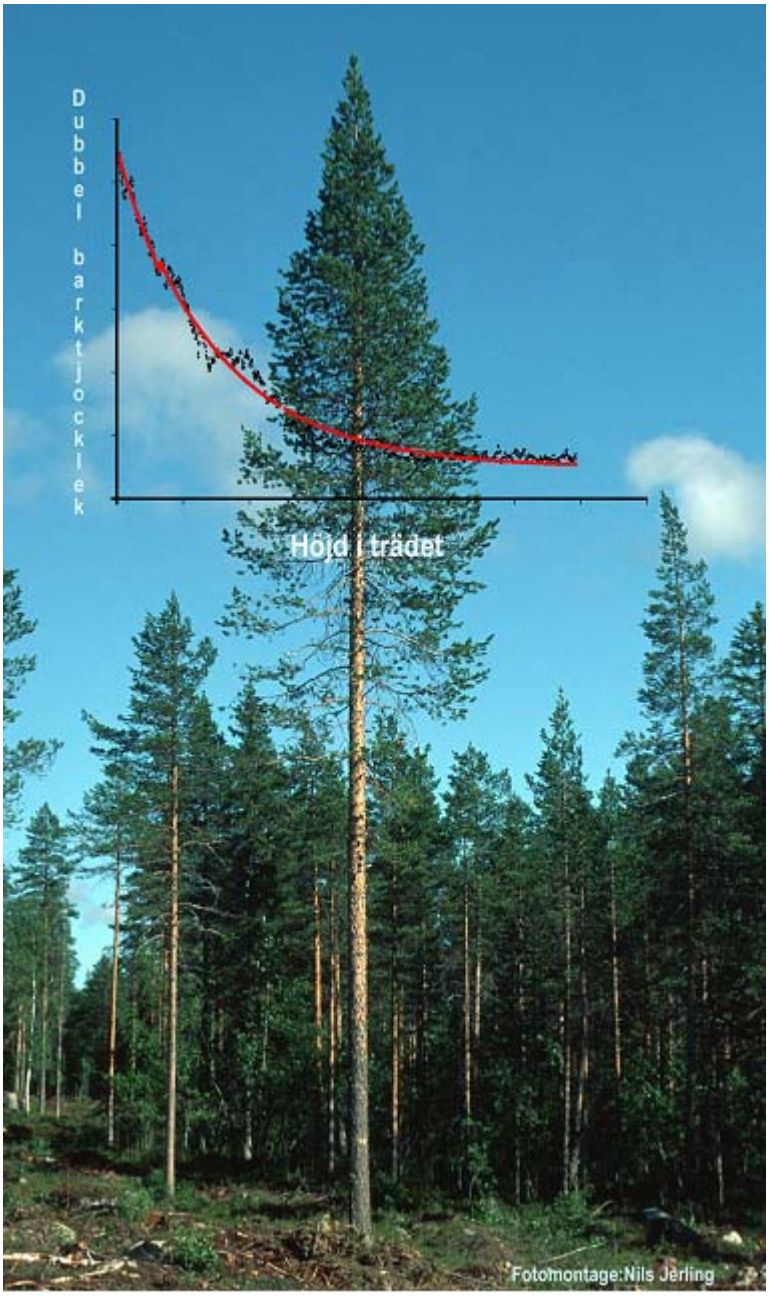
ARBETSRAPPORT

FRÅN SKOGFORSK NR 575 2004



Funktioner för skattning av barkens tjocklek hos tall och gran vid avverkning med skördare

Björn Hannrup

SKOGFORSK

Uppsala Science Park, SE-751 83 UPPSALA, Sweden Ph. +46 18 18 85 00 • Fax. +46 18 18 86 00
skogforsk@skogforsk.se • http://www.skogforsk.se

Ämnesord: Aptering, barkfunktion, skördarmätning.

Skogforsk – Stiftelsen Skogsbrukets Forskningsinstitut

Skogforsk arbetar för ett långsiktigt, lönsamt skogsbruk på ekologisk grund. Bakom Skogforsk står skogsbolag, skogsägareföreningar, stift, gods, allmänningar, plantskolor, SkogsMaskinFöretagarna 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.

Skogforsk arbetar med forskning och utveckling med fokus på tre centrala frågeställningar: Skogsodlingsmaterial, Skogsskötsel samt Råvaruutnyttjande och produktionseffektivitet. På de områden där Skogforsk har särskild kompetens utförs även i stor omfattning uppdrag åt skogsföretag, maskintillverkare och myndigheter.

Serien ARBETSRAPPORT dokumenterar långliggande försök samt inventeringar, studier m.m. och distribueras enbart efter särskild beställning.

Forsknings- och försöksresultat från Skogforsk publiceras i följande serier:

NYTT: Nyheter, sammanfattningar, översikter.
RESULTAT: Slutsatser och rekommendationer i lättillgänglig form.
REDOGÖRELSE: Utförlig redovisning av genomfört forskningsarbete.
HANDLEDNINGAR: Anvisningar för hur olika arbeten lämpligen utförs.

ISSN 1404-305X

Innehåll

Förord 3
Sammanfattning 4
Bakgrund 4
Material och metoder 6
Mätning av barktjockleken 7
Filtrering och datareduktion 9
Statistisk analys tall – stamtvärsnitt nedan timmergränsen 10
Statistisk analys tall – stamtvärsnitt ovan timmergränsen 12
Statistisk analys – gran 14
Kalibrering och validering av barkfunktionen för tall och jämförelse med de barkfunktioner som används i skördarna i dag 16
Kalibrering och validering av barkfunktionen för gran och jämförelse med den barkfunktion som används i skördarna i dag 17
Resultat och diskussion 18
Medelvärden och parameterskattningar för den nya tallfunktionen 18
Medelvärden och parameterskattningar för den nya granfunktionen 19
Kalibrering och validering av barkfunktionen för tall och jämförelse med de barkfunktioner som används i skördarna i dag 20
Kalibrering och validering av barkfunktionen för gran och jämförelse med den barkfunktion som används i skördarna i dag 25
Begränsningar när det gäller tillämpningar av barkfunktionen för tall 29
Begränsningar när det gäller tillämpningar av barkfunktionen för gran 30
Praktisk tillämpning av den nya barkfunktionen för tall 31
Praktisk tillämpning av den nya barkfunktionen för gran 32
Referenser 33

Förord

Johan Oja, Trätek i Skellefteå, har utvecklat bildanalysprogrammet för mätning av barktjocklek på tomografibilder samt ansvarat för mätningarna. John Arlinger, Johan Möller och Jan Sondell, Skogforsk har tillhandahållit valideringsmaterial och medverkat i diskussioner under arbetets gång. Lennart Norell, Inst. för biometri och teknik, SLU, har bidragit med statistisk rådgivning. Lars Wilhelmsson, Skogforsk, har initierat studien samt lämnat synpunkter på manuskriptet. Er varmt tack till samtliga för er medverkan!

För utvecklingen av barkfunktionen för gran användes material från STFIs och Skogforsks samarbetsprojekt Skog-Massa-Papper (SMP), vilket finansierats av NUTEK.

Denna studie har finansierats av medel från Skogforsks ramanslag.

Uppsala juni 2004

Björn Hannrup

Sammanfattning

Barkfunktioner används i skördarna för att skatta diametern under bark utifrån mätningar på bark. De funktioner som används i skördarna i dag är utvecklade för inmätning av sågtimmer av tall och gran (Zacco, 1974). De är olika för olika regioner och för tall separata för barkslagen skorp-, övergångs- och glansbark. Uppdelningen på regioner och barkslag försvårar funktionernas användning i skördarna och för tall leder den också till att funktionerna inte fullt ut kan utnyttjas. Normalt utnyttjas endast funktionen för övergångsbark i skördarna.

I syfte att utveckla barkfunktioner för direkt användning i skördare utnyttjades två huvudsakliga material. Dels material från SMP-projektet bestående av manuella barkmätningar på granar från 42 bestånd spridda över landet, dels material från de svenska tall- och granstambankerna innehållande träd från fasta försöksytor spridda över landet. Träden har mätts in noggrant i fält och därefter tomograferats (röntgats). Ett bildanalysprogram utvecklat vid Trätek i Skellefteå utnyttjades för att mäta barktjockleken på de tomograferade bilderna.

För tall skedde en statistisk anpassning till stambanksmaterialet. Nedan timmergränsen (~14 cm) utnyttjades en icke-linjär funktion med tre parametrar och där ovan antogs barktjockleken minska med 0,5 mm per meters ökning av avståndet till timmergränsen. Funktionen var fri från systematiskt fel och hade en spridning på 2,8 mm. Utvärdering av funktionen och jämförelse med dagens funktioner på tre oberoende valideringsmaterial, varav ett var rikstäckande, visade att den nya funktionen ger en väsentlig förbättring. Jämfört med det vanligaste använda alternativet i skördarna i dag halveras spridningen.

SMP-materialet utnyttjades för att utveckla barkfunktionen för gran vilken sedan kalibrerades mot stambanksmaterialet. Utvärdering av funktionen på två oberoende småländska material visade att den nya funktionen ger likvärdiga eller något bättre skattningar jämfört med de funktioner som används i dag. Granfunktionen har inte kunnat valideras på något oberoende rikstäckande material och det kvarstår därför en viss osäkerhet hur väl funktionen fungerar i övriga landet. Funktionen kan förbättras genom att trädåldern inkluderas men innan detta kan göras måste åldern kunna mätas i skördarna, alternativt kunna läggas in manuellt på ett kvalitetssäkrat sätt.

För att underlätta tillämpningen har funktionerna sammanfattats i två separata avsnitt, se ”Praktisk tillämpning av den nya barkfunktionen för tall/gran”.

Bakgrund

Svenskt skogsbruk avverkar årligen cirka 70 miljoner m^3 virke (Skogsstyrelsen, 2004) och den helt dominerande andelen av denna volym avverkas med skördare. En skördare fäller, kvistar och apterar träden d.v.s. delar upp trädstammen i sågtimmerstockar respektive massaved. För att beräkna bästa möjliga sönderdelningsalternativ, och därmed högsta virkesvärde, finns en dator installerad i skördaren vilken är kopplad till utrustning för kontinuerlig mätning av stammens längd och diameter. Mätningen av trädstammens diameter sker på bark, men eftersom det är virkesvolymen under bark som utnyttjas i den

fortsatta industriella produktionen sker en omräkning i datorn till diameter under bark med hjälp av en matematisk funktion. En korrekt längd och diametermätning, tillsammans med en funktion som väl skattar barkens tjocklek, är därför centrala komponenter för en effektiv aptering och för skogsbrukets förmåga att leverera råvara som motsvarar industrins beställningar.

