



Vinster med björkinblandning i granbestånd i syfte att höja markens pH-värde

*Benefits with birch admixture in Norway spruce stands on purpose to increase
the pH-value of the soil*



Foto: Skogsbiblioteket, SLU

Maja Johansson och Matilda Vikberg



Vinster med björkinblandning i granbestånd i syfte att höja markens pH-värde.

Benefits with birch admixture in Norway spruce stands on purpose to increase
the pH-value of the soil.



Foto: Skogsbiblioteket, Sveriges lantbruksuniversitet

Maja Johansson & Matilda Vikberg

[2012-04-18]

SLU, Sveriges lantbruksuniversitet

Enhet: Institutionen för skogens ekologi och skötsel

Författare: Maja Johansson och Matilda Vikberg

Sv. titel: Vinster med björkinblandning i granbestånd i syfte att höja markens pH-värde.

En. titel: Benefits with birch admixture in Norway spruce stands on purpose to increase the pH-value of the soil.

Nyckelord: Björk, gran, blandskog, biologisk mångfald, björkskärm.

Handledare: Tord Magnusson, institutionen för skogens ekologi och skötsel

Examinator: Tommy Mörling, Institutionen för skogens ekologi och skötsel

Kurstitel: Kandidatarbete i skogsvetenskap

Kurskod: EX0592

Program: Jägmästareprogrammet

Omfattning: 15 högskolepoäng

Nivå och fördjupning på arbetet: G2E

Utgivningsort: Umeå

Utgivningsår: 2012

Innehållsförteckning

Innehållsförteckning.....	2
Summary	3
Sammanfattning	4
Introduktion.....	5
Bakgrund	5
Syfte.....	8
Problemformulering	8
Avgränsningar	8
Material och metod	9
Resultat.....	11
Diskussion.....	19
Referenser	24

Summary

The soil acidification and the pH-value of the soil have been discussed for many years. Many observations of the tree species effects on the soil pH have been done.

We have discussed the effects on the soil surface pH-value with a birch (*Betula spp.* L.) admixture in Norway spruce stands (*Picea abies* L.). We have used data from the Swedish National Forest Inventory. We have also discussed how the wood production and the biodiversity can be increased in mixed stands, in according to the Swedish forestry act Skogsvårdslagen. Our sampling areas are located in Norrland, Sweden.

The results show a significant correlation between an increased birch admixture and an increased pH-value of the soil. Our literature studies suggest an increased biodiversity. An alternative forest management with a birch shield gives a higher production and economic yield. We think that this can be a good alternative for the private forest owner who wants to increase the pH-value of the soil and the biodiversity, and maintain a rational forest management and a high economic yield.

Keywords: Birch, spruce, mixed stands, biodiversity, birch shield.

Sammanfattning

Markens försurning och dess pH-värde har länge diskuterats, och det har gjorts många försök på de olika trädslagens inverkan på markens pH-värde.

Genom riksskogstaxeringens data har vi försökt visa på huruvida en ökad björkinblandning (*Betula* spp. L.) i granbestånd (*Picea abies* L.) kunnat höja markytans pH-värde. Vi har även tittat på hur skogsproduktionen kan höjas i blandbestånd och på hur den biologiska mångfalden påverkas av en ökad björkinblandning. Syftet är att försöka kombinera skogsvårdslagens krav på att bibehålla en biologisk mångfald samtidigt som skogsproduktionen kan hållas hög på bästa sätt. Vi har avgränsat våra beräkningar till riksskogstaxeringens provytor i Norrland.

Våra resultat visar på att det finns ett signifikant samband mellan en ökad björkinblandning och ett ökat mark-pH. Våra litteraturstudier visar även på att den biologiska mångfalden gynnas med ett ökat björkinslag. Genom en alternativ skogsskötsel med björkskärm ger blandbestånd en ökad produktion och en god ekonomi. Detta kan vara ett bra alternativ för den enskilde skogsägaren som vill förbättra markkemin, höja pH-värdet och öka den biologiska mångfalden, samtidigt som man kan sköta skogen rationellt och få en god ekonomisk avkastning.

Nyckelord: Björk, gran, blandskog, biologisk mångfald, björkskärm.

Introduktion

Bakgrund

Redan i slutet av 1800-talet påtalades det om de olika vinsterna med blandskogar av björk och gran, framförallt att de ledde till säkrare föryngringar och en ökad totalproduktion. Begreppet ”björken är granens moder” myntades då man syftade på att gran under föryngringsfasen skyddas mot frostsador av en björkskärm (Mård, 1997).

Under 1900-talets senare del började markförsurning uppmärksammas. Den största orsaken till det sänkta pH-värdet i marken berodde på antropogen försurning med sura nedfall, främst från de växande industrierna runt om i Europa. Under andra halvan av 1970-talet var de sura nedfallen som störst. Forskare började under försurningsdebatten utreda andra källor till markförsurning och empiriska försök visade att även trädslagsfördelningen hade en inverkan på markens pH-värde. (Riksdagens revisorer, 1996).

Effektfulla åtgärder sattes in i arbetet mot de sura nedfallen. Det positiva resultatet av arbetet visade sig i statistik från mätningar av luftburna svavelföreningar. 1980 hade svavelutsläppen minskat med mer än 90 %, och 2007 var de endast 3 % av de uppmätta nivåerna på slutet av 1970-talet (Naturvårdsverket, 2011; Bernes, 2012).

Markförsurning orsakas av en ökad koncentration av lösta vätejoner i markvatten och vattendrag. En högre koncentration av vätejoner ger en surare miljö och därmed ett lägre pH-värde. Försurningen indelas i antropogen försurning, där den ökade koncentrationen av vätejoner kommer från icke-biologiska källor, och naturlig försurning, där vätejonerna kommer från framför allt biologiska källor (Bernes, 2012).

Växters tillväxt är en naturligt försurande process i marken, då växtrötters upptag av näringsämnen kan ha en försurande effekt. I svensk skogsmark är kväve, fosfor, kalium, kalcium och magnesium de viktigaste näringsämnena som tas upp i stor mängd av trädens rötter, så kallade makronäringsämnen. Näringsämnena finns löst i markvätskan, och många utav dessa tas upp som positivt laddade joner, så kallade katjoner. Många utav makronäringsämnena är dessutom baskatjoner d.v.s. katjoner som i sig självt är neutrala och inte har en försurande verkan så som aluminiumjoner och vätejoner har (Eriksson, 2005). När trädet tar upp en positivt laddad jon måste det i utbyte även avge en positivt laddad jon för att bibehålla en laddningsbalans gentemot markens laddning. Trädet avger en jon som finns i överskott, och detta är framförallt vätejoner, vilka direkt får en försurande effekt på skogsmarken. Desto äldre träden blir, och desto längre tillväxten har pågått, desto mer vätejoner ackumuleras i marken. Det är därför äldre bestånd har ett lägre pH-värde än unga bestånd. Den naturliga försurningen är svårare att styra eller påverka genom mänsklig aktivitet, och får sällan stort utrymme i försurningsdebatten. Den är förvisso naturlig, men kan i och med skogsbruket, ändå påverka pH-värdet positivt eller negativt (Naturvårdsverket, 2011).

