar upptaget av det andra (Eriksson m.fl., 1997; 2010). Balansen mellan näringsämnena är viktig och K/Mg-kvoten är ett mått på detta. En hög kvot kan innebära risk för Mg-brist, men det finns också en risk för brist på K om kvoten är låg. I mineraljorden från försökslokalerna varierade kvoten mellan 2,3 – 3,3 (0–10 cm) och 1,3 – 2,6 (10–30 cm). Kvoten i Svalöv var något hög i förhållande till de riktlinjer som Jordbruksverket tagit fram (Jordbruksverket, 2015).

Växttillgängligt kalcium (Ca-AL) visade inga förändringar jämfört med Etapp 1 (Figur 2). Vid extraktion med en svag ättiksyralösning (HAc), vilken simulerar växtrotens surgörande effekt i den rotnära zonen, observerades en minskning av Ca-koncentrationen (Figur 3). Växter kan ta upp stora mängder Ca, ofta mer än vad som är nödvändigt. Risken för läckage är relativt liten, mindre än för N och K. Fosfor och baskatjoner extraherade med HAc, visar på liknande mönster som vid extraktionen med AL (Figur 2 och 3.). Svavel (S) ökade eller minskade på de enskilda lokalerna, men totalanalysen visat en oförändrad koncentration. Koncentrationen av natrium (Na) minskade generellt, vilket kan bero på att  $Na^+$  urlakas lätt, då adsorptionen är svag, inga svårösliga föreningar bildas och till skillnad från  $K^+$  så fixeras inte  $Na^+$  till markens lermineral. Mangan (Mn) och bor (B) är nödvändiga mikronäringsämnen för växter. Koncentrationen av Mn har minskat generellt i trädslagsförsöket. En förklaring kan vara att  $Mn^{2+}$  oxideras lätt i marken till olöslig oxid. En sänkning av pH kan motverka denna effekt. Koncentrationen av B ökar däremot på flertalet lokaler, speciellt i skiktet 0–10 cm, dock inte till toxiska koncentrationer. Giftverkan kan förekomma på surare jordar, men B är ett ämne som lätt urlakas.

pH har sjunkit något i båda markskikten otalt sett, men en ökning kunde noteras i Långhem (Figur 2). Det rör sig om små förändringar, omkring 2 % av medelvärdet av totalanalysen eller omkring 0,1 pH-enheter. Nedbrytning av markens organiska substans frigör surgörande ämnen som transporteras nedåt i markprofilen med nederbörden. I så kallade naturliga växtsamhällen, innebär detta att pH sjunker i övre markskiktet. pH var också den markvariabel där signifikanta trädslagseffekter kunde påvisas (Figur 4).



Djup	Lokal	Koncentrationer. Signifikant förändring ( $p \leq 0,05$ )									
		NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	P	K	Ca	Mg	Na	S	Mn	B
0-10	Svalöv				↑		↑			↑	↑
	Långhem		↓	↓	↑		↑	↓		↓	↑
	Bjästa	↓	↑		↑		↑	↓	↑	↑	↑
	Lövånger	↓	↑			↓		↓	↓		↑
10-30	Svalöv		↓	↓		↓	↓				↓
	Långhem		↓	↓	↓	↓	↓		↑	↓	↓
	Bjästa	↓		↓	↓			↓	↑	↓	↑
	Lövånger	↓	↑	↓	↓				↓	↓	↑
0-10	Totalt	↓ 61 %			↑ 51 %	↓ 7 %	↑ 17 %	↓ 19 %		↓ 24 %	↑ 14 %
	p-värde (år)	<0,0001	0,44	0,17	<0,0001	0,032	0,0041	<0,0001	0,16	0,0097	0,0002
10-30	Totalt	↓ 46 %		↓ 21 %	↓ 29 %		↓ 22 %	↓ 9 %		↓ 7 %	
	p-värde (år)	<0,0001	0,13	0,0002	<0,0001	0,095	0,0020	0,048	0,15	0,021	0,70

Figur 3.

Sammanfattning av förändringar i näringskoncentrationer av växttillgänglig näring (mg kg<sup>-1</sup>) per lokal och totalt i mineraljorden. Statistiskt signifikanta ökning (↑) och minskningar (↓) efter fem års odling visas ( $p \leq 0,05$ ). I analyserna ingick 24 prov per lokal och 96 prov totalt. Varje prov bestod av 20 delprov.