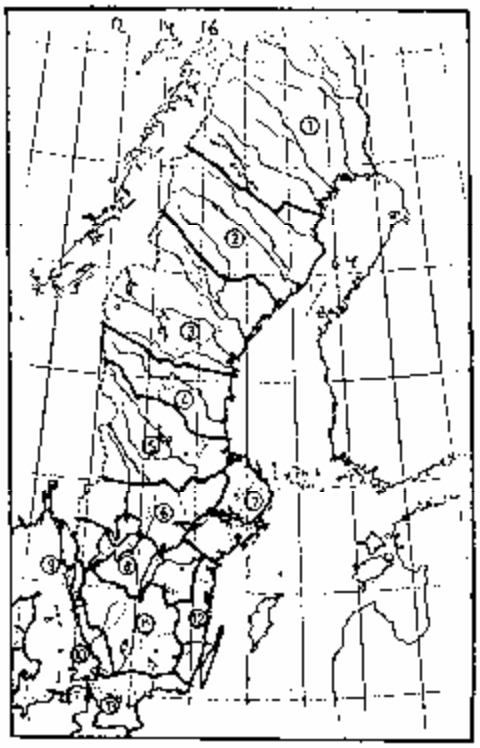
De barkfunktioner som används i dag vid avverkning med skördare är ursprungligen utvecklade för inmätning av sågtimmerstockar vid sågverkens mätstationer (Zacco, 1974). För både tall och gran är de befintliga funktionerna regionala och bygger genomgående på att diametern på bark används för att skatta barktjockleken (figur 1a, b). För tall finns det dessutom för varje region separata funktioner för barkslagen skorp-, övergångs- och glansbark. Detta utnyttjas vid inmätning av sågtimmer då barkslaget anges manuellt för varje stock, något som är praktisk omöjligt vid avverkning med skördare. Vid skördaravverkning används därför vanligen enbart funktionen för övergångsbark. För att fullt ut kunna utnyttjas i skördaren bör därför nya funktioner vara kontinuerliga över landet och för tall även vara kontinuerliga över barkslagen.

Förutsättningarna för att skatta barktjockleken är på flera sätt gynnsammare vid avverkningstillfället än vid sågverket genom att mer information om förhållanden som påverkar barktjockleken finns tillgängliga och kan användas för att göra förutsägelser. Till exempel finns exakt information om geografiskt läge i landet via skördarens GPS-mottagare eller via kartinformation om objektet. Vidare ger mätningen av diameter och längd, då trädstammen matas genom skördaraggregatet, löpande information om aktuell diameter samt avstånd från trädets rot. Dessutom finns ofta uppgifter om markens bördighet, boniteten, samt den genomsnittliga åldern i trädbeståndet. Funktioner som utnyttjar denna information har goda förutsättningar att, jämfört med de nuvarande funktionerna, förbättra skattningen av barktjockleken, vilket också indikerats i några inledande studier (Jonsson & Nylinder, 1990; Möller m.fl., 2002; Wilhelmsson m.fl., 2002).

Tidigare studier har visat att tall- och granbarkens tjocklek varierar med genetiska faktorer (Nilsson, 1968), läget i landet, boniteten, trädstorleken samt höjden i stammen (Östlin, 1963a, b). Variationsmönstren är olika för de båda trädslagen men för tall finns en tydlig trend till avtagande barktjocklek med ökande breddgrad. För gran finns ett negativt samband med boniteten och ett positivt samband med växtplatsens höjd över havet. Inom bestånd ökar barktjockleken med ökande diameter för båda trädslagen medan det finns stora trädslagsskillnader när det gäller barkens avsmalning längs stammen. Gran tenderar att ha en konstant avtagande barktjocklek med ökande höjd i stammen medan motsvarande avsmalning hos tall är beroende av barkslaget. I skorpbarken, den nedre delen av stammen, sker en kraftig avsmalning av barktjockleken, en avsmalning som avtar successivt upp till glansbarken i vilken barkens tjocklek är relativt konstant (Östlin, 1963a).

Syftet med studien är att utveckla funktioner som beskriver barkens tjocklek för tall och gran i Sverige. Funktionerna skall användas vid avverkning med skördare och ingångsvariablerna i funktionerna skall därför vara sådana som normalt finns tillgängliga i skördarna.

a)



b)

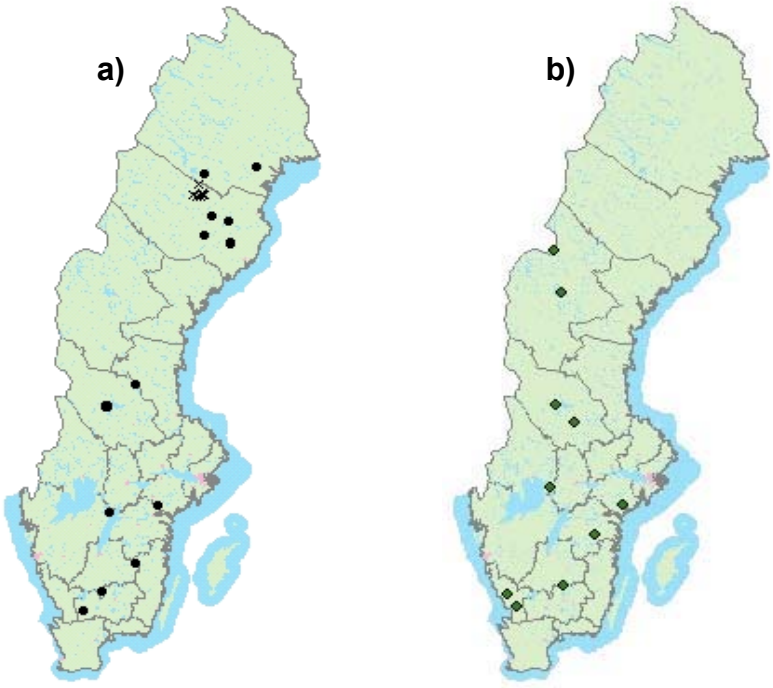
Figur 1.
Regional indelning av barkfunktioner för tall (a) och gran (b) efter Zacco (1974).

Material och metoder

Merparten av datamaterialet i studien kom från de svenska tall- (Grundberg m.fl. 1995) och granstambankerna (Björklund m.fl. 1998). Både tall- och granstambanken utgörs av cirka 200 slutavverkningsmogna träd från SLUs fasta försöksytor, d.v.s. skötta provytor med känd historik. Från varje försöksyta ingår två mindre, två medelstora och två stora träd och ytorna representerar olika föryngringsmetoder, skötselhistorik, ståndorter och geografiska lägen. Samtliga träd i stambanken har mätts in noggrant i fält och därefter röntgats i en medicinsk röntgen vid Luleå tekniska universitet i Skellefteå. För tall togs röntgenbilder varje cm längs stammen i kvistvarven och var fjärde cm mellan kvistvarven. För gran var intervallet mellan röntgenbilderna genomgående en cm. Bilder togs från roten av trädet till gränsen mellan timmer och massaved motsvarande en diameter på cirka 14 cm.

I studien utnyttjades en delmängd av träden i stambanken om 123 tallar från 32 provytor. Motsvarande siffror för gran var 48 granar från 16 provytor. I vissa fall är flera provytor belägna på samma lokal. Urvalet av provytor och stammar inom provytor gjordes för att maximera variationen i geografiskt läge och trädstorlek inom lokal. För tall utnyttjades utöver stambanksmaterialet även ett yngre material med 24 gallringsträd från åtta bestånd i närheten av Malå i Västerbotten vilka tomograferats på samma sätt som stammarna i tallstambanken.

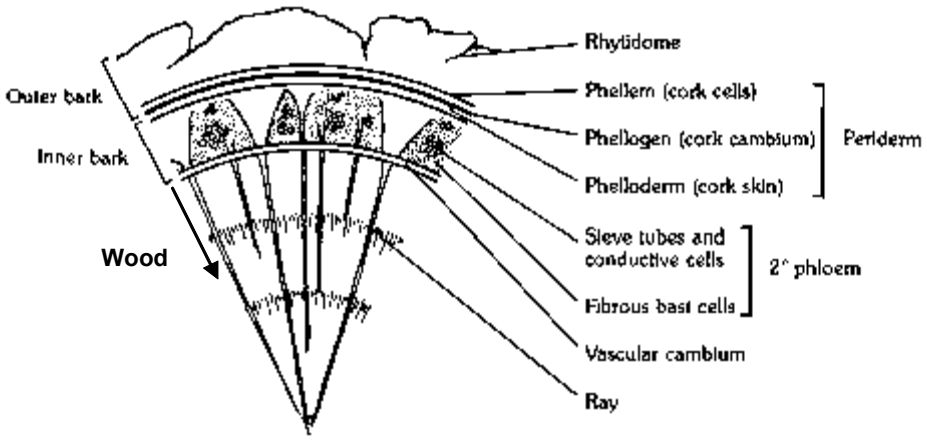
Tall- och granprovytornas fördelning över landet redovisas i figur 2.



Figur 2.
Lokalisering av de i studien ingående provytorna för tall (a) och gran (b). Gallringsbestånden för tall är markerade med kryss. Närliggande provytor är endast markerad med en symbol.

MÄTNING AV BARKTJOCKLEKEN

Barktjockleken mättes på de datortomograferade bilderna med ett bildanalysprogram utvecklat vid Trätek i Skellefteå. I veden är fukthalten högre än i barken, vilket på de datortomograferade bilderna visar sig som en förändring av gråskalevärdet. Vid barkens yttre gräns, mot den omgivande luften, sker en ännu tydligare förändring av gråskalevärdet. Bildanalysprogrammet utnyttjar dessa förändringar för att finna tröskelvärden för gränsen mellan ved och bark respektive bark och luft. Efter att dessa gränser bestämts mäts avståndet från tvärsnittets geometriska centrum till den inre barkgränsen d.v.s. radien under bark, samt avståndet mellan den inre och yttre barkgränsen d.v.s. den enkla barktjockleken. På samtliga bilder gjordes mätningar för varje grad runt tvärsnittet d.v.s. 360 mätningsriktningar per tvärsnitt.



Figur 3.
Barkens olika lager (Efter Sandved, 1993).

Barken består av en inre levande del, uppbyggd av flera skikt av levande celler, och en yttre del med döda celler (figur 3). I den inre delen av den levande barken är fukthalten fortfarande hög, vilket medför en svårighet att med bildanalysprogrammet avgöra var gränsen går mot veden. En systematisk underskattning av barktjockleken kan tänkas uppkomma om en del av den inre levande delen av barken uppfattas som ved av bildanalysprogrammet. För att kvantifiera ett eventuellt sådant systematiskt fel insamlades trissor från fem nivåer i stammen från tre tallar och tre granar. Trissorna fixerades obarkade i en hållare, tomograferades och i samma fixerade läge barkades de och tomograferades ånyo. Jämförelse mellan mätdata från de barkade och obarkade trissorna visade att barktjockleken systematisk underskattades med 0,9 mm för tall och 1,5 mm för gran. I den fortsatta analysen adderades därför de mätta barktjocklekarna med 0,9 respektive 1,5 mm för tall och gran. Bildanalysprogrammet och studien över det systematiska felet kommer att beskrivas i en separat rapport av Johan Oja, Trätek.

Tabell 1.
Beståndsuppgifter för tallmaterialet.