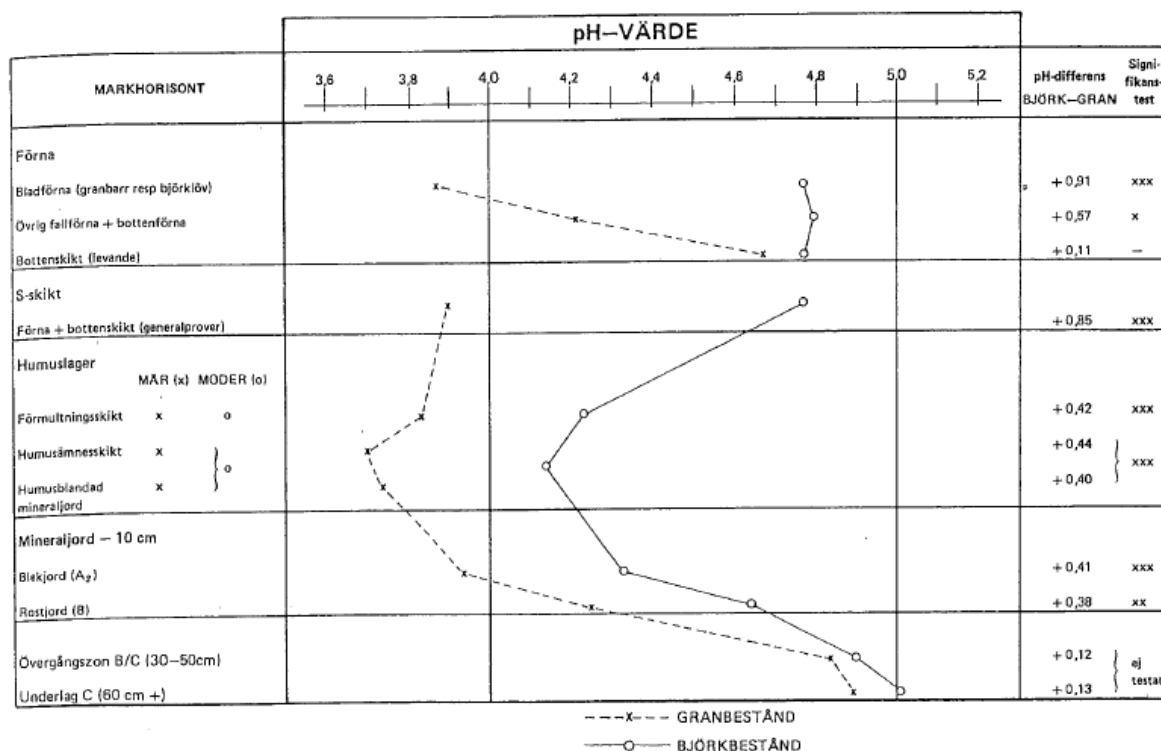
I ekosystem utan biomassauttag bibehålls markens pH-värde i balans då nedbrytningen av dött organiskt material har en motsatt, basverkande, effekt. Vid nedbrytning frigörs de baskatjoner som träden under hela sin tillväxt tagit upp. För varje baskatjon som frigörs vid nedbrytning tas det upp motsvarande laddning vätejon från marken som byggs in i nedbrytningens slutprodukter tillsammans med vatten (H₂O) och koldioxid (CO₂). Fria baskatjoner i marken höjer pH-värdet och är alkaliserande (Naturvårdsverket, 2011).

Olika trädslag har olika preferens vad gäller näringsupptag och det har länge diskuterats skillnader i hur olika trädarter påverkar på den biologiska försurningen. Många undersökningar visar att

barrträd är mer försurande än de flesta lövträd, och att barrbestånd generellt håller ett lägre pH-värde än lövbestånd. Det kan vara upp till en pH-enhets skillnad mellan olika trädslag på samma typ av mark (Miles, 1985).

Trädets förnasammansättning är en faktor som starkt korrelerar med markytans pH-värde, då det är ur nedbruten förna som baskatjoner återförs till marken. Barrförna håller ett lägre pH-värde än lövförna. Av våra svenska trädslag är det granen som har den största försurande effekten (Anon., 2000). Detta beror delvis på att gran, till skillnad från björk, behåller sina gröna barr året om och därmed får en större upptagningsförmåga av luftföroreningar och svavelföreningar. Beståndet, och nederbörden, blir då mer belastat av försurande ämnen. Granbestånd ackumulerar dessutom mer organiskt material ju äldre de blir, framför allt i stående volym. Gamla, slutna, bestånd ger dessutom sämre förutsättningar för de mikroorganismer som bryter ned förna. Marken blir allt surare då biomassa och ej nedbruten förna ackumuleras och det blir en obalans mellan trädets upptag av baskatjoner och de som frigörs när förnan bryts ned. Det är därför äldre bestånd har ett lägre pH-värde än unga bestånd. Nettoeffekten är att markens tillgång på baskatjoner blir allt mindre, och pH-värdet blir allt lägre (Anon., 2000; Miles, 1985). En förna som bryts ned snabbt bidrar snabbt med basverkande baskatjoner samtidigt som trädets rötter får möjlighet att återanvända baskatjonerna utan att minska på markens förråd av tillgängliga baskatjoner. Även granens rotsystem påverkar dess försurande effekt på markytan. Gran har generellt ett ytligare rotsystem än björk vilket gör att det försurande näringsupptaget koncentreras till det övre markskiktet (Nykvist, 1961).

Detta gäller generellt för alla trädslag. Det är i markytan man kan se den största försurningen orsakad av tillväxt och rötters försurande verkan vid näringsupptag. Längre ned i markprofilen är effekten av den naturliga försurningen mindre. Det är även i markytan som man kan se skillnaden av de olika trädslagens påverkan på pH-värdet (se figur 1). Djupare ned i markprofilen är det en mindre, eller ingen, skillnad på de olika trädslagens påverkan på pH-värdet (Hansson et al., 2011).



Figur 1 Jämförelse av de olika markhorisonternas pH-värde ned till 60 centimeters djup i mineraljorden.

Figure 1 Comparison of the different soil horizons pH-value down to 60 cm's deep in the mineral soil.

(Johansson et al., 1986)

Sveriges skogsmarksareal bestod år 2005 av cirka 23 % blandbestånd, varav 15 % barrblandbestånd, som domineras av barrträd, och 8 % lövblandbestånd, som domineras av lövträd. Andelen blandbestånd har minskat. Den var vid första riksskogstaxeringen i början av 1900-talet cirka 47 %. Därutöver finns en mycket stor andel av bestånden som har en liten inblandning av andra trädslag, 1-25 % (Agestam, E. et al., 2005). Ett blandbestånd definieras i denna rapport enligt riksskogstaxeringen som ett bestånd där inget enskilt trädslag utgör mer än 75 % av grundytan (eller stamantalet i ungsogar).

Idag domineras den svenska skogsmarken av monokulturer av barrträd (Anon., 2000). Detta får den försurande effekt som beskrivits ovan, och gör markens ytskiikt surare än om det hade varit lövbestånd på marken. Dessutom förloras biologisk mångfald vid monokulturer av gran, delvis på grund av surt ytskiikt, och delvis p.g.a. förändrade ljusförhållanden (Felton, 2010).

Studier har även sedan länge visat på artspecifika skillnader mellan gran och björk. Resultaten från olika försök visar att granbestånd försurar marken mer än vad björkbestånd gör. Detta visar på att en björkinblandning i granbestånd kan bidra till att höja pH-värdet i markens ytskiikt. Många försök visar även på att en björkinblandning i granbestånd kan höja totalproduktionen (Brandtberg, 2001; Mård, 1997; Tham, 1988).

Idag har många produktionsförsök gjorts på olika typer av blandbestånd och resultat visar att för att effekterna ska bli så goda som möjligt av blandskog krävs att träden ekologiskt sett kompletterar varandra. Därför är en blandning av just gran och björk gynnsam ur produktionssynpunkt. Gran är

en skuggtålig succesionsart som klarar av att leva delvis överskärnad av andra träd utan att minska i tillväxt, medan björk är ett ljuskrävande pionjärträd med snabb ungdomstillväxt i sin strävan på ljus. Björken har en tillväxthämmande effekt på granen, men har även en positiv effekt på granen genom att skydda den mot abiotiska skador som frost, snöskador och vindskador. Björken har även visat sig kunna förbättra marken genom sitt djupa rotsystem. Rötterna luckrar upp marken och frigör mer tillgänglig näring och låta granens rötter växa djupare ned (Mård, 1997).

Syfte

Syftet med vår rapport är att belysa de olika aspekterna på en björkinblandning. Hur ett blandskogsbruk med gran och björk kan höja markens pH-värde och hur det i sin tur kan påverka de andra värdena.

Skogsbruket i Sverige är baserat på restriktioner och riktlinjer från skogsstyrelsen. Alla skogsägare är skyldiga att följa skogsvårdslagen. Sedan lagändringen 1993 likställdes produktionsmål med miljömål. I lagtexten står numer följande:

1 § Skogen är en nationell tillgång och en förnybar resurs som ska skötas så att den uthålligt ger en god avkastning samtidigt som den biologiska mångfalden behålls.

Vid skötseln ska hänsyn tas även till andra allmänna intressen.

SVL 2008:662. Skogsvårdslagen. Jönköping: Skogsstyrelsen.