Ledningstalet (Lt), d.v.s. mängden lösta joner i markvätskan, har minskat i båda mineraljordsskikten efter fem års tillväxt (Figur 2). Proverna från Etapp 1, visade att ledningtalen från före plantering av trädslagen, var något lägre än medelvärdet för åkermark i Sverige på samtliga lokler i försöket (Eriksson m.fl., 1997; 2010). Någon näringsbrist förekom emellertid inte. Minskningen under Etapp 2 tyder på ett upptag av joner i växande träd och markvegetation. Visst läckage kan inte uteslutas.

Trädslagsskillnader förekom (Figurerna 4 och 5), men de var sporadiska och visade inget tydligt mönster. Fem år är ett kort tidsperspektiv vid studier av markkemiska förändringar vid trädttillväxt. De skillnader som uppstått hittills kan därför endast ses som en indikation på eventuella trädslagsspecifika effekter. Vi avvaktar med slutsatser till nästa provtagningsomgång.

Djup	Lokal	Koncentrationer. Signifikanta skillnader mellan trädslag ( $p \leq 0,05$ )								
		Tot C	Tot N	C/N	P-AL	K-AL	Ca-AL	Mg-AL	pH	Lt
0-10	Svalöv									
	Långhem						X			X
	Bjästa							X		
	Lövånger									X
10-30	Svalöv				X	X				
	Långhem					X	X			
	Bjästa							X		
	Lövånger					X	X			X
0-10	Totalt							X		
	<i>p</i> -värde (år)	0,50	0,39	0,51	0,29	0,14	0,30	0,37	0,013	0,16
10-30	Totalt						X		X	
	<i>p</i> -värde (år)	0,62	0,38	0,90	0,059	0,41	0,027	0,35	0,0011	0,096

Figur 4.

Sammanfattning av förändringar i näringskoncentrationer (mg kg<sup>-1</sup>), C/N-kvot och pH per trädslag inom respektive lokal och totalt. Statistiskt signifikanta skillnader (X) fem år efter trädslagsförsökets plantering visas ( $p \leq 0,05$ ).

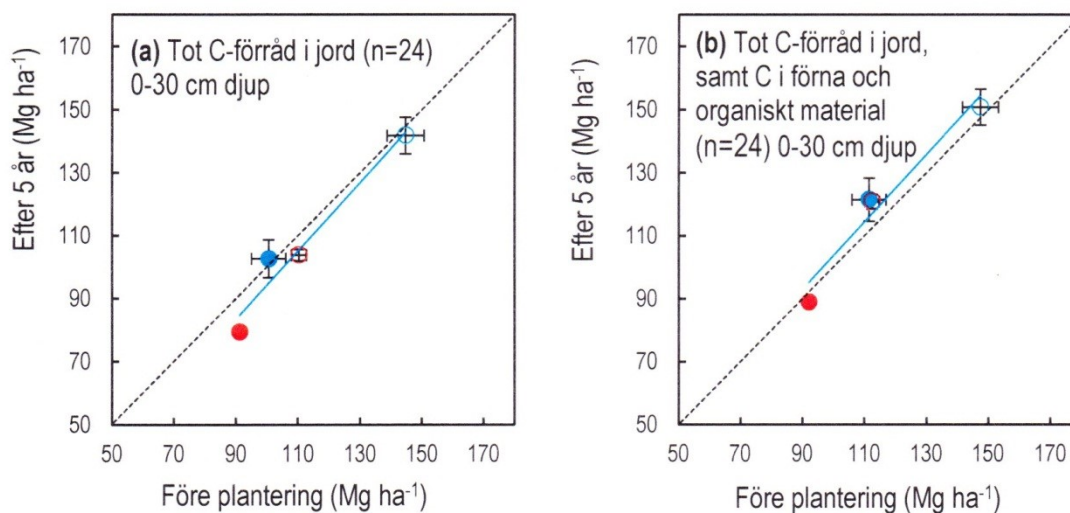
Djup	Lokal	Koncentrationer. Signifikanta skillnader mellan trädslag ( $p \leq 0,05$ )									
		NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	P	K	Ca	Mg	Na	S	Mn	B
0-10	Svalöv							X		X	
	Långhem					X					
	Bjästa	X									
	Lövånger										
10-30	Svalöv				X			X		X	
	Långhem					X					
	Bjästa	X									X
	Lövånger			X	X	X					X
0-10	Totalt										
	<i>p</i> -värde (år)	0,34	0,84	0,69	0,18	0,49	0,65	0,36	0,16	0,91	0,76
10-30	Totalt										
	<i>p</i> -värde (år)	0,81	0,39	0,60	0,44	0,10	0,77	0,20	0,51	0,95	0,88

Figur 5.