Variabel	n	Medel	Std.	Min.	Max.
Latitud, °N	40	62,2	3,0	56,6	65,7
Longitud, °O	40	17,1	2,2	13,7	21,3
Höjd över havet, m	40	246,8	103,4	50,0	420,0
Temperatursumma, dygnsgrader	40	961,0	250,5	606	1 370
Trädålder, år	40	97,3	32,6	31,6	153
Ståndortsindex, m	40	22,2	3,53	16	28
Höjd, m	40	20,0	4,3	11,5	27,2
Brösthöjds diameter, mm	40	261,1	67,5	152,4	385,8

Tabell 2.
Beståndsuppgifter för granmaterialet.

Variabel	n	Medel	Std.	Min.	Max.
Latitud, ºN	15	60,1	2,8	56,7	64,1
Longitud, ºO	15	14,7	1,2	12,8	16,9
Höjd över havet, m	15	193,7	97,9	40	310
Temperatursumma, dygnsgrader	15	1129,5	233,9	828	1421
Trädålder, år	15	98,3	33,3	51	152
Ståndortsindex, m	15	27,7	6,8	16	36
Höjd, m	15	244,0	38,3	179	309
Brösthöjds diameter, mm	15	294,1	46,3	205,2	358,5

FILTRERING OCH DATAREDUKTION

Omfattande ansträngningar gjordes för att rensa mätdata från felaktiga värden. För varje tvärsnitt gjordes en automatisk kontroll av fördelningen för radie under bark data. Skeva sådana fördelningar i kombination med hög kvot mellan barktjocklek och radie under bark användes för att sortera bort ett vanligt förekommande mätfel då barktjockleken överskattas. Denna överskattning orsakades av barkavskav alternativt kvistar som gett en partiell uttorkning vid mantelyta och därmed en onormalt låg fuktkvot en bit in i veden. Vidare gjordes felkontroller utifrån min- och maxvärden.

Efter felkontroller reducerades barkdata till ett mätvärde per tvärsnitt. Barken, speciellt tallens skorpbark, har ett ås- och dalformat utseende. Med traditionell barkmätare, såväl som vid mätning genom klavning på och under bark, så mäter man barkens tjocklek på åsarna eftersom barkmätarens platta/klavens skänklar ”rider” på barkens åsar och inte når ned i dalarna. I denna studie användes samma mått på barkens tjocklek genom att det maximala värdet för varje sektion om 10 grader i tvärsnittet beräknades. Dessa värden motsvarar åsarnas barktjocklek. I ett andra steg beräknades sedan medelbarktjockleken per tvärsnitt utifrån maxvärdet för sektionerna. För varje träd plottades medelbarktjockleken per tvärsnitt mot höjden i stammen och manuell kontroll skedde av dessa plottar. Träd som hade extremt avvikande utvecklingen av barktjockleken med höjden i stammen kasserades liksom träd som hade en stor andel tomma observationer på grund av tidigare kasserade felaktiga mätvärden. Totalt resulterade detta i ett sampel som för tall bestod av 133 tallar från 40 bestånd. 110 av dessa träd kom från stambanken och 23 träd var gallringsträd. Motsvarande siffror för gran var 32 träd från 15 bestånd. Samplet för gran bedömdes vara för litet för att kunna ge en representativ bild av granens barktjocklek i landet. Ingen modellutveckling gjordes därför på detta material utan det användes enbart för att utvärdera och kalibrera befintliga modeller.

Beståndsuppgifter för de i studien ingående tall- och granbestånden redovisas i tabell 1 och 2.

På liknande sätt som för barkdata reducerades de 360 radiemåtten per tvärsnitt till ett diametermått på bark per tvärsnitt. Den areabaserade diametern [2] användes. I ett första steg beräknades radierna på bark genom att de mätta radierna under bark adderades till den beräknade maximala barktjockleken för den aktuella sektion. De 360 radierna kan ses som en polygon med 360 kända hörn. Tvärsnittets polygonarea (*A*) kan då beräknas enligt Andersson (2004) som:

$$A = \frac{1}{2}\left(\begin{vmatrix} x_1 & x_2 \\ y_1 & y_2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} x_2 & x_3 \\ y_2 & y_3 \end{vmatrix} + \ldots + \begin{vmatrix} x_n & x_1 \\ y_n & y_1 \end{vmatrix} \right) \qquad [1]$$

där x_i, y_i är koordinater i polygonhörnen. Den areabaserade diametern för varje tvärsnitt (*d*) beräknades sedan som:

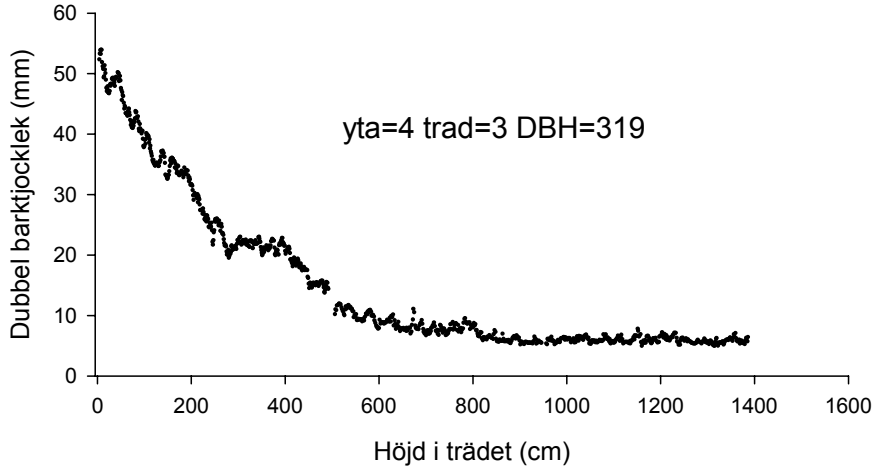
$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \qquad [2]$$

Skördarens diametermätning med kvistknivar eller matarvalsar ger ett diametermått som motsvarar den klavade diametern. Den klavade diametern är något större än den areabaserade diametern eftersom klavens skänklar på samma sätt som vid barkmätning ”rider” på stammens åsar och inte når ned i dalarna. En nyligen utförd simuleringsstudie (Andersson, 2004) visade att differensen mellan klavad och areabaserad diameter var 1.76 respektive 1,74 mm för tall och gran. De areabaserade diametrarna adderades därför med 1,76 respektive 1,74 mm för tall och gran och dessa diametermått användes sedan i den fortsatta analysen.

STATISTISK ANALYS TALL – STAMTVÄRSNITT NEDAN TIMMERGRÄNSEN

I stambanken ingår endast stamsektioner nedan timmergränsen d.v.s. motsvarande en diameter över 14 cm. Stambanksmaterialet användes för att modellera barktjockleken nedan timmergränsen medan ett annat material användes för delen ovan timmergränsen, se vidare avsnittet ”Statistisk analys tall – stamtvärsnitt ovan timmergränsen”. För att underlätta läsningen används i den löpande texten framgent ”barktjocklek” synonymt med ”dubbel barktjocklek”.

Barktjockleken plottades trädvis mot höjd i stammen, diameter och relativ diameter d.v.s. den aktuella diametern uttryckt som en kvot med brösthöjdsdiametern. Dessa tre variabler har alla ett icke-linjärt samband med barktjockleken som är något tydligare för höjden i stammen än det för övriga variabler. Höjden i stammen valdes därför som oberoende variabel i modellen för att beskriva variationen inom träd. Med ökande höjd i stammen minskar barktjockleken i skorp- och övergångsbarken medan den planar ut i glansbarken mot ett asymptotiskt värde (figur 4).

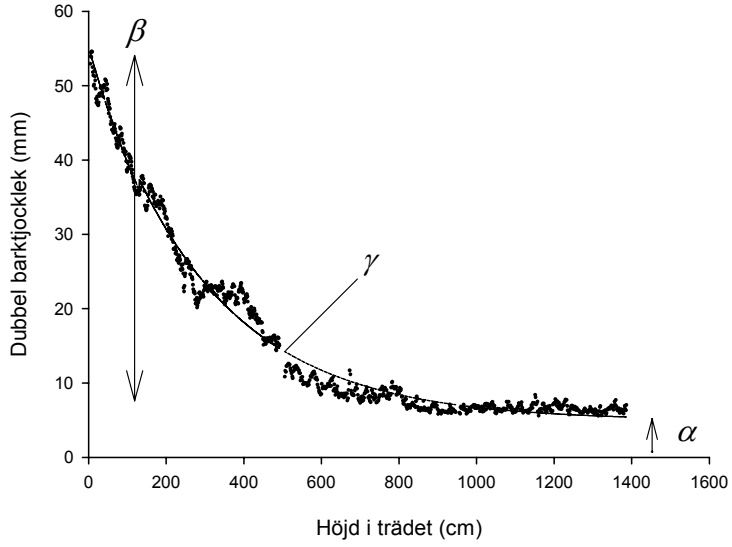


Figur 4.
Exempel på sambandet mellan barktjocklek och höjd i trädet för tall.

Trädvis anpassades den icke-linjära modellen

$$db = \alpha + \beta e^{-\gamma h} + \varepsilon \qquad [3]$$

där db är den dubbla barktjockleken, h den oberoende variabeln höjd i stammen, ε det slumpmässiga felet och α, β och γ är beskrivande parametrar. α anger barktjocklekens asymptotiska värde i glansbarken, β anger differensen mellan α och barktjockleken vid roten d.v.s. $\alpha + \beta$ ger barktjockleken i rotskäret, och γ anger hastigheten med vilken barktjockleken minskar från rotskäret till det asymptotiska värdet (figur 5).



Figur 5.
Beskrivning av innebörden av parametrarna α, β och γ, se vidare i texten.

Med hjälp av plottar och multipel linjär regressionsanalys studerades sambanden mellan de trädvisa skattningarna av α, β och γ och träd- och ståndortsvariablerna brösthöjdsdiameter, latitud, longitud, höjd över havet, temperatursumma, trädålder och ståndortsindex. De modeller som slutligen valdes var följande:

$$\alpha = \alpha_0 + \alpha_1 dbh + \varepsilon \quad [4]$$

$$\beta = \beta_0 + \beta_1 dbh + \beta_2 lat + \varepsilon \quad [5]$$

$$\gamma = \gamma_0 + \gamma_1 dbh + \varepsilon \quad [6]$$

där α_0, β_0 och γ_0 är intercept och $\alpha_1, \beta_1, \beta_2$ och γ_1 är regressionskoefficienter. Brösthöjdsdiametern (dbh) hade en signifikant ($p<0,05$) påverkan på alla tre parametrarna och för β fanns även en signifikant effekt av latitud (lat). Övriga träd- och ståndortsvariabler hade inte någon signifikant påverkan på parametrarna.

Resultaten från den linjära regressionsanalysen inarbetades i ekvation [3], vilket gav följande modell

$$db = \alpha_0 + \alpha_1 dbh + (\beta_0 + \beta_1 dbh + \beta_2 lat) e^{(-(\gamma_0 + \gamma_1 dbh)h)} + \varepsilon \quad [7]$$

Denna modell anpassades till hela materialet. Residualerna från modellen plottades mot modelltermerna för att åskådliggöra eventuella systematiska avvikelser.