Vi vill visa att skogsvårdslagens två mål inte behöver motsäga varandra i frågan om en god ekonomisk avkastning och en ökad biologisk mångfald genom björkinbladning i granbestånd.

Problemformulering

Kan man visa att ett ökat björkinslag i riksskogstaxeringens ytor ger ett högre pH-värde i markytan?

Vilka variabler i riksskogstaxeringens data har inverkan på pH-värdet?

Kan produktions och miljö målen förenas i denna aspekt?

Skulle ett blandskogsbruk kunna skötas rationellt?

Avgränsningar

Vi har valt att enbart jämföra gran och björk, och dess inverkan på markytans pH-värde och varandra. Dels för att gran anses vara det mest försurande barrträdet i Sverige (Anon., 2000) och dels för att björk är en pionjärart och gran är en sekundärart vilket gör att de inte konkurrerar på samma sätt som om båda trädslagen vore pionjärarter (Mård, 1997).

Vi har även valt att avgränsa oss geografiskt till Norrland (Gävleborgs län, Jämtlands län, Västernorrlands län, Västerbottens län och Norrbottens län).

Material och metod

Genom att använda oss av data från riksskogstaxeringen från omdreven 1998-2003 och 2003-2008 har vi tittat på sambanden mellan trädslagsfördelningen och markytans pH-värde.

Variabler vi använt i våra beräkningar:

- Landskap
- Beståndsålder
- Trädslagsfördelning
- pH-värde

pH-mätningarna var olika utförda i de olika omdreven.

I det första omdrevet, 1998-2003, togs alltid ett prov från markytan oavsett humusform. D.v.s. provet togs från humuslagrets övre yta ned till mårslagret/torvlagret/mullens slut, dock max till 10 cm djup. I de provytor med ett mäktigare humuslager än 10 cm togs ändå provet på 10 cm djup.

I det andra omdrevet, 2003-2008, togs proverna på olika djup beroende på humusform. Där jordmånen definierades som mull eller mullliknande moder togs mätningarna på samma sätt som i omdrevet 1998-2003. Där jordmånen definierades som mår, moder eller torv togs mätningarna på mårslagrets/torvlagrets slut. Även om mårslagret/torvlagret var mäktigare än 10 cm togs provet på det faktiska djupet.

Utsökningar gjordes för att finna de variabler som har störst inverkan på markens pH-värde. Därefter söktes samband mellan björkandel och pH-värde för att kunna bekräfta hypotesen om björkens förmåga att höja pH-värdet i marken. Samma typer av utsökningar är gjorda i båda omdreven. Först sorterades alla bestånd med tallinslag bort, detta för att bara jämföra typiska gran och björkmarker. Även alla bestånd under 55 år sorterades bort (se diagram 1 och 4). Dessa två grundsorteringar följde med på alla resterande resultat.

Resterande utsökningar var begränsade geografiskt. Den andra utsökningen var begränsad för att innehålla minst möjliga fjällområden genom att sortera bort Jämtlands län och Västerbottens och Norrbottens lappmark (se diagram 2 och 5). På den sista utsökningen var endast Västerbottens och Norrbottens kustland med i resultaten (se diagram 3 och 6).

Vi har sökt rapporter om blandskogsbruk av björk och gran genom att använda Scopus databas över vetenskapliga artiklar. Sökorden var bland annat *Betula*, *Picea*, *mix**, *economic**, *biodiversity*, *Sweden*. Vi har sökt efter försök gjorda på liknande skogsmarker och träarter som det i riksskogstaxeringens data. Även sammanställningar av forskning och försöksresultat publicerade av Sveriges Lantbruksuniversitet är använda i resultatet. Vi har sökt rapporter och artiklar som kan svara på vår problemformulering om produktion och miljövärden samt skötselprogram för blandskogsbruk.

Efter att diagrammen sammanställts över björkandel och pH-värde så beräknades resultatens signifikans. Detta beräknades med hjälp av MiniTab 16 Statistical Software för att beräkna ett p-värde som visar på signifikansnivån på sambandet mellan björkandel och markytans pH-värde. Signifikansnivån som användes var på 0,05.

Ett p-värde $> 0,05$ visar att man inte kan förkasta nollhypotesen som i detta fall är att pH-värdet inte stiger med ökad björkandel. Ett väldigt lågt p-värde indikerar att det är väldigt låg sannolikhet att nollhypotesen är sann, ett högt p-värde visar på att det är väldigt låg sannolikhet att nollhypotesen är falsk.

I Excel beräknades en enkel linjär regression, som åskådliggörs i våra diagram. En regressionslinje som grundar sig på regressionsekvationen där y (pH-värdet) är den beroende (den som påverkas) variabeln och x (andel björk) är den oberoende (den som påverkar).

I Excel beräknades korrelationen som ett mått på hur väl punkterna ansluter till regressionslinjen, med hjälp av determinationskoefficienten, R^2 . Ju närmare linjen punkterna ligger desto högre är korrelationen. Om $R^2=1$ betyder det att alla punkter ligger på linjen. Om $R^2 = 0$ betyder det att det inte finns någon korrelation alls. Ett negativt R^2 -värde visar på att korrelationen är negativ. Determinationskoefficienten visar hur stor del av variabiliteten i y (pH-värdet) som kan anses vara beroende av x (björkandelen).

Resultat

Resultat från riksskogstaxeringens inventeringar under 1998-2003

Granbestånd med varierande inblandning av björk, i Norrland, uppvisar ett allt högre pH i markens övre skikt när andelen björk är högre (se diagram 1). Sambandet är statistiskt signifikant ($p = 0,009$). pH-värdet i rent granbestånd är ca 4,2 och i ett rent björkbestånd ca 4,5, indikerande en positiv björkeffekt på ca 0,3 pH-enheter.

När utsökningen avgränsas till Norrland utan fjällskogsområden (Jämtlands län, Norrbottens och Västerbottens lappmark) blir den positiva björkeffekten tydligare (se diagram 2). pH-värdet i rent granbestånd är ca 4,1 och i ett rent björkbestånd ca 4,5, indikerande en positiv björkeffekt på ca 0,4 pH-enheter. Sambandet är statistiskt signifikant ($p = 0,005$).

Utsökningen avgränsades ytterligare till att endast omfatta norra Norrlands kustland (Västerbottens och Norrbottens kustland), den positiva björkeffekten blev då som tydligast (se diagram 3). pH-värdet i rent granbestånd är ca 3,8 och i ett rent björkbestånd ca 4,6, indikerande en positiv björkeffekt på ca 0,8 pH-enheter. Sambandet är statistiskt signifikant ($p = 0,001$).

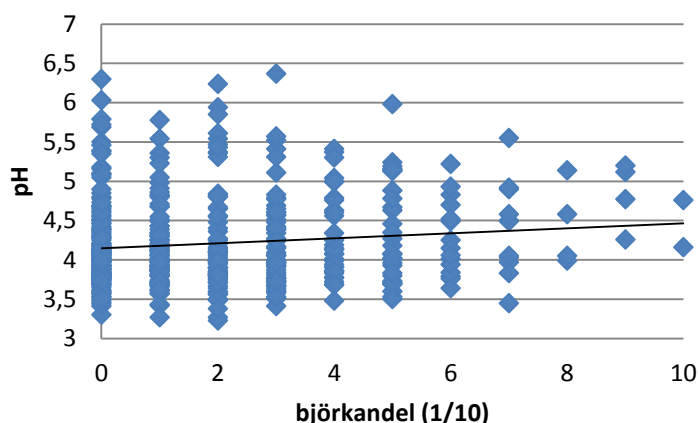


Diagram 1

Utsökning 1

Kriterier: Beståndsålder över 55 år, utan tallinslag.

Varje punkt representerar en provyta (◆). Provytorna är tagna i bestånd med endast björk och gran, och dess björkandel redovisas på X-axeln. På Y-axeln redovisas provytans pH-värde i markytan. $N=486$. p -värde = 0,009. $R^2=0,0142$. Linjen är en linjär regressionslinje (—).

Assortment 1

Criteria's: Stand age over 55 years, no pine in the mixture.

Each point is representing a sample area (◆). The sample areas are taken in stands with a mixture of only spruce and birch. The birch mixture is represented in the x-axis, and the pH-value in soil surface is represented in the y-axis. $N=486$. p -value = 0,009. $R^2=0,0142$. The line is a linear regression line. (—).