Sammanfattning av förändringar i näringskoncentrationer av växttillgänglig näring (Spurway-analys, mg kg<sup>-1</sup>). Statistiskt signifikanta skillnader mellan trädslag (X) fem år efter trädslagsförsökets plantering visas ( $p \leq 0,05$ ).

## NÄRINGSFÖRRÅD

Mineraljordens näringsförråd ( $\text{Mg ha}^{-1}$  till 30 cm djup) beräknades exklusive sten- och grusvolymen. Efter fem års träd tillväxt hade mineraljordens Tot C-förråd minskat totalt i försöket ( $p = 0,030$ ; Figur 6a). I Svalöv och Långhem hade Tot C-förråden minskat signifikant. En initial minskning av markens organiska C-förråd har tidigare uppmätts vid återbeskogning av framför allt gräsbevuxna marker, t.ex. vall (Guo & Gifford, 2002; Don et al., 2012). I Bjästa och Lövånger förblev förråden oförändrade. När förna från blad/barr och markvegetation, samt från grövre organiskt material (2–20 mm) i jorden (0–30 cm djup) inkluderades i analysen, ökade markens C-förråd generellt i försöket ( $p = 0,028$ ; Figur 6b). Bland de enskilda lokalerna noterades en ökning i Långhem. Övriga lokalers förråd var oförändrade. Organiskt material (2–20 mm) fanns även under Etapp 1, men förna ovan jord saknades på de nyligen plöjda och harvade åkrarna. Fördelningen av C i förna och mineraljord är av intresse att studera vidare, eftersom den kan utgöra en viktig skillnad mellan olika trädslag (Vesterdal m.fl., 2013).

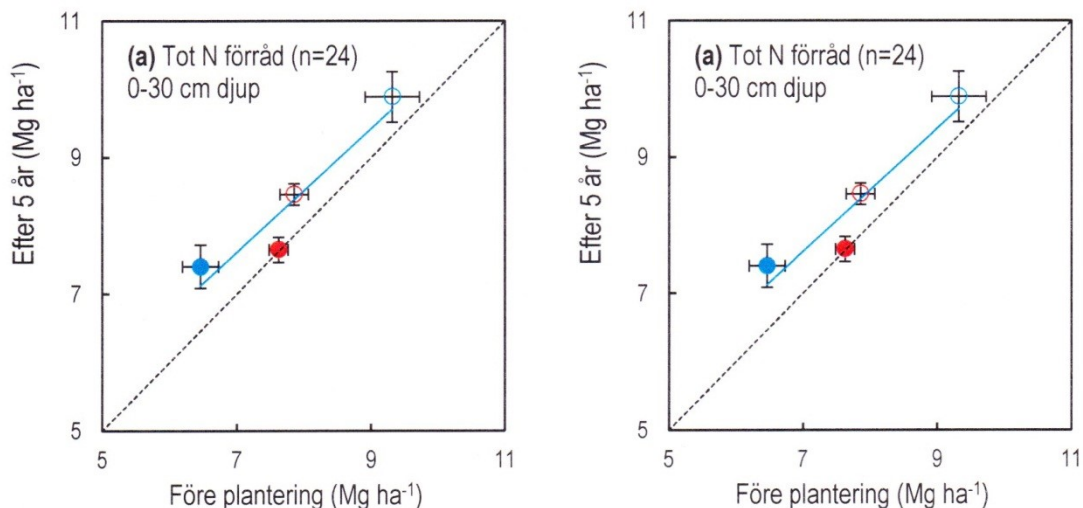


Figur 6ab.

(a) C-förråd i mineraljord (<2 mm), (b) C-förråd i mineraljord (<2 mm) och förna från blad/barr och markvegetation, samt grövre organiskt material i marken i Svalöv (fylld röd), Långhem (ofylld röd), Bjästa (fylld blå) och Lövånger (ofylld blå). Medelvärde och standardfel av 24 prov per lokal visas. Varje jordprov bestod av tre delprov och varje fömaprov bestod av fyra delprov.

Tot N-förrådet ökade signifikant på alla lokaler, utom i Svalöv där förrådet var oförändrat efter fem år (Figur 7a). I åkerjord är den övervägande delen av markens kväve bundet i humusämnen. Vid höga C/N-kvoter är N hårt bundet, framför allt i mikroorganismer, och växterna kan lida brist på tillgängligt N (Troedsson & Nykvist, 1974). Kvoterna av C/N i marken i trädslagsförsöket, varierade mellan 10,4 – 14,3, vilket tyder på att N inte var immobiliserat i någon högre grad.