Medelfelet eller spridningen till funktionen Root Mean Square Error $(RMSE)$, beräknades som

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (obs - pred)^2}{n}} \quad [8]$$

där obs och $pred$ är de observerade respektive predikterade värdena och n är antalet observationer. Det genomsnittliga systematiska felet (bias) beräknades som

$$Bias = \frac{\sum (obs - pred)}{n}. \quad [9]$$

Ett försök gjordes att lägga till aktuell diameter som oberoende variabel i ekvation 7. Spridningen minskade då, men med mindre än 0,1 mm vilket inte ansågs som tillräckligt för att motivera den mer komplicerade modellen.

STATISTISK ANALYS TALL – STAMTVÄRSNITT OVAN TIMMERGRÄNSEN

För stamsektioner nedan timmergränsen beskrevs barkens avsmalning enligt ekvation 7, se ovan. En skördare hanterar dock hela träd och för att vara fullt användbar måste en barkfunktion kunna beskriva tjockleken längs hela stammen. För att i en modell kunna beskriva barktjockleken även ovan timmer-

gränsen utnyttjades litteraturuppgifter samt barkdata från en studie publicerad av Wilhelmsson m.fl. (2002).

Östlin (1963) har studerat barkens avsmalning längs stammen. För glansbarksdelen fann han ett starkt beroende mellan barktjockleken och avståndet från toppen. Östlin (1963) anger vidare barktjockleken i toppen till tre á fyra mm och ökningen av barktjockleken till cirka 0.5 mm per meters ökning av avståndet från toppen.

Wilhelmsson m.fl. (2002) har analyserat ett material med mätningar av en rad vedegenskaper, bland annat barktjocklek, från 120 tallar från 20 bestånd spridda över Sverige. I detta material är barktjockleken mätt på varierande avstånd längs stammen upp till gränsen för gagnvirke d.v.s. motsvarande en diameter på fem cm. Detta material utnyttjades för att analysera avsmalningen i toppdelen av träden. I den del av träden som är ovan en relativ diameter (= kvoten mellan aktuell diameter och brösthöjdsdiameter) på 0,52, vilket motsvarar delen ovan timmergränsen i stambanksmaterialet, var avsmalningen i genomsnitt 0,49 mm per meter. Standardavvikelsen till detta medelvärde var 0,56 mm. Avsmalningen för det av Wilhelmssons m.fl. analyserade materialet var alltså i genomsnitt mycket likt det som angivits av Östlin (1963).

Den övre gränsen för de stamsektioner som täcks in av stambanksmaterialet och beskrivs av ekvation 7, går vid cirka 14 cm. Uttryckt i modelltermerna från ekvation 7 motsvaras denna gräns av den höjd i trädet då barktjockleken är lika med $\alpha_0 + \alpha_1 dbh + 0.12$ d.v.s. den höjd i trädet då barktjockleken är lika med det asymptotiska värdet (se figur 5) plus 0,12 mm. Värdet 0,12 erhölls genom att skatta α_0 och α_1 i ekvation 7 och därefter addera värden till det asymptotiska värdet för att erhålla det värde som bäst motsvarar den övre gränsen för stambanksmaterialet. Ovan denna gräns användes i de fortsatta analyserna en barkavsmalning på 0,5 mm per meter.

Brytpunkten mellan den nedre och den övre stamsektionen och som ungefärligen motsvarar timmergränsen kan beräknas genom att lösa ekvationen

$$\alpha_0 + \alpha_1 dbh + (\beta_0 + \beta_1 dbh + \beta_2 lat) e^{(-(\gamma_0 + \gamma_1 dbh) h_{tg})} = \alpha_0 + \alpha_1 dbh + 0.12 \qquad [10]$$

med avseende på h_{tg}, höjden vid timmergränsen. Lösning med avseende på h_{tg} ger uttrycket,

$$h_{tg} = -\frac{\ln(0.12/(\beta_0 + \beta_1 dbh + \beta_2 lat))}{\gamma_0 + \gamma_1 dbh} \qquad [11]$$

vilket anger brytpunkten för de två ekvationerna. Under denna utnyttjas ekvation 7. Ovan denna skattas barktjockleken som

$$db = \alpha_0 + \alpha_1 dbh + 0.12 - 0.005(h - h_{tg}) + \varepsilon \qquad [12]$$

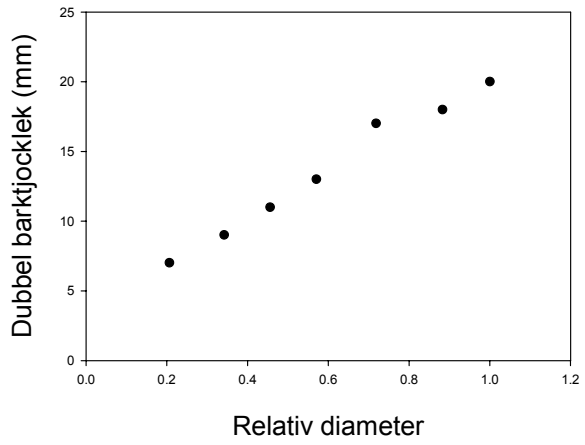
Termerna före minustecknet anger barktjockleken vid timmergränsen och från

detta värde subtraheras 0,5 mm per meters ökning av avståndet från timmergränsen.

STATISTISK ANALYS – GRAN

Som tidigare angivits bedömdes stambanksmaterialet inte vara tillräckligt omfattande för att ge en representativ bild av granens barktjocklek i landet. Stambanksmaterialet användes därför enbart för utvärdering och kalibrering. Det material som användes för modellutvecklingen var material från Skog-Massa-Papper (SMP) projektet (Wilhelmsson m.fl., 2002). Baserat på analyser av detta material har Wilhelmsson m.fl. (2002) publicerat två funktioner för skattning av barktjockleken från brösthöjd och uppåt. Funktionen som ger lägst spridning kan för närvarande inte direkt tillämpas i skördaren eftersom den bland annat bygger på antal årsringar i tvärsnittet, en egenskap som i dagsläget inte kan mätas med skördaren. Den andra barkfunktionen liknar Zaccos barkfunktion och bygger enbart på den aktuella diametern. En tredje, opublicerad funktion (L. Wilhelmsson, Skogforsk, personlig kommunikation), bygger på den relativa diametern d.v.s. kvoten mellan aktuell diameter och brösthöjdsdiameter. En variant av den senare funktionen användes i det fortsatta arbetet.

För gran har barktjockleken i SMP-materialet mätts med traditionell barkmätare på 250 träd från 42 bestånd spridda över landet (lat. 56,6 – 65,8ºN). Barktjockleken har mätts i brösthöjd, vid höjden fem meter och vid massavedsgränsen, motsvarande en diameter på fem centimeter. Mellan femmetersnivån och massavedsgränsen gjordes noll till fyra mätningar beroende på trädets storlek. Materialet inkluderade både äldre och yngre bestånd och den genomsnittliga brösthöjdsdiametern var 195 mm med min- och maxvärden på 89 respektive 497 mm. Barktjockleken var i medeltal 11.9 mm med min- och maxvärden på 4 respektive 40 mm, se vidare Wilhelmsson m.fl. (2002).



Figur 6.
Exempel på sambandet mellan barktjocklek och relativ diameter för gran.

Inledande plottar visade att det för gran finns ett linjärt samband mellan den relativa diametern och barktjockleken (figur 6). SMP-materialet innehåller enbart data ovan brösthöjd men motsvarande plottar för stambanksmaterialet visade att sambandet mellan barktjockleken och den relativa diametern är linjärt också för delen nedan brösthöjd d.v.s. även för relativa diametrar över 1,0. Den relativa diametern användes därför som oberoende variabel för att beskriva

variationen inom träd i den fortsatta modellutvecklingen och trädvis anpassades följande modell

$$db = a + b * reldia + \varepsilon \quad [13]$$

där db är den dubbla barktjockleken, $reldia$ den oberoende variabeln relativ diameter och a och b är modellens intercept respektive lutningskoefficient. Modellen gav en god förklaring till variationen inom träd med ett medianvärde för korrelationskoefficienten mellan barktjocklek och relativ diameter på 0,92. Med hjälp av plottar och multipel linjär regressionsanalys studerades sambanden mellan de trädvisa skattningarna av a och b och träd- och ståndortsvariablerna brösthöjdsdiameter, latitud, longitud, höjd över havet, temperatursumma, trädålder och ståndortsindex. Trädålder och ståndortsindex hade en signifikant inverkan på parametrarna men eftersom dessa variabler i dagsläget inte är generellt tillgängliga i skördarna användes de inte framgent i modellen. De geografiska variablerna var inte signifikant korrelerade med parametrarna. Granens barktjocklek förefaller, till skillnad mot tallens, inte följa någon glidande latitudinell variation, vilket också indikerats av tidigare studier (Zacco, 1974). Ett indirekt samband med höjden över havet (samvarierar med ståndortsindex) har tidigare konstaterats (Östlin, 1963a) men i detta material fanns inte något signifikant samband mellan barktjocklek och höjd över havet. Brösthöjdsdiametern (dbh) hade ett signifikant samband med både a och b ,vilket gav följande modeller

$$a = a_0 + a_1 * dbh + \varepsilon \quad [14]$$

$$b = b_0 + b_1 * dbh + \varepsilon \quad [15]$$

där a_0 och b_0 är intercept, ε är det slumpmässiga felet och a_1 och b_1 är regressionskoefficienter. Resultaten från den linjära regressionsanalysen inarbetades i ekvation [13], vilket gav följande modell

$$db = a_0' + a_1 * dbh + b_1 * dbh * reldia + \varepsilon \quad [16]$$

där a_0' är summan av a_0 och b_0.

Träden i SMP-materialet är hämtade från olika bestånd, vilket gör att man i analysen kan dela upp det slumpmässiga felet i en beståndsdel och träd inom beståndeffekt. Detta utnyttjades i den slutgiltiga analysen där följande modell anpassades till hela materialet

$$db_{ijk} = a_0' + a_1 * dbh + b_1 * dbh * reldia + b_i + t_{j(i)} + \varepsilon_{ijk} \quad [17]$$

där b_i är den slumpmässiga effekten av bestånd i och $t_{j(l)}$ är den slumpmässiga effekten av träd j inom bestånd i och ε_{ijk} är det slumpmässiga felet.

Denna modell anpassades till hela materialet. Residualerna från modellen plottades mot modelltermerna för att åskådliggöra eventuella systematiska avvikelser.

All inledande databearbetning och samtliga statistiska analyser utfördes med version 8.02 av programvaran SAS (SAS, 1999). Modellanpassningen av modellerna för tall och gran utfördes med Proc Nlin respektive Proc Mixed. Den multipla linjära regressionsanalysen utfördes med Proc Reg (se SAS, 1999).

KALIBRERING OCH VALIDERING AV BARKFUNKTIONEN FÖR TALL OCH JÄMFÖRELSE MED DE BARKFUNKTIONER SOM ANVÄNDS I SKÖRDARNA I DAG

För att utvärdera barkfunktionen för tall jämfördes skattningarna från denna med manuella barkmätningar från tre oberoende material. För samma material gjordes jämförelse också med de funktioner som används i skördarna i dag. Vanligtvis används Zaccos funktion för övergångsbark (Zacco, 1974) för att skatta barktjockleken i hela trädet. Som ett alternativ använder man i en del skördare funktionen för skorpbark för rotstocken och Zaccos funktion för övergångsbark för resten av stammen. Geografisk information fanns tillgänglig för samtliga bestånd i valideringsmaterialen, vilket möjliggjorde att rätt regional funktion enigt Zacco kunde användas. Utöver de i dag använda funktionerna gjordes jämförelse med barkfunktionen P5, nyligen publicerad av Wilhelmsson m.fl. (2002).