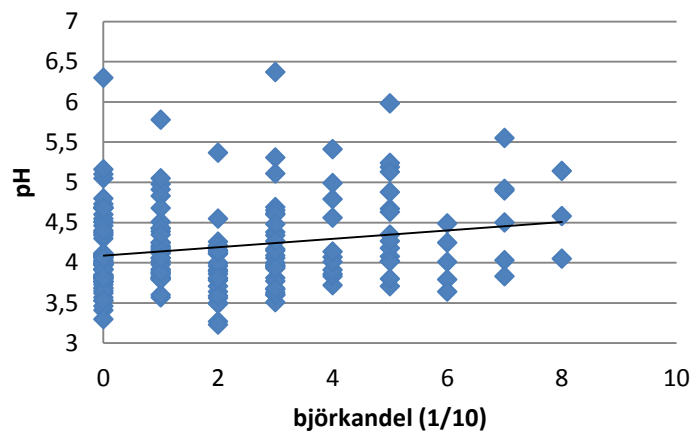


Diagram 2

Utsökning 2

Kriterier: Beståndsålder över 55 år, utan tallinslag, geografisk avgränsning till Norrland (utom Jämtlands län och fjällområdena) Varje punkt representerar en provyta (◆). Provytorna är tagna i bestånd med endast björk och gran, och dess björkandel redovisas på X-axeln. På Y-axeln redovisas provytans pH-värde i markytan. N=191. P-värde = 0,005. $R^2=0,0408$. Linjen är en linjär regressionslinje (—).

Assortment 2

Criteria's: Stand age over 55 years, no pine in the mixture, geographical limitation to Norrland (except Jämtlands county and the mountain areas). Each point is representing a sample area (◆). The sample areas are taken in stands with a mixture of only spruce and birch. The birch mixture is represented in the x-axis, and the pH-value in soil surface is represented in the y-axis. N=191. p-value = 0,005. $R^2=0,0408$. The line is a linear regression line. (—).

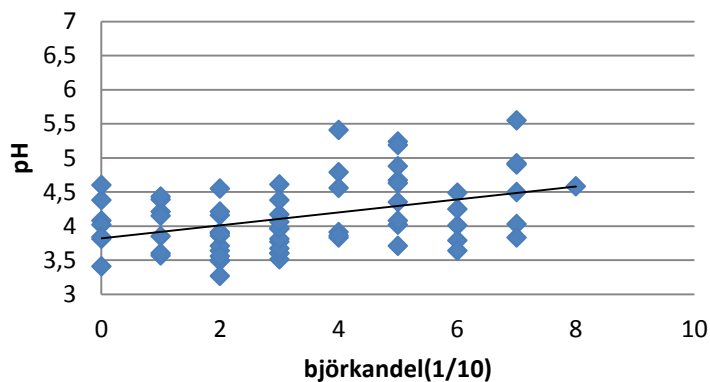


Diagram 3

Utsökning 3

Kriterier: Beståndsålder över 55 år, utan tallinslag, geografisk avgränsning till norra Norrlands kustland (endast Västerbottens och Norrbottens kustland). Varje punkt representerar en provyta (◆). Provytorna är tagna i bestånd med endast björk och gran, och dess björkandel redovisas på X-axeln. På Y-axeln redovisas provytans pH-värde i markytan. N=65. P-värde= 0,001. $R^2=0,1648$. Linjen är en linjär regressionslinje (—).

Assortment 3

Criteria's: Stand age over 55 years, no pine in the mixture, geographical limitation to the north coastland areas of Norrland (only Västerbottens and Norrbottens coastland). Each point is representing a sample area (◆). The sample areas are taken in stands with a mixture of only spruce and birch. The birch mixture is represented in the x-axis, and the pH-value in soil surface is represented in the y-axis. N=65. p-value = 0,001. $R^2=0,1648$. The line is a linear regression line. (—).

Resultat från riksskogstaxeringens inventeringar under 2003-2008

Granbestånd med varierande inblandning av björk, i Norrland, uppvisar ett allt högre pH i markens övre skikt när andelen björk är högre (se diagram 4). Sambandet är statistiskt signifikant ($p = 0,015$). pH-värdet i rent granbestånd är ca 4,2 och i ett rent björkbestånd ca 4,4, indikerande en positiv björkeffekt på ca 0,2 pH-enheter.

När utsökningen avgränsas till Norrland utan fjällskogsområden (Jämtlands län, Norrbottens och Västerbottens lappmark) blir den positiva björkeffekten tydligare (se diagram 5). pH-värdet i rent granbestånd är ca 4,1 och i ett rent björkbestånd ca 4,1, indikerande ingen positiv björkeffekt. Det visar då heller inget statistiskt signifikant samband ($p = 0,973$).

Utsökningen avgränsades ytterligare till att endast omfatta norra Norrlands kustland (Västerbottens och Norrbottens kustland), den positiva björkeffekten blev då som tydligast (se diagram 6). pH-värdet i rent granbestånd är ca 3,8 och i ett rent björkbestånd ca 4,4, indikerande en positiv björkeffekt på ca 0,6 pH-enheter. Sambandet är inte statistiskt signifikant ($p = 0,088$).

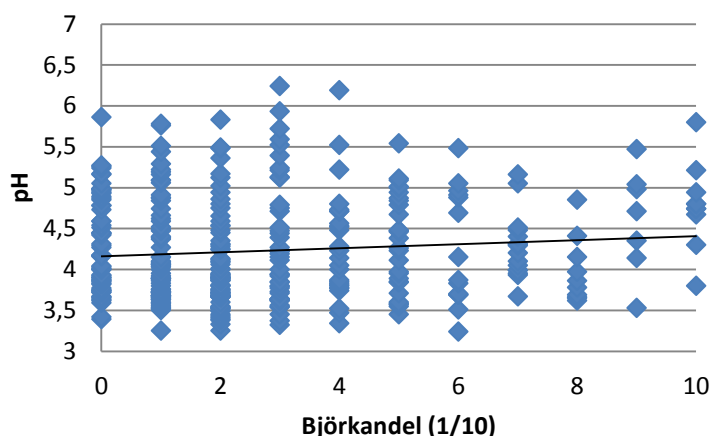


Diagram 4

Utsökning 1

Kriterier: Beståndsålder över 55 år, utan tallinslag. Varje punkt representerar en provyta (◆). Provytorna är tagna i bestånd med endast björk och gran, och dess björkandel redovisas på X-axeln. På Y-axeln redovisas provytans pH-värde i markytan. P-värde = 0,015. $N=373$. $R^2=0,0101$. Linjen är en linjär regressionslinje (—).

Assortment 1

Criteria's: Stand age over 55 years, no pine in the mixture. Each point is representing a sample area (◆). The sample areas are taken in stands with a mixture of only spruce and birch. The birch mixture is represented in the x-axis, and the pH-value in soil surface is represented in the y-axis. $N=373$. $p\text{-value} = 0,015$. $R^2=0,0101$. The line is a linear regression line. (—).

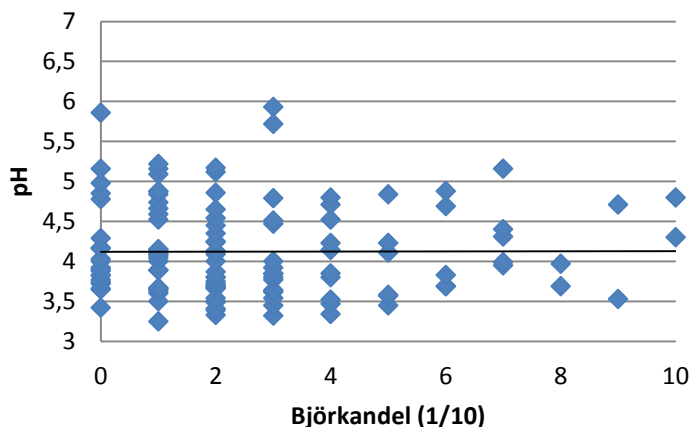


Diagram 5

Utsökning 2

Kriterier: Beståndsålder över 55 år, utan tallinslag, geografisk avgränsning till Norrland

(utom Jämtlands län och fjällområdena). Varje punkt representerar en provyta (◆).