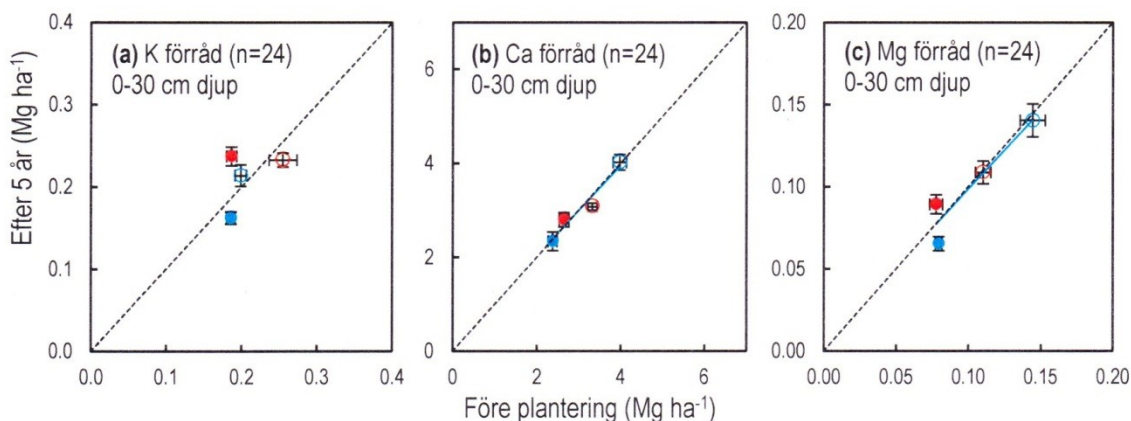
Forforförrådet minskade generellt i försöket liksom lokalt, förutom i Lövånger ( $p \leq 0,05$ ; Figur 7b). Merparten av minskningen av förrådet berodde sannolikt på ökat upptag i växande träd och markvegetation vid återbeskogningen av åkermarken. Risken för läckage av fosfatjoner är i allmänhet liten (Troedsson & Nykvist, 1974).



Figur 7ab.

(a) N-förråd i mineraljord (<2 mm), (b) P-förråd i mineraljord (<2mm) i Svalöv (fylld röd), Långhem (ofylld röd), Bjästa (fylld blå) och Lövånger (ofylld blå). Medelvärde och standardfel av 24 prov per lokal visas. Varje jordprov bestod av tre delprov.

Baskatjonernas förråd i skiktet 0–30 cm i marken utvecklades olika. Kaliumförrådet minskade i Bjästa, ökade i Svalöv, men förändrades inte signifikant i Långhem och Lövånger (Figur 8a). Kalium är lätt rörligt i marken och tas lätt upp av växterna. Risken för utlakning av K är också relativt stor. Ökning av K-förrådet i Svalöv visar sannolikt på upptag från djupare nivåer och återförsel till ytligare nivåer via förnan. Förrådet av Ca visade ingen skillnad mellan åren på någon av lokalerna (Figur 8b). Kalcium är inte lika rörligt i marken som K. Förrådet av Mg minskade signifikant i Bjästa, men förblev oförändrat på de övriga lokalerna (Figur 8c). Upptaget av Mg och K är som tidigare nämnts antagonistiskt. Kvoterna som beräknats på förråden (1,7 – 2,9) visade att det inte råder någon risk för brist på K, däremot var kvoten i Svalöv något hög i förhållande till Jordbruksverkets riktlinjer (2013), vilket kan indikera en ökad risk för Mg-brist.