De tre oberoende valideringmaterialen var:

A. Material från projektet ”Bättre diametermätning i skog och industri” (Möller m.fl., 2002) bestående av bark- och diametermätningar från 54 träd från sex slutavverkningsbestånd i Småland. Mätningarna utfördes vid rotskäret, alternativt i brösthöjd, och sedan på varje meter upp längs stammen. Genomsnittlig brösthöjdsdiameter var 306 mm med min- och maxvärden på 187 respektive 437 mm.

B. Material från Lineset projektet (Möller m.fl., 2003) bestående av bark- och diametermätningar från 18 träd från tre småländska slutavverkningsbestånd. Mätningarna utfördes vid rotskäret, i brösthöjd och på ytterligare fem punkter med varierande avstånd upp längs stammen. Genomsnittlig brösthöjdsdiameter var 317 mm med min- och maxvärden på 223 respektive 416 mm.

C. Material från SMP-projektet (Arlinger m.fl., 2001, Wilhelmsson m.fl. 2002) bestående av bark- och diametermätningar från 120 träd från 20 bestånd spridda över Sverige (latitud 56,6 – 65,8 °N). Mätningarna var utförda i brösthöjd, vid höjden fem meter och vid massavedgränsen motsvarande en diameter på fem cm. Mellan femmetersnivån och massavedsgränsen gjordes noll till fyra mätningar beroende på trädets storlek. Materialet inkluderade både yngre och äldre bestånd och den genomsnittliga brösthöjdsdiametern var 175 mm med min- och maxvärden på 71 respektive 377 mm.

Medelvärde och spridningsmått för den dubbla barktjockleken för de tre materialen redovisas i tabell 3. I de tre materialen mättes barktjockleken med traditionell barkmätare, alternativt med klavning på och under bark.

Tabell 3.
Antal observationer (n), aritmetiskt medelvärde, standardavvikelsen till medelvärdet (Stdv) samt min- och maxvärden för den dubbla barktjockleken i de tre valideringsmaterialen för tall.

Material	n	Medel[1])	Stdv.	Min.	Max.
A	818	13.8	13.3	2	101
B	126	22.1	20.8	4	94
C	526	9.3	7.4	3	46

[1]) Dubbla barktjockleken anges i mm.

KALIBRERING OCH VALIDERING AV BARKFUNKTIONEN FÖR GRAN OCH JÄMFÖRELSE MED DEN BARKFUNKTION SOM ANVÄNDS I SKÖRDARNA I DAG

Vid kalibreringen betraktades stambanksmaterialet som ”facit”. Stambanksmaterialet är det bästa tillgängliga materialet för kalibrering eftersom bestånd spridda över landet ingår och inom bestånd finns grova respektive klena träd representerade. I en första fas kalibrerades parameterskattningarna för ekvation 17 och därefter utvärderades den kalibrerade funktionen mot de två oberoende småländska materialen, se nedan, och det delvis oberoende stambanksmaterialet. För samma material gjordes jämförelse också med Zaccos barkfunktion för gran vilken används i skördarna i dag. Geografisk information fanns tillgänglig för samtliga bestånd i valideringsmaterialen, vilket möjliggjorde att rätt regional Zaccofunktion kunde användas.

De tre valideringmaterialen var:

D. Material från projektet ”Bättre diametermätning i skog och industri” (Möller m.fl., 2002) bestående av bark- och diametermätningar från 62 träd från sex slutavverkningsbestånd i Småland. Mätningarna utfördes i en del fall i rotskäret, i brösthöjd, och sedan på varje meter upp längs stammen. Genomsnittlig brösthöjdsdiameter var 274 mm med min- och maxvärden på 145 respektive 486 mm.

E. Material från Lineset projektet (Möller m.fl., 2003) bestående av bark- och diametermätningar från 27 träd från tre småländska slutavverkningsbestånd. Mätningarna utfördes vid rotskäret, i brösthöjd och på ytterligare fem punkter med varierande avstånd upp längs stammen. Genomsnittlig brösthöjdsdiameter var 323 mm med min- och maxvärden på 194 respektive 465 mm.

F. Mätdata från stambanksmaterialet, vilket beskrivits ovan. Genomsnittlig brösthöjdsdiameter var 292 mm med min- och maxvärden på 190 respektive 413 mm.

Medelvärde och spridningsmått för den dubbla barktjockleken för de tre materialen redovisas i tabell 4. I de två småländska materialen mättes barktjockleken med traditionell barkmätare, alternativt med klavning på och under bark.

Tabell 4.
Antal observationer (n), aritmetiskt medelvärde, standardavvikelsen till medelvärdet (Stdv) samt min- och maxvärden för den dubbla barktjockleken i de tre valideringsmaterialen för gran.

Material	n	Medel[1])	Stdv.	Min.	Max.
D	796	11,6	4,3	4	36
E	526	14,9	5,9	6	34
F	47 069	13,0	2,6	6	22

1) Dubbla barktjockleken anges i mm.

Resultat och diskussion

MEDELVÄRDEN OCH PARAMETERSKATTNINGAR FÖR DEN NYA TALLFUNKTIONEN

Medelvärden för den dubbla barktjockleken och de oberoende modellvariablerna redovisas i tabell 5.

Tabell 5.
Antal observationer, använd enhet, aritmetiskt medelvärde, standardavvikelsen till medelvärdet samt min- och maxvärde för den dubbla barktjockleken (db), höjden i trädet (h), brösthöjdsdiametern (dbh) och latituden (lat).

Variabel	n	Enhet	Medel	Stdv.	Min.	Max.
db	100 562	mm	12,1	8,4	3,9	66,8
h	100 562	cm	720,5	471,7	2	2069
dbh	133	mm	253,4	67,4	123,7	401,7
lat	133	decimalgrader	62,0	3,1	56,6	65,8

Nedan timmergränsen valdes slutligen ekvation 7 nedan för att beskriva tallbarkens tjocklek längs stammen.

$$bark = \alpha_0 + \alpha_1 dbh + (\beta_0 + \beta_1 dbh + \beta_2 lat)e^{(-(\gamma_0+\gamma_1 dbh)h)} + \varepsilon \qquad [7]$$

Approximativa 95 procentiga konfidensintervall för parameterskattningarna till ekvation 7 redovisas i tabell 6 och visar tydligt att samtliga modellparametrar var signifikant skilda från noll. Modellen var vidare fri från bias och spridningen var 2,8 mm. Modellens residualer plottades mot de ingående modellvariablerna och inga systematiska avvikelser kunde noteras.

Tabell 6.
Approximativt 95%-igt konfidens intervall för de skattade parametrarna i ekvation 7 samt modellens systematiska fel (bias) och spridning (RMSE).

		95 % konfidens intervall	
Parameter	Skattning	Nedre gräns	Övre gräns
α_0	3,5808	3,4543	3,7073
α_1	0,0109	0,0105	0,0113
β_0	72,1814	70,4885	73,8743
β_1	0,0789	0,0776	0,0803
β_2	-0,9868	-1,0109	-0,9627
γ_0	7,8557E-03	7,7662E-03	7,9452E-03
γ_1	–1,32E-05	–1,34E-05	–1,29E-05
Bias (mm)	0,00		
RMSE (mm)	2,84		

MEDELVÄRDEN OCH PARAMETERSKATTNINGAR FÖR DEN NYA GRANFUNKTIONEN

Medelvärden för den dubbla barktjockleken och de oberoende modellvariablerna redovisas i tabell 7.

Tabell 7.
Antal observationer, använd enhet, aritmetiskt medelvärde, standardavvikelsen till medelvärdet samt min- och maxvärde för den dubbla barktjockleken (db), brösthöjdsdiametern (dbh) och den relativa diametern (reldia).

Variabel	n	Enhet	Medel	Stdv.	Min.	Max.
db	1 197	mm	9,6	4,1	3	40
dbh	1 197	mm	216,8	89,4	46,7	496,5
reldia	1 190	–	0,65	0,27	0,1	1,0

Ekvation 17 användes för att beskriva barktjockleken hos gran.

$$db_{ijk} = a'_0 + a_1 * dbh + b_1 * dbh * reldia + b_i + t_{j(i)} + \varepsilon_{ijk} \qquad [17]$$

De skattade modellparametrarna var signifikant skiljda från noll (tabell 8). Modellens residualer plottades mot de ingående modellvariablerna och inga systematiska avvikelser kunde noteras.

Varianskomponenterna indikerade att det finns en signifikant och betydande variation orsakad av bestånd (27 % av totala variationen) och träd (19 %) när effekten av diameter eliminerats (tabell 8). Trädeffekterna är i huvudsak uppbyggda av genetiska effekter samt småskaliga miljöskillnader, vilket gör dem mycket svåra att modellera. Beståndseffekterna kan bestå av skillnader i t.ex. ålder och ståndortsindex och tidigare studier har konstaterat ett starkt samband mellan barktjocklek och dessa variabler (Östlin, 1963; Wilhelmsson m.fl., 2002). Genom att inkludera sådana beståndsvariabler i barkmodellen finns en potential att minska spridningen för skattningarna. I dagsläget är modeller baserade på ålder och/eller ståndortsindex dock inte tillämpbara eftersom uppgifter om ståndortsindex liksom beståndsuppgifter om trädens ålder normalt är osäkra eller saknas.

Tabell 8.
Approximativa 95 procentiga konfidensintervall för parameterskattningarna till ekvation 17, varianskomponenterna för bestånd (σ_b^2), träd (σ_t^2) och residual (σ_e^2), samt modellens systematiska fel (bias) och spridning (RMSE).