Provytorna är tagna i bestånd med endast björk och gran, och dess björkandel redovisas på

X-axeln. På Y-axeln redovisas provytans pH-värde i markytan. N=125. P-värde = 0,973.

$R^2=0,00001$.

Linjen är en linjär regressionslinje (—).

Assortment 2

Criteria's: Stand age over 55 years, no pine in the mixture, geographical limitation to

Norrland (except Jämtlands county and the mountain areas). Each point is representing a

sample area (◆) The sample areas are taken in stands with a mixture of only spruce and

birch. The birch mixture is represented in the x-axis, and the pH-value in soil surface is

represented in the y-axis. N=125. p-value = 0,973. $R^2=0,00001$. The line is a linear

regression line. (—).

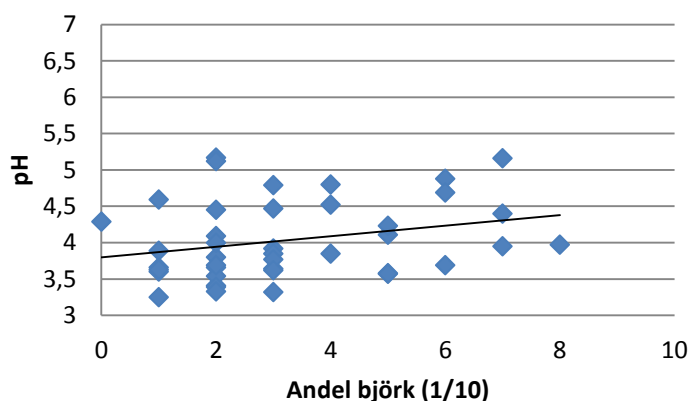


Diagram 6

Utsökning 3

Kriterier: Beståndsålder över 55 år, utan tallinslag, geografisk avgränsning till norra Norrlands kustland (endast Västerbottens och Norrbottens kustland). Varje punkt representerar en provyta (◆). Provytorna är tagna i bestånd med endast björk och gran, och dess björkandel redovisas på X-axeln. På Y-axeln redovisas provytans pH-värde i markytan. N=41. P-värde = 0,088. $R^2=0,0727$. Linjen är en linjär regressionslinje (—).

Assortment 3

Criteria's: Stand age over 55 years, no pine in the mixture, geographical limitation to the north coastland areas of Norrland (only Västerbottens and Norrbottens coastland). Each point is representing a sample area (◆). The sample areas are taken in stands with a mixture of only spruce and birch. The birch mixture is represented in the x-axis, and the pH-value in soil surface is represented in the y-axis. N=41. p-value = 0,088. $R^2=0,0727$. The line is a linear regression line. (—).

Resultat från litteraturstudier om blandskogsbruk av björk och gran

Produktionsvinster genom en blandskogseffekt

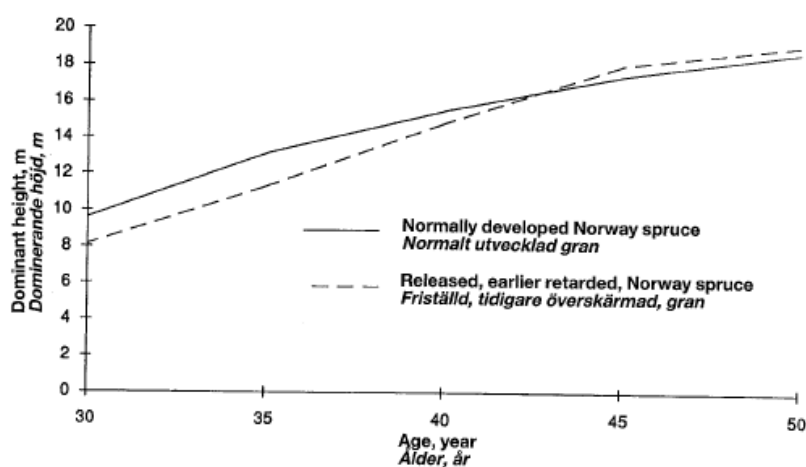
Med blandskogseffekt menas att en blandning av två eller flera trädslag skall kunna producera mer än en monokultur av det högst producerande trädslaget (Mård, 1997). Den reella, ekologiska blandskogseffekten uppnås genom en "nisch-differentiering" emellan trädslagen, d.v.s. att träden i teorin utnyttjar mer av ståndortens resurser och ger därmed en större total tillväxt. Till exempel genom att deras rötter tar upp olika näringsämnen eller att nedbruten förna från björk skulle gynna granens näringsupptag. Det finns även teorier om att björk skulle fungera som en kvävepump, med detta menas att björkens djupare rotsystem kan ta upp mer kväve från markens djupare förråd av kväve som granen sedan i sin tur kan tillgodogöra sig (Brandtberg, 2004).

Det finns inga empiriska försök som visar på att en sådan nisch-differentiering kan höja totalproduktionen i praktiken. Även om en nisch-differentiering inte kan påvisas så visar flera empiriska blandskogsförsök att det går att uppnå en ökad totalproduktion genom en trädslagsblandning av björk och gran (Johansson, 2001).

Mård (1997) har undersökt produktionen i naturligt förnygrade blandbestånd av gran och björk (en naturlig blandning av glasbjörk och vårtbjörk). Där björken antingen har röjts bort från provytorna, eller lämnats som en skärm på 500 stammar/ha. När bestånden var mellan 25 och 35 år gamla

avverkades de och den totala stamproduktionen uppmättes. Den var avsevärt högre i blandbestånden. Blandbestånden hade i genomsnitt producerat 4180 kg torrsvikt/ha, medan de rena granbestånden endast producerat i genomsnitt 2710 kg torrsvikt/ha.

Testresultaten stämmer bra med Åsa Thams tillväxtkurvor på empiriska försök av blandbestånd med gran och björk från 1988, som är ett av de mest omfattande försöken inom området. Dessa försök har sträckt sig över en hel omloppsperiod, och ligger idag till grund för de tillväxtkurvor som finns för ett skärmskogsbruk av björk och gran. Även Thams försök visar på att en björkinblandning ger en högre totalproduktion än ett rent granbestånd efter 50 år, om skärmen avvecklas efter 20-30 år. Granens tillväxthastighet är lägre i juvenilåren, men snabbare efter björkskärmsavvecklingen (se figur 2)(Tham, 1988).



Figur 2 Granens höjdtutvecklingskurvor över tid. Diagrammet visar gran som utvecklats under en björkskärm som avvecklades när beståndet var 30 år gammalt, streckad linje. Det visar även gran som utvecklats som normalt, utan inslag av björkskärm, heldragen linje.

Figure 2 Height development over time for Norway spruce. The dotted line shows the development for Norway spruce that have grown under a birch shield, and been released when the stand age was 30 years. The solid line shows the development for a normal developed stand without a birch admixture.

(Tham, 1988)

Det finns även produktionsmodeller som visar på en positiv nettotillväxtökning. Ett exempel är produktionsmodellen som redovisas i tabell 1 (se tabell 1) (Agestam et al., 2005). Denna produktionsmodell bygger på observationer från ett antal studier på blandbestånd i Sverige och Finland.

Tabell 1 Volymtillväxt och total volymproduktion för rena granbestånd och blandbestånd med björk. Uppgifter från beräkningar med produktionsmodeller av Mielikäinen (1980 resp 1985)

Table 1. Volume growth (m³sk/ha, year) and total volume yield (m³sk/ha) in pure spruce stands and mixed stands of spruce and birch. Results from productionmodels of Mielikäinen (1980 and 1985)

Trädslagssammansättning	Totalproduktion (m ³ sk/ha)	Omloppstid,år	Medeltillväxt (m ³ sk/ha, år)	Relativ tillväxt
100 % gran	527	85	6,2	100
75 % gran - 25 % björk	547	85	6,4	104
50 % gran - 50 % björk	550	85	6,5	104
25 % gran - 75 % björk	549	85	6,5	104

Skötsel och kvalitetsaspekter

Då granen är ett ljuskänsligt sekundärträslag måste man avveckla skärmen succesivt, annars riskerar man kraftigt minskad tillväxt då granarna lätt blir ljuschockade vid friställning. Avvecklas skärmen succesivt kommer granarna efter friställningen att få en högre tillväxt jämfört med granar som inte varit överskärnade (Matthews, 1989). Denna tillväxtkompensation som sker efter att granarna växt långsammare under en björkskärm åskådliggörs även i figur 2.