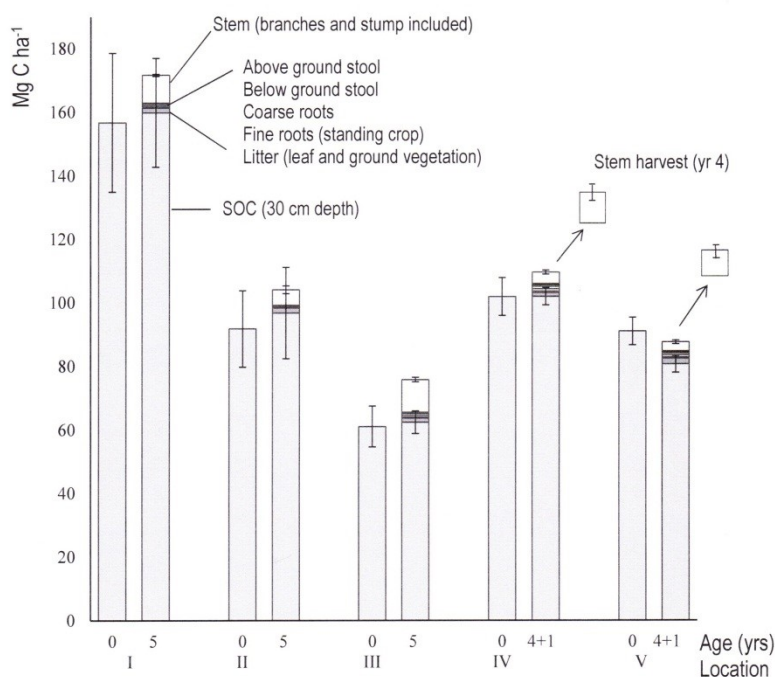
Figur 8abc.

(a) K-förråd i mineraljord (<2 mm), (b) Ca-förråd i mineraljord (<2 mm), (c) Mg-förråd i mineraljord (>2 mm) i Svalöv (fylld röd), Långhem (ofylld röd), Bjästa (fylld blå) och Lövånger (ofylld blå). Medelvärde och standardfel av 24 prover per lokal visas. Varje jordprov bestod av tre delprov.



## C-INLAGRING I SALIX-BESTÄNDEN

*Salix*-bestånden avverkades och stambiomassan bestämdes under Etapp 2. C-fastläggningen i biomassa och mark i 5-åriga bestånd med *Salix* har beräknats. Det totala stående C-förrådet, d.v.s. C lagrat i vedbiomassa i stam, stubbe, stol och grovrötter, samt C i finrötter, förna och mark uppskattades från fältprovtagningarna 2009 och 2013, samt i budgetberäkningar. Resultatet visar att det totala C-förrådet ökat med 15 % i genomsnitt (Figur 9). Markens förråd av C minskade endast i Svalöv, men minskningen komparerades av det C som inlagrats i vedbiomassan. Efter avverkning utgjorde andelen C i kvarvarande stubbar, stolar och grovrötter ca 20 % av stamandelen, vilket var tillräckligt för att kompensera för minskningen i marken. Markvegetationen bidrog med 24–80 % av den totala förnan, vilket bör inkluderas vid beräkningar av C-förråd i unga bestånd.



Figur 9.

Stående C-förråd i *Salix*-planteringar på fem lokaler i Sverige (I-V anger Lövånger, Bjästa, Nyköping, Långhem och Svalöv). Staplarna visar C-förråd före plantering (0) och efter fem år (5). Standardfel visas för C förråd i stammar (n=60–100) och i mark (SOC, n=4, varje n bestod av 20 delprov). Figur från Rytter m.fl. (2015).

## MÅLUPPFYLLELSE OCH REDOVISNING

Måluppfyllelsen är god. Provtagning, analyser och utvärdering av data har genomförts enligt plan. Sorkangrepp och omplantering av flertalet trädslagsparceller i Nyköping medförde att markprovtagningen på lokalen begränsades till *Salix*. Parcellerna med *Salix* i Nyköping var intakta och kunde inkluderas i provtagningen och i C-budgetberäkningarna. En presentation av projektet visades vid International Poplar Symposium VI (IUFRO), Vancouver, British Columbia, Canada, 20–23 juli 2014. En artikel har publicerats i journalen *Biomass and Bioenergy* (Rytter et al., 2015).