		95 % konfidens intervall	
Parameter	Skattning	Nedre gräns	Övre gräns
a_0'	1,8606	1,2207	2,5005
a_1	0,01386	0,01127	0,01645
b_1	0,03571	0,03424	0,03718
σ_b^2	1,42	0,89	2,65
σ_t^2	1,00	0,75	1,40
σ_e^2	2,90	2,65	3,18
Bias (mm)	0,0		
RMSE (mm)	2,3		

KALIBRERING OCH VALIDERING AV BARKFUNKTIONEN FÖR TALL OCH JÄMFÖRELSE MED DE BARKFUNKTIONER SOM ANVÄNDS I SKÖRDARNA I DAG

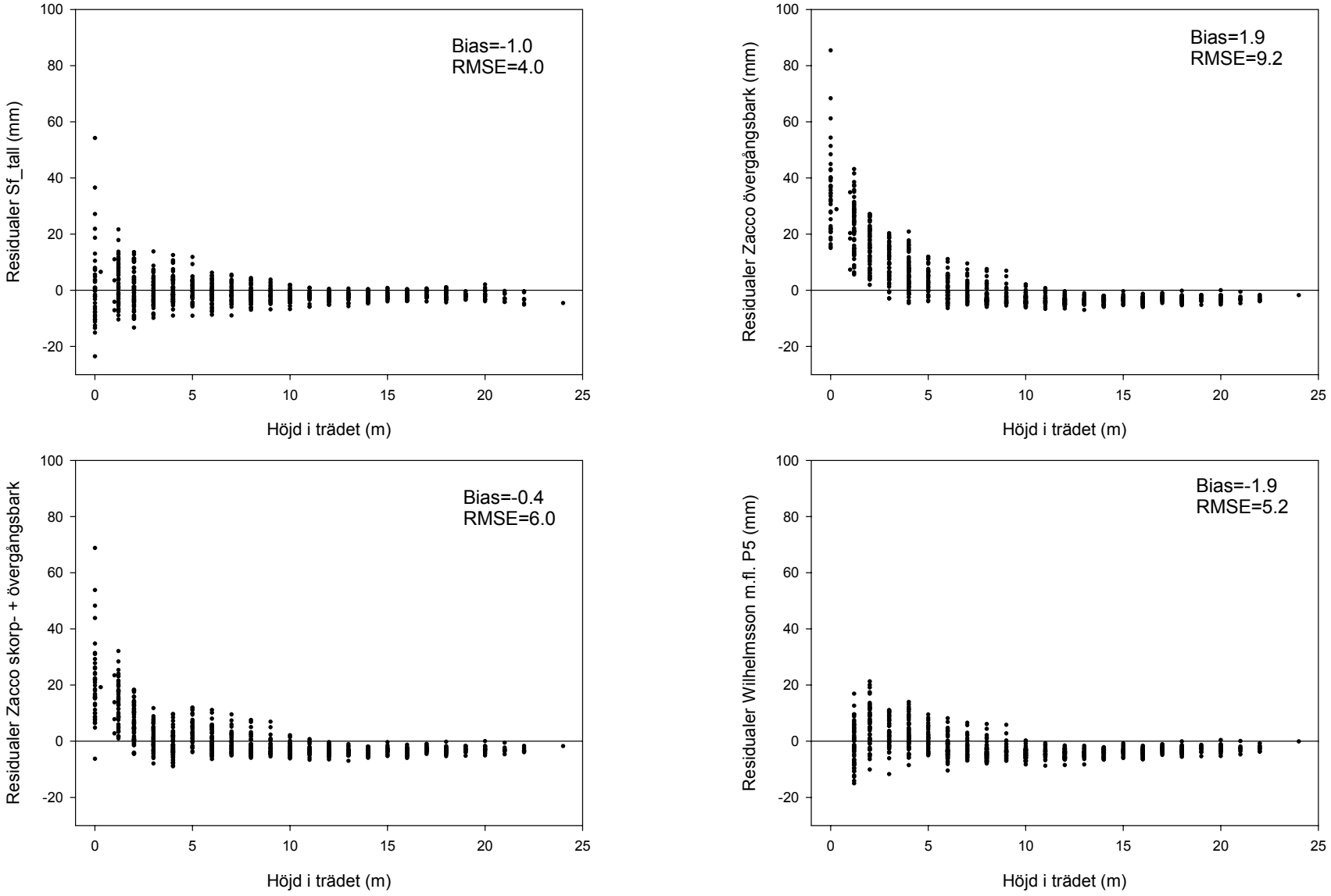
Residualplottar samt systematiskt fel (bias) och spridning (RMSE) för funktionerna testade på de tre oberoende valideringsmaterialen, redovisas i figur 7–9. I residualplottarna redovisas samtliga data medan bias och RMSE enbart anges för höjder i trädet från brösthöjd och uppåt. Det senare för att underlätta jämförelse av utfallet för de olika funktionerna då funktion P5 inte kan användas under brösthöjd och för att de i Zacco-funktionerna ingående variabeln, diameter, ibland saknades nedan brösthöjd.

Den nya, icke-linjära funktionen (Sf_tall) tenderade att överskatta barktjockleken (negativt bias), speciellt i glansbarken i valideringsmaterial A (figur 7), medan mindre underskattningar noterades i de två övriga materialen (figur 8–9). Systematiska fel kan korrigeras genom att funktionen kalibreras och alternativet att kalibrera ned funktionen för överskattningar i glansbarken övervägdes. Men eftersom detta systematiska fel endast uppträdde i ett av materialen ansågs underlaget för svagt för att göra en sådan kalibrering och funktionens ursprungliga parameterskattningar utnyttjades. Att det systematiska felet var nära noll i valideringsdataset C sågs som extra värdefullt eftersom detta material består av bestånd från flera delar av landet. Det mindre systematiska underskattning som likväl noterades (0,6 mm) kan vara orsakat av mätmetodiken. Mätning med traditionell barkmätare användes för valideringsdataset C och denna metod har visat sig kunna ge systematiska överskattningar av barktjockleken (Hägg, 1960).

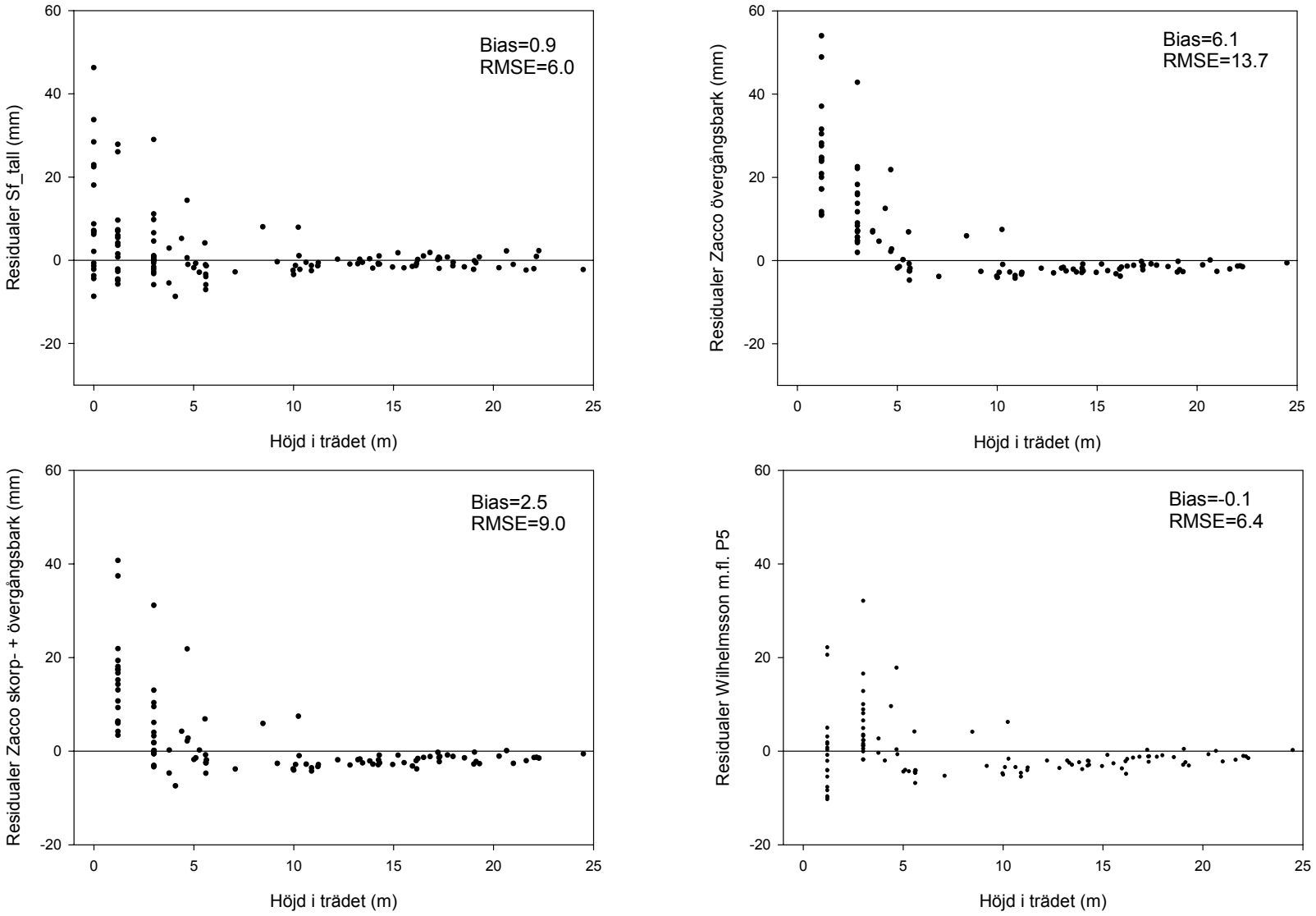
Zaccos barkfunktioner är utvecklade för sågtimmerinmätning och ger en dålig noggrannhet vid användning i skördare (figur 7–9). I alla tre valideringsmaterialen var det stora systematiska fel och underskattningar på upp till 4 cm var vanligt förekommande på rotstockarna i de två valideringsmaterialen med enbart slutavverkningsbestånd (figur 7–8). De redovisade måtten på bias uttrycker den genomsnittliga systematiska avvikelsen och ger inte alltid en hel-

täckande bild. Till exempel för Zaccos funktion för skorpbark på rotstocken och där ovan funktionen för övergångsbark som i valideringsmaterialet A (figur 7), gav ett bias nära noll orsakat av underskattningar på rotstocken vilka kompenseras av överskattningar i glansbarken. Med den nya icke-linjära funktionen (Sf_tall) halveras spridningen jämfört med Zaccos funktion för övergångsbark medan skillnaden mot alternativet med skorpbark på rotstocken är något mindre. Merparten av förbättringen beror på förbättrade skattningar av rotstockens barktjocklek.