En stegvis avveckling av björkskärmen innebär en ökad risk för mekaniska skador på de kvarvarande granstammarna, då det kräver fler ingrepp i beståndet. Studier visar att i genomsnitt 14 % av granarna var skadade efter 5 år, då skadebilden stabiliserats. Det mesta var mekaniska skador (vind/snö) som uppstått som en följd av friställningen (Mård, 1997).

Skärmen bör ställas när granen nått 1-2 meters höjd, 500-800 st/ha av björk. En gles skärm (500-600) ger ingen total tillväxtökning, men heller inte ett minskat granutbyte. En tät skärm (800) ger ett minskat granutbyte, men samtidigt det största nettoutbytet. Efter 25 år har en skärm av vårtbjörk producerat ca 70-80 m³/ha (Tham, 1988). För att upprätthålla en hög totalproduktion är det viktigt att avveckla skärmen i tid, innan granarna blivit alltför hämmade i sin tillväxt. På bördiga marker kan man behöva gå in i förtid och avveckla björkskärmen om granarna växt sig så höga att granarnas toppskott börjar ta mekanisk skada av skärmbjörkens grenverk (Fries, 1974).

Ett skärmskogsbruk ökar inte bara totalproduktionen, utan kan även höja kvalitén på det färdiga granvirket. Skärmen kan bidra till att virket får klenare kvist och en minskad andel juvenilved. Det är i ungskogsfasen som skötseln har störst påverkan på dessa, framtida, kvalitetsaspekter. Om ungskogen hålls tät, och granarna långsamt får växa upp under en björkskärm reduceras kvist och diametertillväxten (Agestam et al., 2000; Hägg, 1989; Tham, 1988).

Även en granföryngring under björkskärm kan bidra med att öka kvalitén på granvirket. Björkskärmen skyddar plantorna från kvalitetsnedsättande frostsador, och kan dessutom skydda plantorna från betessador på marker där betestrycker är hårt (Matthews, 1989).

Björken är ett träd med djupare rotsystem än gran och blir, framför allt i avlövat tillstånd, stormfastare än gran. Detta tros kunna utnyttjas som ett stormskydd för annars stormkänsliga granbestånd, och höjer därmed beståndens kvalitet och säkerhet. Björk har dessutom en högre fuktighetstolerans än gran och björkbestånd kan etableras på marker som är alltför fuktiga för gran. När väl ett bestånd etablerats fungerar de växande björkrötterna som vattenpumpar som effektivt kan dränera marken och göra det möjligt för annars omöjliga granplanteringar (Almgren, 1990).

Diskussion

Kan man visa att ett ökat björkinslag i riksskogstaxeringens ytor ger ett högre pH-värde markytan?

Ja, resultatet från våra beräkningar av det första omdrevet av riksskogstaxeringens provytor visar att det finns ett signifikant samband mellan ökad björkandel och ett ökat pH-värde i markytan. Beräkningar från riksskogstaxeringens andra omdrev av mätningar visade inte på ett signifikant samband.

I det första omdrevet fick ett signifikant samband i alla våra utsökningar. Vi förlitar oss på detta resultat med tanke på att pH-mätningarna konsekvent togs nära markytan. Detta eftersom det är i just markytan som den positiva björkeffekten är som tydligast. Längre ned i markprofilen syns inte effekten lika tydligt. Det visar sig i våra resultat från det andra omdrevet, där vi också vet att många utav pH-mätningarna togs på ett större djup.

Att våra beräkningar inte visar på ett lika starkt samband som ovan nämnda studier kan bero på att de provytor vi jämför inte ligger på tillräckligt lika ståndorter. För att kunna mäta trädslagets inverkan på markens pH-värde är det viktigt att alla andra faktorer som påverkar pH-värdet är lika (Nykvist, 1961). Bestånden i riksskogstaxeringens mätningar är slumpmässigt valda och vi känner inte till alla pH-påverkande variabler inom provytorna. För oss hade det varit värdefullt att kunna se vad bestånden angränsar till (vattendrag, utsläppskällor, nyupptagna kalhyggen etc.) eller fått information om beståndshistoriken. Vi anser att beståndshistoriken är en viktig aspekt när det gäller markytans pH-värde, då olika sorters markanvändning påtagligt påverkar marken, dess näringsstatus och pH-värde. Med mer bakgrundsinformation hade vi bättre kunnat sortera ut bestånd med lika förutsättningar och troligen sett mer tydliga samband mellan björkinslag och markens pH-värde.

Svagheten med riksskogstaxeringens data är att vi inte vet det exakta mätdjupet på någon av ytorna. Ytorna från det andra omdrevet har en större spridning på sitt mätdjup, då inte alla provytor mättes inom de översta 10 cm. Detta tror vi är orsaken till att vi inte får signifikanta resultat i det andra omdrevet. Trädslagets påverkan på markens pH-värde är som störst nära markytan (Lundmark, 1988).

Trots detta, får vi ett signifikant samband mellan ett ökat pH-värde i markytan och en ökad andel björk i beståndet. Detta innebär att man kan använda sig av en ökad björkinblandning för att förbättra markkemin och minska skogsmarkens ytliga försurning.

Andra studier visar på att björkandelen har en större inverkan på markens pH-värde än vad vi kommit fram till (Brandtberg, 2001; Lundmark, 1988). Där har försök visat att skillnaden i pH-värdet i humuslagret i rena björkbestånd är upp till 1 pH-enhet högre än i rena granbestånd på likvärdiga marker (Liljelund et al., 1986; Johansson & Lundmark, 1986). Även om de studier vi studerat visar på olika grader av ökad produktion, så har vi inte lyckats hitta några studier som visar på att ett björkinslag i granbestånd skulle kunna sänka produktionen.

Vilka variabler i riksskogstaxeringens data har inverkan på pH-värdet?

Vid våra beräkningar av riksskogstaxeringens data hittade vi det starkaste sambandet mellan ett ökat pH-värde och ökad björkandel genom att sortera bort en del provytor som innehöll icke önskvärda variabler.

Alla bestånd med en beståndsålder under 55år sorterades bort i våra uträkningar. Detta för att vi endast ville ha med skogar där trädens tillväxt pågått så pass länge att de tydligt hunnit präglat marken med avseende på näringsupptag (Anon., 2000). Vi sorterade även bort alla bestånd med tallinslag för att vi konsekvent endast ville studera björk och granskogar, och dessa två trädslags inverkan på pH-värdet. De geografiska områden som sträcker sig över fjällkedjan (Jämtlands län, Norrbottens och Västerbottens lappmark) sorterades bort i en del senare beräkningar p.g.a. att de områdena troligen har en mindre andel produktionsskogs som lämpar sig för både gran och björk och en avvikande beståndshistorik.

En annan variabel, och dess inverkan på pH-värdet, som vi studerade var jordarterna i bestånden. Vi provade att sortera bort olika jordarter, men det förändrade inte vårt resultat. Slutsatserna från våra data kan sägas vara att jordarterna kan ha en påverkan på markens pH-värde, men den har i så fall lika stor effekt på både gran och björkmarker.

Av våra resultat kan vi dra slutsatsen att den geografiska spridningen på bestånden verkar vara den faktor som påverkar pH-värdet mest i riksskogstaxeringens data. Detta tror vi beror på att de bestånd som ligger nära varandra geografiskt har liknande förutsättningar som påverkar en marks pH-värde. T.ex. liknande beståndshistorik och markanvändning, samma mängd antropologiskt försurat nedfall etc.

Svagheten med vår geografiska avgränsning är att det blir färre provytor kvar att jämföra, vilket ger lägre säkerhet på de statistiska sambanden.

Kan produktions och miljö målen förenas i denna aspekt?

Genom att hålla ett blandskogsbruk av björk och gran kan man öka både det ekonomiska och det ekologiska värdet i skogen.

Våra resultat från litteraturstudien visar på att ett skärmskogsbruk av gran under björk kan ge en ökad totalproduktion av biomassa. De produktionsmodeller vi tittat på har alla visat på en positiv nettotillväxtökning. Produktionsmodeller kan dock inte anses vara lika tillförlitliga som empiriska försök. Modellerna bygger förvisso på empiriska data, men de har sedan beräknats för att generellt gälla för en hel omloppstid. Det finns få empiriska försök som sträcker sig över en hel omloppstid då detta är mycket tidskrävande. Då är produktionsmodeller det man har att tillgå och förlita sina resultat utifrån. Det enda empiriska försök som vi har hittat som sträcker sig över en längre period är Thams försöksserie från 1985. Även om detta visa på en positiv nettotillväxtökning så anser vi att det behövs fler än ett försök för att kunna få statistiskt signifikanta resultat.