## Referenser

- Anon. 2006. På väg mot ett oljefritt Sverige. Kommissionen mot oljeberoende, Stockholm.
- 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.
- 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 Feb – 2 Mar 1994*. Agronomy Society of New Zealand, Special Publication No 10.
- Bronick, C.J. & Lal, R. 2005. Soil structure and management, a review. *Geoderma* 124: 3–22.
- Don, A., Osborne, B., Hastings, A., Skiba, U., Carter, M.S., Drewer, J. et al. 2012. Land-use change to bioenergy production in Europe: implications for the greenhouse gas balance and soil carbon. *GBC Bioenergy* 4:372–391.
- Eriksson, J., Andersson, A. & Andersson, R. 1997. Tillståndet i svensk åkermark. Rapport 4778, Naturvårdsverket, Naturvårdsverkets förlag.
- Eriksson, J., Mattsson, L. & Söderström, M. 2010. Tillståndet i svensk åkermark och gröda, data från 2001-2007. Rapport 6349, Naturvårdsverket, Naturvårdsverkets förlag.
- Fredeen, A.L., Waughtal, J.D. & Pypker, T.G. 2007. When do replanted sub-boreal clearcuts become net sinks for CO<sub>2</sub>? *For. Ecol. Manage* 239:210–216.
- Guo, L.B. & Gifford, R.M. 2002. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global Change Biology* 8: 345–360.
- IPCC 2007. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on climate change. In: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL, editors. *Climate change 2007: the physical science basis*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press; 2007.
- Jordbruksverket. 2015. Jordbruksverkets riktlinjer för gödsling och kalkning. JO14:12, Jönköping.
- Larsson, S., Lundmark, T. & Ståhl, G. 2009. Opportunities for intensive cultivation of forests. Slutrapport från regeringsuppdrag Jo 2008/1885, SLU.
- 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
- 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., Körschens, M. & Franko, U. 1998. A European network of long-term sites on soil organic matter. *Soil and Tillage Research* 47:263–274.
- Rosenqvist L., Kleja, D.B. & Johansson, M.-B. 2010. Concentrations and fluxes of dissolved organic carbon and nitrogen in a *Picea abies* chronosequence on former arable land in Sweden. *For. Ecol. Manage.* 259: 275–285.
- Rytter, R.-M. 2012a. The potential of willow and poplar plantations as carbon sinks in Sweden. *Biomass and Bioenergy* 36:86–95.



- Rytter, R.-M. 2012b. Stone and gravel content of arable soils influence estimates of C and N stocks. *Catena* 95:153–159.
- Rytter, R.-M. & Högbom, L. 2010. Markkemi och fastläggning av C och N i produktionsinriktade bestånd med snabbväxande trädslag. Arbetsrapport Nr 725, Skogforsk, Uppsala. *Summary in English*.
- Rytter R.-M., Rytter L. & Högbom L. 2015. Carbon sequestration in willow (*Salix* spp.) plantations on former arable land estimated by repeated field sampling and C budget calculation. *Biomass and Bioenergy* 83: 483–492.
- Rytter, L. & Lundmark, T. 2010. Trädslagsförsök med inriktning på biomassa-produktion. Arbetsrapport Nr 724, Skogforsk, Uppsala. *Summary in English*.
- Rytter, L. & Lundmark, T. 2014. Trädslagsförsök med inriktning på biomassa-produktion – Etapp 2. Arbetsrapport Nr 837, Skogforsk, Uppsala. *Summary in English*.
- Strong, W.L. & La Roi, G.H. 1985. Root density-soil relationships in selected boreal forests of central Alberta, Canada. *For. Ecol. Manage.* 12: 233–251.
- Troedson, T., & Nykvist, N. 1974. Marklära och markvård. AW Läromedel, Stockholm.
- Vesterdal, L., Ritter, E. & Gundersen, P. 2002. Change in soil organic carbon following afforestation of former arable land. *For. Ecol. Manage.* 169: 137–147.
- Vesterdal, L., Rosenqvist, L, van der Salm, C., Hansen, K., Groenenberg, 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*. (eds., Heil, G., Muys, B. & Hansen, K.) Springer, Plant and vegetation, pp. 19–51.
- Vesterdal, L., Schmidt, I.K., Callesen, I., Nilsson, L.O. & Gundersen, P. 2008. Carbon and nitrogen in forest floor and mineral soil under six common European tree species. *For. Ecol. Manage.* 255:35–48.
- Vesterdal, L., Clarke, N., Sigurdsson, B.D. & Gundersen, P. 2013. Do tree species influence soil carbon stocks in temperate and boreal forests? *For. Ecol. Manage.* 309: 4–18.