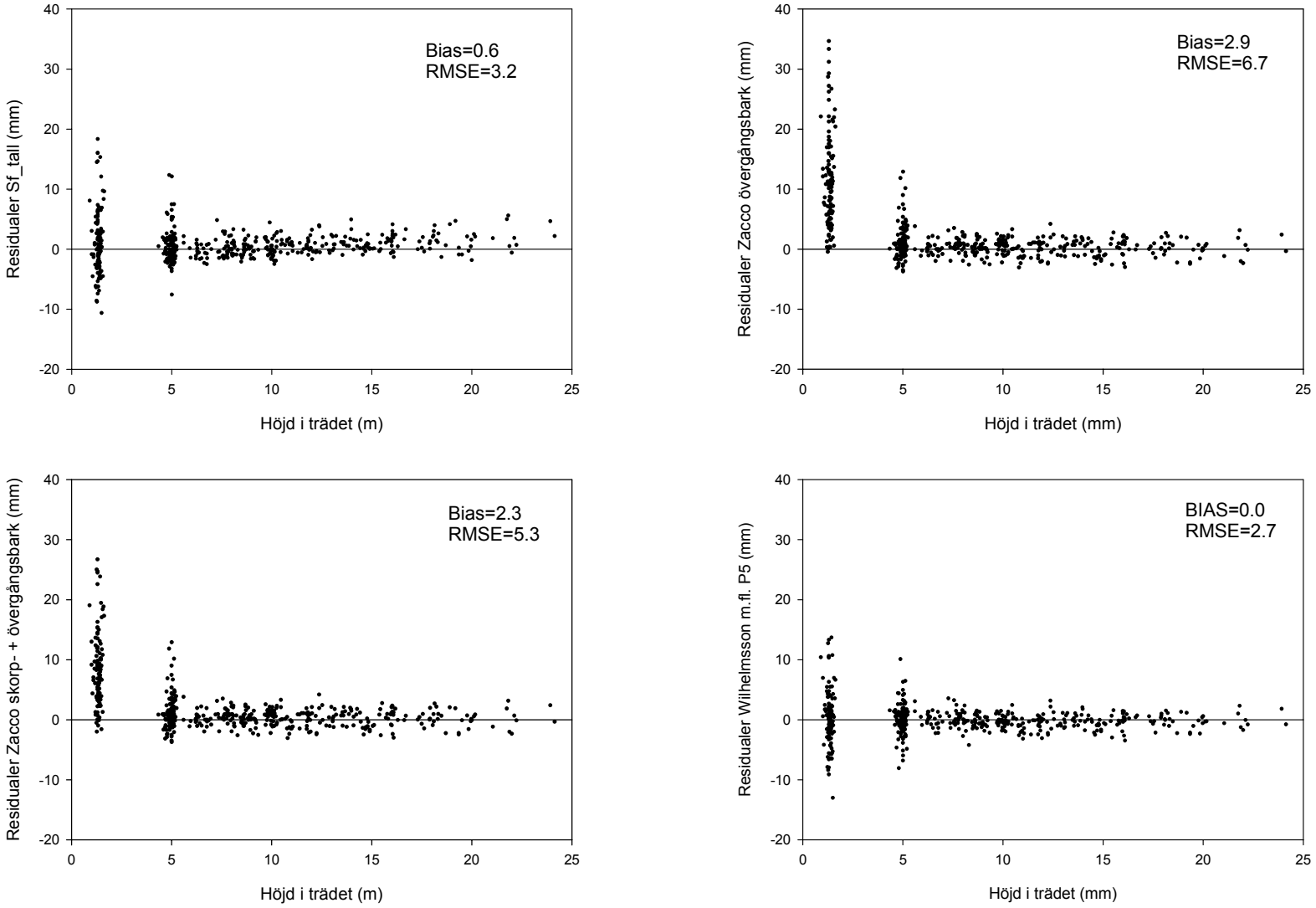
Funktionen P5 (Wilhelmsson m.fl., 2002) fungerade generellt väl. Jämfört med den icke-linjära modellen var spridningen endast en halv till en millimeter högre för de två oberoende småländska materialen (funktionen är utvecklad på material C). Dock noterades en tendens till systematisk underskattning av barktjockleken i intervallet mellan brösthöjd och fem meter d.v.s. det höjdintervall där det saknas ingångsdata till modellen (se Material och Metoder).



Figur 7.
Residualplottar för de fyra jämförda tallbarkfunktionerna baserat på mätdata från valideringsmaterial A, 6 småländska slutavverkningsbestånd.



Figur 8.
Residualplottar för de fyra jämförda tallbarksfunktionerna baserat på mätdata från valideringsmaterial B, 3 småländska slutavverkningsbestånd.



Figur 9.
Residualplottar för de fyra jämförda tallbarksfunktionerna baserat på mätdata från valideringsmaterial C, 20 bestånd av varierande ålder och spridda över landet.

KALIBRERING OCH VALIDERING AV BARKFUNKTIONEN FÖR GRAN OCH JÄMFÖRELSE MED DEN BARKFUNKTION SOM ANVÄNDS I SKÖRDARNA I DAG

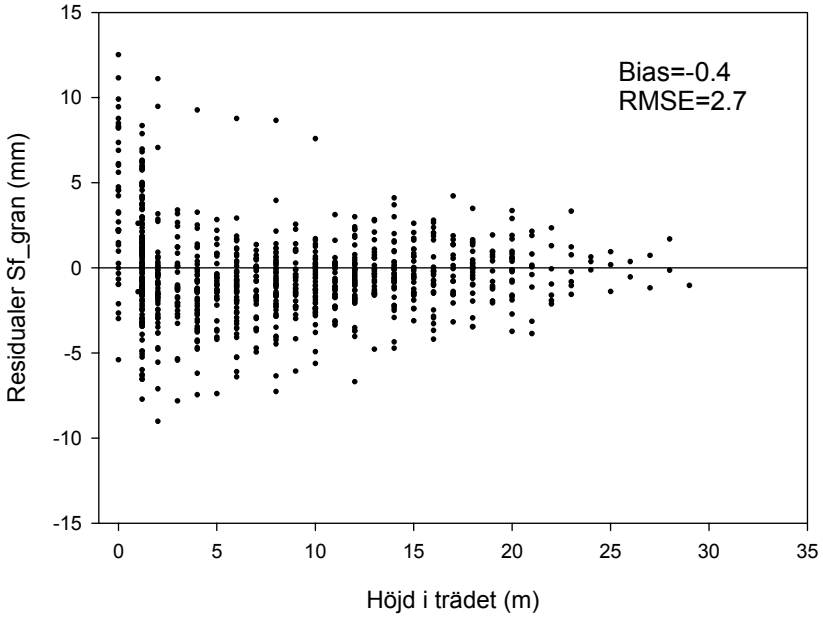
Då parameterskattningarna till ekvation 17 (tabell 8) applicerades på stambanksmaterialet noterades en systematisk överskattning av barktjockleken på 1.4 mm. Den systematiska avvikelsen kan på samma sätt som för tall bero på att barktjockleken mätts med traditionell barkmätare i SMP-materialet, en metod som visat sig kunna ge systematiska överskattningar av barktjockleken (Hägg, 1960). Plottar indikerade att den systematiska överskattningen inte varierade med den relativa diametern och därför kalibrerades parameterskattningarna till ekvation 17 genom att interceptet reducerades med 1,4 mm enligt ekvation 18.

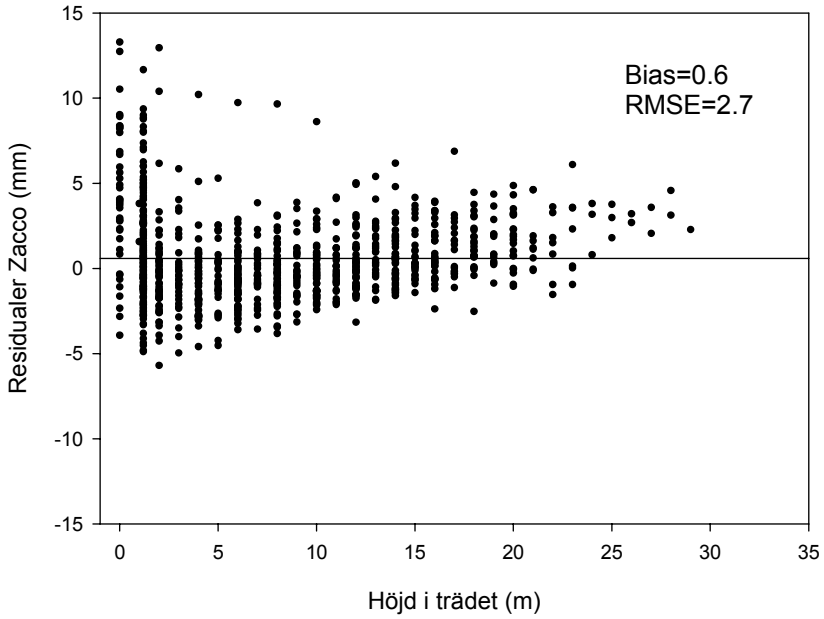
$$db = 0.46146 + 0.01386 * dbh + 0.03571 * dbh * reldia + \varepsilon . \qquad [18]$$

Den kalibrerade funktionen testades därefter på valideringsmaterialen.

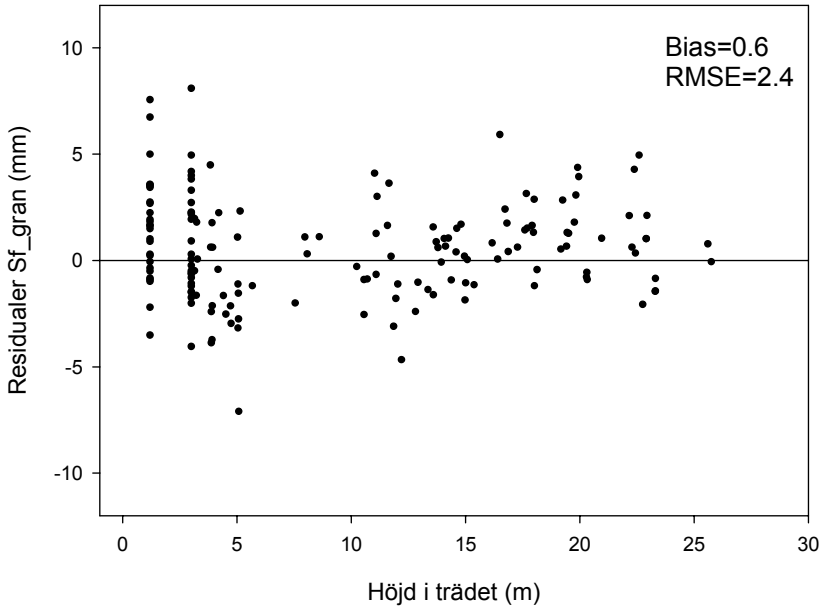
Den nya barkfunktionen (Sf_gran) gav en god anpassning i båda de småländska materialen (figur 10–11). Endast mindre systematiska avvikelser på 0,6 respektive -0,4 mm noterades och spridningen var i bägge fallen cirka 2,5 mm. Zaccos granfunktion hade liknande eller något högre bias och spridning som Sf_gran. Dock noterades en tendens till systematisk underskattning av barktjockleken i toppdelen av träden med Zaccos funktion.

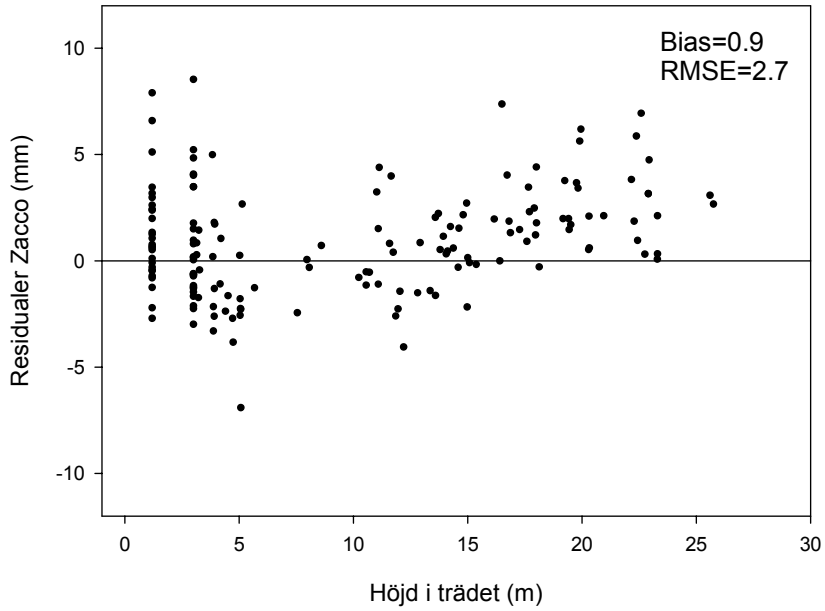
Någon egentlig validering på ett rikstäckande material har inte kunnat göras för den nya barkfunktionen eftersom stambanksmaterialet användes för kalibrering. Zaccos granfunktion gav för stambanksmaterialet en systematisk underskattning på 1,1 mm (figur 12), vilket var förvånande. Merparten av denna underskattning berodde på underskattning av barktjockleken i toppdelen av träden på samma sätt som var fallet för de småländska materialen.