Den ökade efterfrågan på bioenergi kan ge denna typ av skötsel en god ekonomi för den enskilde skogsägaren. Resultatet visar även på ytterligare positiva produktionsaspekter med blandskogsbruk. Då björk som skärmträd, i enighet med Matthews (1989) även utgör ett gott skydd mot abiotiska, tillväxtnedsättande, skador på gran såsom frostproblem vid föryngring, betesskador i ungskog och stormkänslighet i vuxna bestånd så kan även detta att ha en indirekt positiv inverkan på produktionen. Detta kan minska avgången i beståndet och i det slutavverkningsmogna beståndet hålla fler granstammar, som dessutom bär med sig mindre skador från ungskogsfasen.

En negativ aspekt ur produktionssynpunkt är att ett alternativt skärmskogsbruk kräver fler tidskrävande åtgärder i beståndet under en omloppstid. Björkskärmen måste avverkas successivt i flera omgångar, annars riskerar granen att utsättas för ljuschock, med nedsatt tillväxt som följd. Varje extra åtgärd i ett bestånd ökar samtidigt risken för mekaniska körskador på de kvarvarande

stammarna som även detta leder till nedsatt tillväxt och produktion (Mård, 1997). Denna mer aktiva skötsel kräver ingen extra utrustning, men kan bli dyrare än traditionellt trakthyggesbruk. Framförallt kräver det mer kunskap och engagemang hos den enskilde skogsägaren.

De ekonomiskt negativa aspekterna bör ändå vägas mot de ekonomiska vinsterna med ett ökat biomassauttag. Man bör även väga in de ekologiska vinsterna som vi kommit fram till i vårt resultat. Blandbestånd får en förbättrad markkemi och ett högre pH-värde i humuslagret. Dessutom blir det en större mängd makronäringsämnen i omsättning som trädens rötter kan tillgodogöra sig och en ökad biologisk mångfald med ökad björkinblandning.

Biodiversiteten ökar både direkt och indirekt i ett blandbestånd av björk och gran jämfört med ett homogent granbestånd. Enligt Pleijel et al. (2001) så gynnas fågelliv och vaskulära växter främst vid ökat björkinslag, vår hypotes om en ökad biologisk mångfald bekräftar i enighet med dessa studier. Wallrup diskuterar begreppet single-tree-effect. Runt varje enskild björkstamma är det en högre abundans av kärllväxter än runt motsvarande granstam (Wallrup et al., 2006; Felton et al., 2010). Våra vanligaste mossor däremot konkurreras ut av fler kärllväxter och missgynnas därför av björkinslag. Trots det så ökar det totala antalet arter med ökat björkinslag (Saetre et al., 1997). Enligt Koptsik et al. (2001) så är det just pH-värdet som är en bra indikator på biologisk mångfald vad gäller örter. Dessa studier visar att ett ökat björkinslag höjer de ekologiska värdena i beståndet. Detta dels genom den direkt pH-höjande effekten som gynnar örter och kärllväxter, men kanske framför allt tack vare ändrade abiotiska förhållanden. Ett björkbestånds förändrar ljusinsläppet, och trädet utgör ett annorlunda bomaterial i beståndet, som i sin tur gynnar många fågelarter som inte trivs i täta granbestånd.

Björk benämns ofta som markförbättrare, främst i äldre litteratur. Detta har sin grund i olika aspekter. Björk har ett djupare rotsystem jämfört med gran på likvärdiga marker. Rötterna kan ta upp mer näring från ett större djup som granar sedan kan tillgodogöra sig (Saetre, 1999). Dessutom banar djupare björkrötter väg för granrötter som, med hjälp av en björkinblandning, kan rota sig djupare i marken och därmed bli mer stormfasta (Rosengren et al., 2004). Björkrötter har endast 27,5 % av sina rötter i humuslagret, medan gran har 64,1 % av sina rötter i det översta humuslagret. 30 % av björkens rötter når djupare än 20 cm, medan endast 5 % av granens rötter når djupare än 20 cm (Lundmark, 1988).

I enighet med Agestam et al. (2006) så kan odling med flera trädslag i blandbestånd vara ett sätt att sprida riskerna, vilket kan säkra en framtida produktion. Vi anser att fördelen att odla blandbestånd, till skillnad mot odling av flera trädslag i enskilda, trädslagsrena, bestånd är att bestånden successivt kan överföras till mer eller mindre rena bestånd av det trädslag som med ny kunskap eller med en ny marknadssituation verkar mest lovande. En tät björkskärm ger även en högre kvalitet på granvirket, då granen växer långsammare i ungdomsfasen och får en mindre andel juvenilverd, samtidigt som kvalitetsnedsättande frostsador förhindras.

Björkens pH-höjande förmåga bidrar också till en mer gynnsam markkemi för omgivande granar. Tack vare björkens djupare rotsystem kan de avgivna vätejonerna spridas ut och inte enbart hamna i den redan sura mären, utan även i den basiska mineraljorden där vittring neutraliserar. Krontaket är glesare och tar inte upp lika mycket luftburna föroreningar som senare bidrar till beståndets försurning genom krontropp och stamrinning. Enligt Lundmark (1988) så är björkens förna är mer vattenlöslig vilket gör att dess basverkande näringsämnen frigörs snabbare. Björkförna gynnar även makroorganismer, t.ex. dagmaskar, som sätter näringen i bättre cirkulation, och ökar inblandningen av neutraliserande mineraljord i markytan.

Ytterligare positiva aspekter som förenar miljö och produktionsmål är att ett ökat björkinslag i

granbestånd möjliggör ett ökat grotuttag utan att marken mister viktiga makronäringsämnen och därmed utsätts för en ökad försurning. Blandbestånd med fler antal stammar/ha får också en ökad mängd grot (Brandtberg, 2001; Nykvist et al., 1985). Detta tror vi kan innebära att det kan göras lika stora grotuttag som i rena granbestånd, samtidigt som man kan lämna kvar en del av groten i beståndet. Detta medför att den goda ekonomin i grotuttag kan bibehållas, samtidigt som den kvarlämnade groten bryts ned och återför viktiga baskatjoner till marken.

Andra aspekter som vi vill visa på som knyter ihop miljö och produktionsmål är certifiering av skogsbruket. För en FSC-certifiering krävs det bland annat att man i skogar ovan *Limes norrlandicus* lämnar minst 5 % löv vid slutavverkningar (FSC Sverige, 2010). Ett certifierat skogsbruk ger inte bara miljömässiga vinster, i och med ett ökat lövinslag i bestånden, utan ger även bättre betalt för virket i de avverkade bestånden.

Sammanfattningsvis kan vi utifrån vårt resultat säga att det går att bedriva ett lönsamt skogsbruk, med ökade biologiska vinster. De ekonomiska vinsterna tror vi dels styrs av marknadens priser för lövbiomassa, men även skogsägarens kostnader för den extra arbetsinsatsen och engagemang som krävs i ett alternativt skärmskogsbruk.

Skulle ett blandskogsbruk kunna skötas rationellt?

Ett blandskogsbruk kräver som sagt en större insats från skogsägaren. Vi tror ändå att framförallt privata skogsägare, med intresse för skogens ekologiska värden, kan sköta en blandskog av gran och björk rationellt med god ekonomisk avkastning. Det finns färdiga skötselprogram för ett sådant skärmskogsbruk, som inte kräver mer kunskap än ett traditionellt trakthyggesbruk. Bland annat har Sveriges lantbruksuniversitet utformat ett rationellt skötselprogram (se tabell 2).