## Arbetsrapporter från Skogforsk fr.o.m. 2015

### År 2015

- Nr 856 Widinghoff, J. 2015. Logistiklösning för delkvistat sortiment – Lätta skyddsplåtar på virkesbilar för transport av träddeklar och delkvistade sortiment. – Lightweight side-shields on timber trucks transporting partly delimbed energy wood. 15 s.
- Nr 857 Hannrup B, Bhuiyan N. Möller J.J. 2015. Rikstäckande utvärdering av ett system för automatiserad gallringsuppföljning. – Nationwide evaluation of a system for automated follow-up of thinning. 56 s.
- Nr 858 Frisk, M., Rönnqvist, M. & Flisberg, P. 2015. Vägrust – Projekt rapport. 2015. – Vägrust – Project Report. 48 s.
- Nr 859 Asmoarp, V. & Jonsson, R. 2015. Fokusveckor 2014. Bränsleuppföljning för tre fordon inom ETT-projektet, ST-RME, ETT1 och ETT2. – Monitoring fuel consumption of three rigs in the ETT project: ST-RME, ETT1 and ETT2 42 s.
- Nr 860 Johannesson, T. 2015. Ny teknik för askåterföring i skogsmark. – New technology for ash recycling on forest floor. 14 s.
- Nr 861 Asmoarp, V., Nordström, M. & Westlund, K. 2015. Stämmer väglagervolymer? – En fallstudie inom projektet "Skogsbrukets digitala kedja". – "Are roadside stock volumes correct? – A case study in the Digital Chains in Forestry project. 17 s.
- Nr 862 Möller, J.J., Bhuiyan, N. & Hannrup, B. 2015. Utveckling och test av beslutsstöd vid automatiserad gallringsuppföljning. – Development and test of decision-support tool for automated monitoring of thinning 38 s.
- Nr 863 Jonsson, R. 2015. Prestation och kvalitet i blädning med skördare och skotare. – Performance and costs in selective harvesting with harvester and forwarder. 27 s.
- Nr 864 Englund, M., Adolfsson, Niklas, Mörk, A., & Jönsson, P. 2015. Distribuerad arbetsbelysning – LED öppnar nya möjligheter för belysning hos arbetsmaskiner. – Distributed work lighting – LED lamps improve lighting on forest and agricultural machines. 20 s.
- Nr 865 Hofsten von, H. & Funck, J. 2015. Utveckling av HCT-fordon i Sverige. – HCT, heavier vehicle, truck design, ST, ETT. 28 s.
- Nr 866 Fridh, L. 2015. Utvärdering av fukthaltsmätare PREDIKTOR Spektron Biomass. – Evaluation of the Prediktor Spektron Biomass moisture content analyser. 10 s.
- Nr 867 Fridh, L. & Öhgren, J. 2015. Förstudie Automatisk skäppmätning av flis med laser. 20 s.
- Nr 868 Eriksson, A., Hofsten von, H. & Eliasson, L. 2015. Systemkostnader, logistik och kvalitetsaspekter för sju försörjningskedjor för stubbränslen. – System costs, logistics and quality aspects relating to seven supply chains for stump fuel. 29 s.
- Nr 869 Englund, M., Lundström, H., Brunberg T. och Löfgren, B. Utvärdering av Head up-display för visning av apteringsinformation i slutavverkning. 15 s.
- Nr 870 Löfroth, C. 2015. ETTaero – En förstudie av aerodynamisk utformning av skogsfordon. – A pilot study of aerodynamic design of forest vehicles 32 s.
- Nr 871 Grönlund, Ö., Iwarsson Wide, M., Hjerpe, T. och Sonesson, J. 2015. Skadeförekomst efter tidig gallring. – Damage after early thinning. 14 s.
- Nr 872 Fogdestam, N. & Löfroth, C. 2015 ETTdemo, demonstration av ETT- och ST-fordon. – ETTdemo, demonstration of ETT- and ST-vehicles. 34 s.
- Nr 873 Fridh, L. 2015. Produkttegenskaper för skogsbränsle. – Förslag till indelning, struktur och definitioner. – Forest fuel product characteristics- proposal for categories, structure and definitions. 46 s.