Tabell 2 Detta är ett rationellt skötselprogram för ett skärmskogsbruk av gran under björkskärm. Utformat av Sveriges Lantbruksuniversitet (Johansson, T. 2001)

Table 2. This is a rational forest management program for shelter forestry with Norway spruce under a shelter of birch. Developed by Swedish university of agricultural sciences (Johansson, T. 2001)

Skötselprogram för blandbestånd av björk och gran

Etablering av blandbestånd i granplanteringar eller naturligt förnygrade granbestånd:

- Røj björkarna första gången när de är 3–5 meter höga (5–7 år gamla). Stamantalet efter en røjning bör vara 2500–3000 stammar per hektar.
- När björkarna är 7–9 meter höga gallras de till 1000–1500 stammar per hektar.
- När björkarna är 10–12 meter höga (ca 20 år) gallras de på nytt till 500–800 stammar per hektar.
- Björkskärmen avverkas vid 30–40 års ålder beroende på bördighet och björkarnas och granarnas tillväxt. Alternativt sparas 100 björkar per hektar vid avvecklingen av björkskärmen. I detta fall sköts björkarna för framtida timmerproduktion och avverkas vid 60–70 års ålder.

Om man vill plantera in gran under björk, exempelvis för att komplettera naturligt förnygrad gran eller en delvis misslyckad tidigare granplantering, görs planteringen lämpligen i samband med den första røjningen av björken, d.v.s. under en skärm av 2500–3000 björkar per hektar.

Blandskogsbruket kräver inga speciella åtgärder eller maskiner, så det kräver ingen extra investering för skogsägaren. Däremot kräver det extra arbetsinsatser, som kan bli dyrt, beroende på om man utför detta själv, eller hyr in entreprenörer.

Sammanfattningsvis tror vi att på marker med ett naturligt stort uppslag av björk kan beståndet skötas på ett relativt enkelt och rationellt sätt för en omloppsperiod. För att det skall vara lönsamt med ett skärmskogsbruk bör björken vara självförnygrad då björkplantor i dagsläget är dyra.

Referenser

- Agestam, E & Ekö P-M & Johansson U & Klang, F. (2000). Skogsskötsel för kvalitet. *Skog & Forskning, Nr 1:2000*.
- Agestam, E. & Fahlvik, N. & Karlsson, M. & Nilsson, U. (2005) Blandskog.(*SUFOR*). ISBN 91-576-6813-2
- Agestam, E. & Bergquist, J. & Bergqvist, G. & Johansson, K. & Langvall, O. & Långström, B. & Petterson, M. (2006). Stormskadad skog- föryngring, skador och skötsel. Jönköping: Skogsstyrelsen (*Rapport 9:2006*).
- Almgren, G. (1990). *Lövskog: Björk, asp och al i skogsbruk och naturvård*. Skogsstyrelsen.
- Anon. (2000) *Naturmiljö I siffror 2000*. s 166-168. Halmstad: Sveriges officiella statistik, 2000.
- Bernes, C. (2012). Förurning. [Elektronisk] I *Nationalencyklopedin*. Tillgänglig: <http://www.ne.se/lang/f%C3%B6rurning> [2012-03-07]
- Brandtberg, P.-O. (2001). *Mixing birch in Norway spruce stands*. Swedish university of agricultural sciences (Silvestria 185:2001).
- Brandtberg, P.-O. (2004). Blandat eller renat?: positiv blandskogseffekt ingen ekologisk grundlag. Sveriges lantbruksuniversitet. *Fakta skog (Nr 2:2004)*.
- Eriksson, J. & Nilsson, I. & Simonsson, M. & Wiklander, L. *Wiklanders marklära*. 2005 Lund : Studentlitteratur. ISBN: 91-44-02482-7
- Felton, A. & Lindbladh, M. & Brunet, J. & Fritz, Ö. (2010). Replacing coniferous monocultures with mixed-species production stands: An assessment of the potential benefits for forest biodiversity in northern Europe. (*Forest Ecology and Management 260 (2010) 939–947*).
- Fries, J., (1974), Björk och gran. In: Framtidsskogen - Skogsproduktionens mål och medel (Birch and spruce Future forests: objectives and methods of forest production). Skogshögskolan, Institutionen för skogsproduktion. *Rapporter och uppsatser 33, 30–37*.
- FSC Sverige. (2010) *Svensk skogsbruksstandard enligt FSC med SLIMF-indikatorer*. (V2-1 050510).
- Hansson, K. & Olsson, B.A., & Olsson, M. & Johansson, U. Berggren Kleja, D. (2011) Differences in soil properties in adjacent stands of Scots pine, Norway spruce and silver birch in SW Sweden. *Forest ecology and management 262 (2011) 522-530*.
- Hägg, A. (1989). Björkens inverkan på tallens grengrovlek och grenrensning I blandade bestånd. Sveriges lantbruksuniversitet. (*Institutionen för virkeslära. Rapport 208*). ISBN 91-576-3858-6.
- Johansson, M-B. & Lundmark, J-E. (1986) Markmiljö i gran- och björkbestånd. *Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 2/86*.
- Johansson, T. (2001). Blandskog av björk och gran: merproduktion och mångfald. Sveriges lantbruksuniversitet. *Fakta skog (Nr 12:2001)*.
- Koptsik, S. & Berezina, N. & Livantsova, S. (2001). Effects of natural soil acidification on biodiversity in boreal forest ecosystems. *Water, air and soil pollution (130:1025-1030)*.

- Liljelund, L-E. & Nilsson, I. & Andersson, I. (1986). Trädslagsvalets betydelse för mark och vatten : en litteraturstudie med speciell referens till luftföroreningar och försurning. Solna: Statens naturvårdsverk. *Rapport 3182*.
- Lundmark. (1988). *Skogsmarkens ekologi: ståndortsanpassat skogsbruk : Del 2 – Tillämpning*. November 1988. Jönköping: Skogsstyrelsen.
- Mattews, J D. (1989) *Silvicultural Systems*. *Oxford University Press*. ISBN: 0 19 854670
- Miles, J. (1985). The pedogenic effects of different species and vegetation types and the implications of succession. *Journal of soil science*, 1985:36, ss. 571-584.
- Mård, H. (1997). Stratified mixture of young Norway spruce and birch as an alternative to pure stands of Norway spruce. *Swedish university of agricultural sciences. Silvestria* 35.
- Naturvårdsverket. (2011). Nationell plan för kalkning 2011-2015. *Rapport 644:juni 2011*. ISBN: 978-91-620-6449-5
- Naturvårdsverket. (2011). Skogsbruk försurar. [Online] Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Start/Tillstandet-i-miljon/Forsurning/Skogsmark/Skogsbruk-forsurar/> [2012-04-13]
- Nykvist, N. & Rosén, K. (1985). Effect of clear-felling and slash removal on the acidity of northern coniferous soils. *Forest Ecology and Management* (11 (1985) 157–169)
- Nykvist, N. (1961) Björken som markförbättrare: En jämförelse mellan björkförna och granförna. *Svenska skogsvårdsföreningens tidskrift nr 3, 1961*.
- Pjeijel, H. & Bråkenhielm, S. & Ericson, L. & Finlay, R. & Hallingbäck, T. & Lundkvist, H. & Taylor, A. (2001). Effekter på biologisk mångfald av markförsurning och motåtgärder. Skogsstyrelsen. *Markförsurning och motåtgärder. Rapport 11C, 2001*.
- Riksdagens revisorer. (1997). *Miljövårdsarbetet och försurningen*. Rapport 1996/97:8
- Rosengren, U. & Stjernquist, I. (2004). Gå på djupet!: Om rotdjup och rotproduktion i olika skogstyper. (SUFOR). ISBN: 91-576-6617-2.
- Saetre, P. & Sturesson Saetre, L. & Brandtberg, P.-O. & Lundkvist, H. & Bengtsson, J. (1997). Ground vegetation composition and heterogeneity in pure Norway spruce and mixed Norway spruce – birch stands. *Canadian journal of forest research* (27:2034-2042).
- Saetre, P. (1999). Spatial pattern of ground vegetation, soil microbial biomass and activity in a mixed Spruce-birch stand. *Ecography* (22:183-192).
- Tham. Å. (1988) Yield prediction after heavy thinning of birch in mixed stands of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and birch (*Betula pendula* Roth & *Betula pubescens* Ehrh.) Garpenberg: Sveriges lantbruksuniversitet. (*Institutionen för skogsproduktion, Rapport 23*)
- Wallrup, E. & Saetre, P. & Rydin, H. (2006). Deciduous trees affect small-scale floristic diversity and tree regeneration in conifer forests. (*Scandinavian journal of forest research*, 2006; 21: 399-404).