- Nr 874 Enström, J. 2015. Möjligheter till inrikes sjötransporter av skogsbränsle. – Possibilities for coastal maritime transport of forest fuel in Sweden. 22 s.
- Nr 875 Grönlund, Ö. & Iwarsson Wide, M. 2015. Uttag av skogsbränsle vid avveckling av låg skärmar av björk. – Harvest of forest fuel when birch shelterwoods are removed. 15 s.
- Nr 876 Jacobson, S. 2015. Lågskärm av björk på granmark – Modellerings av beståndsutveckling och ekonomisk analys. – The use of birch as a shelter in young Norway spruce stands – Modelling stand development and economic outcome. 39 s.
- Nr 877 Grönlund, Ö., Iwarsson Wide, M., Englund, M. & Ekelund, F. 2015. Sektionsgallring en arbetmetod för täta klena gallringar. – Thinning in Sections – a work method for small-tree harvest. 17 s.
- Nr 878 Eliasson, L. & Nilsson, B. 2015. Skotning av GROT direkt efter avverkning eller efter hyggeslagring. – Forwarding of logging residue immediately after felling or after stor age on the clear-cut. – Effects on nutrient extraction, needle shedding, and moisture content. 10 s.
- Nr 879 Eriksson, B., Widinghoff, J., Norinm K. & Eliasson, L. 2015. Processkartläggning – Ett verktyg för att förbättra försörjningskedjor. – Process mapping – a tool for improving supply chains. 46 s.
- Nr 880 Möller, J.J., Nordström, M. & Arlinger, J. 2015. Förbättrade utbytesprognoser. – En förstudie genomförd hos SCA, Sveaskog och Södra. – Improved yield forecasts – a pilot study by SCA, Sveaskog and Södra. 14 s.
- Nr 881 von Hofsten, H. 2015. Vägning med hjälp av inbyggda vågar i fjädringen på lastbilar. – Payload weighing using onboard scales connected to the air suspension of trucks. 10 s.
- Nr 882 Rosvall, O., Kroon, J. & Mullin, T.J. 2015. Optimized breeding strategies at equivalent levels of population diversity. 61 s.
- Nr 883 Högbom, L. & Rytter, R.-M. 2015. Markkemi och fastläggning av C och N i bestånd med snabbväxande trädslag - Etapp 2. – Slutrapport till Energimyndigheten 2015. – Soil chemistry and C and N sequestration in plantations with fast-growing tree species – Phase 2. – Final report to The Swedish Energy Agency 2015. 19 s.
- Nr 884 Hannrup, B., Andersson, M., Henriksen, F., Högdahl, A., Jönsson, P. & Löfgren, B. 2015. Utvärdering av V-Cut – en innovation med potential att minska förekomsten av kapsprickor. – Evaluation of V-Cut – an innovative saw bar with potential to reduce the occurrence of bucking splits. 32 s.
- Nr 885 Willén E. & Andersson, G. 2015. Drivningsplanering. En jämförelse mellan sju skogsföretag – A comparison of seven forest companies 2015. 31 s. + Bilaga 2-8.
- Nr 886 Johansson, F. 2015. Kontinuerlig uppföljning av drivmedelsförbrukning och lastfyllnadsgrad för ETT- och ST-fordon 2014. – Continual monitoring of fuel consumption and load utilisation of ETT and ST vehicles 21 s.
- Nr 887 Högberg, K.A. 2015. Selektionseffekter vid förökning av gran med somatisk embryogenes. – Selection effects of somatic embryogenesis in propagation of Norway spruce. 11 s.
- Nr 888 Enström, J. & von Hofsten, H. 2015. ETT-Chips 74-tonne trucks – Three 74-tonne chip trucks monitored in operation over one year. 23 s.
- Nr 889 Rytter, L., Stener, L.G. 2015. Gråal och hybrid alder.-En potential för ökad energiinriktad produktion i Sverige. – Grey alder and hybrid alder-Potentials for increased biomass production for energy in Sweden. 28 s.
- Nr 890 Asmoarp, V. & Enström, J. 2015. Fokusveckor 2015-Bränsleuppföljning för ETT 74 tons flisfordon inom projektet ETT-Flis. – Focus Weeks 2015 Monitoring fuel consumption of a 74-tonne chip truck in the ETT project. 25 s.
- Nr 891 Johannesson, T., Enström J. & Ohls, J. 2015. Test av paraffinolja för att motverka fastfrysning av flis i containrar. – Test of paraffin oil to prevent wood chips freezing onto surfaces in steel containers. 5 s.

## År 2016

- Nr 892 Ågren, K., Hannrup, B., Jonsson, R., Jönsson, P., Lundström, H. och Nordström, M. Utvärdering av dimensionsmätning och förekomst av kapsprickor vid avverkning med Komatsu X19. – Evaluation of measurement quality and frequency of bucking splits in harvesting with the Komatsu X19 Harwarder. 21 s.
- Nr 893 Ågren, K., Möller, J. J. och Bhuiyan, N. 2016. Utveckling av en standardiserad metod för kalibrering av volymsbestämning vid avverkning med flerträdshanterande skördaraggregat. – Development of a standardised method for calibrating volume measurements when using a multi-tree handling harvester head. 27 s.

## 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.

Från Skogforsk nr. 883–2015



[www.skogforsk.se](http://www.skogforsk.se)