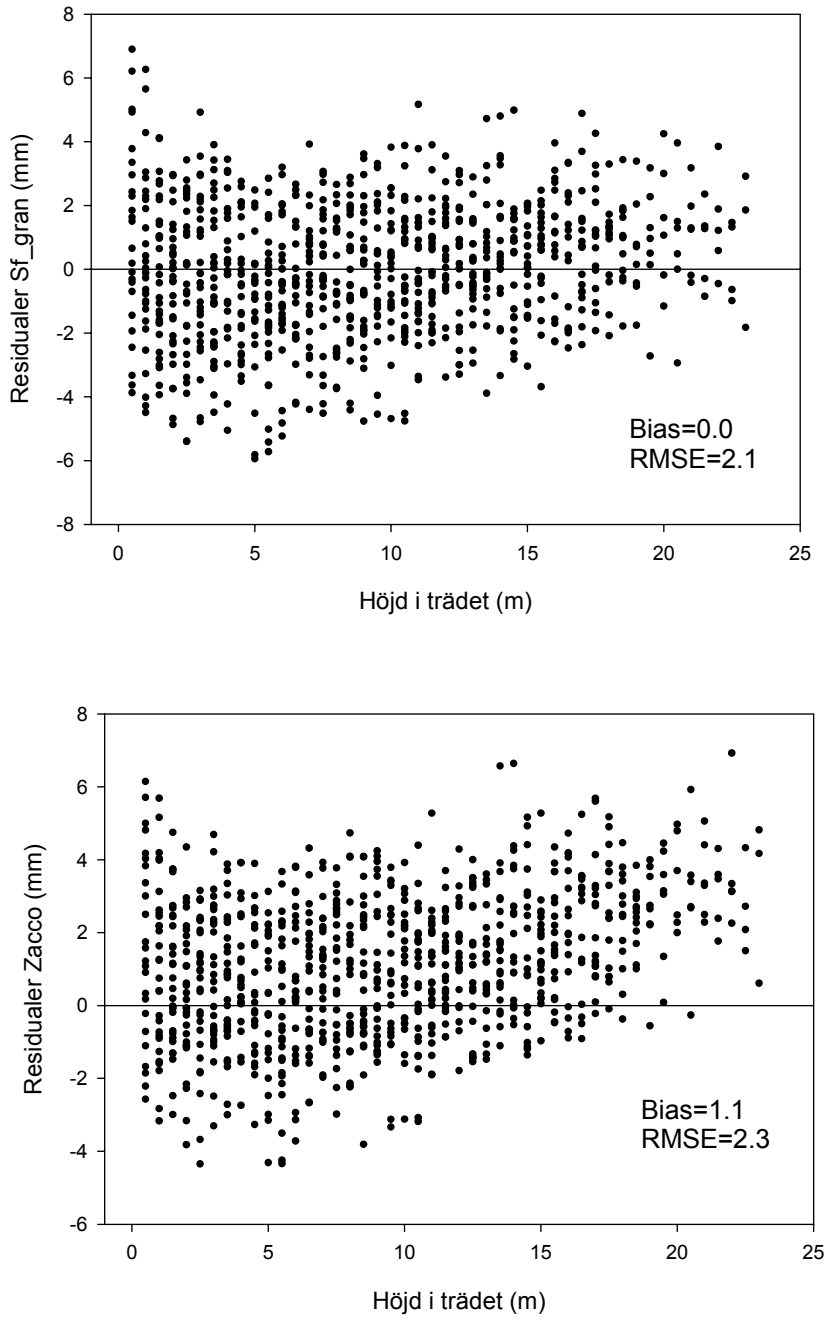


Figur 10.
Residualplottar för de jämförda granbarksfunktionerna baserat på mätdata från material D, 6 småländska bestånd.





Figur 11.
Residualplottar för de jämförda granbarksfunktionerna baserat på mätdata från material E, 3 småländska bestånd.

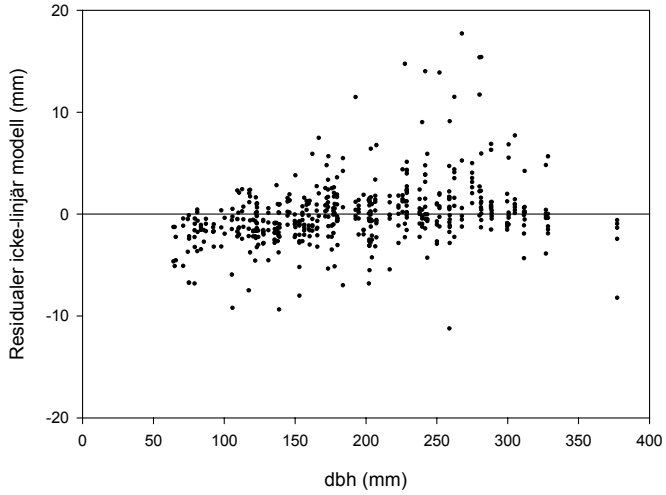


Figur 12.
Residualplottar för de jämförda granbarkfunktionerna baserat på mätdata från material F, stambanksmaterialet.

BEGRÄNSNINGAR NÄR DET GÄLLER TILLÄMPNINGAR AV BARKFUNKTIONEN FÖR TALL

Grundmaterialet för den icke-linjära funktionen består huvudsakligen av slutavverkningsmogna träd med brösthöjdsdiametrar mellan 18 och 44 cm. Dessutom ingår 24 träd från åtta gallringsbestånd i Västerbotten med brösthöjdsdiametrar ned till 13 cm. I valideringsmaterialet C finns träd ned till 6,5 cm i brösthöjd representerade. För att utvärdera precisionen med den nya funktionen för klena träd applicerades modellen på valideringsmaterialet C och residualerna plottades mot brösthöjdsdiametern (figur 13). Av figuren framgår att residualerna inte avviker systematiskt för träd grövre än 10 cm men för klenare träd överskattas barktjockleken systematiskt (negativa residualer). En närmare analys av sådana träd visade att överskattningen sker framför allt i brösthöjd medan mätningarna från 5 meters höjd enbart gav mindre avvikelser. Funktionen orsakar alltså en systematisk överskattning av barktjockleken som uppgår till cirka 2,4 mm för de nedre sex metrarna för stammar med en brösthöjdsdiameter under 10 cm. Denna systematiska överskattning torde vara ett marginellt problem för huvuddelen av skördarna eftersom enbart små volymer med så pass klena stammar avverkas. Dock för skördare som enbart arbetar med klena förstagallringar kan det vara ett alternativ att använda funktionen P5 (Wilhelmsson m.fl., 2002). Denna måste i så fall utvecklas eftersom den i dagsläget enbart är definierad ovan brösthöjd.

Barkfunktionen har inte kunnat utvärderas på träd med en brösthöjdsdiameter överstigande 44 cm då några sådana träd inte fanns i valideringsmaterialen. Dock finns det inga skäl att anta att funktionen skulle ge orimliga värden i intervallet 44 till 59 cm. Överstiger brösthöjdsdiametern däremot 59 cm byter exponentdelen tecken och funktionen ger då orimliga värden. Vid praktisk tillämpning bör därför en begränsning införas på så sätt att träd med en brösthöjdsdiameter överstigande 59 cm får en skattad barktjocklek motsvarande träd med en brösthöjdsdiameter på 59 cm (se vidare ”Praktisk implementering av barkfunktionen för tall” nedan).



Figur 13.
Residualerna för den icke-linjära modellen applicerad på valideringsmaterial C plottade mot brösthöjdsdiametern (dbh).

BEGRÄNSNINGAR NÄR DET GÄLLER TILLÄMPNINGAR AV BARKFUNKTIONEN FÖR GRAN

Grundmaterialet för den nya barkfunktionen för gran är rikstäckande och har en stor spridning i ålder och diameter. I brösthöjd varierade dessa variabler mellan 16 och 207 år respektive mellan 89 och 497 mm. Materialet täcker alltså in merparten av de åldrar/diametrar som finns representerade i svensk gallrings- och slutavverkningsskog.

Ett omfattande arbete lades ned för att med hjälp av stambanksmaterialet kalibrera den framtagna funktionen och valideringen på de oberoende småländska materialen visade att funktionen inte gav några systematiska fel. Det bör dock poängteras att valideringen inte gjorts på något rikstäckande material eftersom något oberoende sådant material inte har funnits att tillgå. Det finns därför en viss osäkerhet hur funktionen kommer att fungera i övriga delar av landet. I grundmaterialet för funktionen var effekterna av variablerna latitud, longitud och höjd över havet inte signifikanta och det finns starka skäl att anta att funktionen kommer att fungera väl över större delen av landet. Men i områden där skogen har en ovanligt hög ålder i förhållande till diametern t.ex. i den fjällnära skogen, kan systematiska underskattningar av barktjockleken befaras uppkomma.

Studien som ligger till grund för de nuvarande barkfunktionerna för gran (Zacco, 1974) visade på en splittrad geografisk bild för granens barktjocklek och det befanns vid den tidpunkten motiverat att skilja ut regioner med avvikande barktjocklek och göra separata funktioner för dessa. Att göra en motsvarande regional anpassning av barkfunktionen för skördarmätning är inte realistiskt eftersom det skulle kräva en alltför omfattande och kostnadskrävande insamling av data. Ett effektivare angreppssätt vore att inkludera ålder i funktionen, vilket bör förbättra skattningarna i områden med avvikande förhållanden mellan diameter och ålder. För att detta skall kunna realiseras krävs dock att åldern kan mätas i skördaren alternativt att åldern kan läggas in manuellt på ett kvalitetssäkrat sätt. Det vore därför bra om implementeringen av den nya barkfunktionen i skördarna skedde så att funktionen på ett enkelt sätt kan uppdateras med nya variabler.

PRAKTISK TILLÄMPNING AV DEN NYA BARKFUNKTIONEN FÖR TALL

Som stöd för praktisk implementering sammanfattas den nya tallfunktionen (Sf_tall) och dess begränsningar nedan.

dbh_b=min(dbh,590) /* Sätter brösthöjdsdiametrar överstigande 590 mm till 590 mm. Den nya variabeln ges namnet dbh_b för att hållas separat och inte orsaka fel vid volymsberäkningarna. */

h_{tg}=-ln(0.12/(72.1814+0.0789*dbh_b-0.9868*lat))/(0.0078557-0.0000132*dbh_b) /* Beräknar brytpunkten för funktionen i cm */

db=3.5808+0.0109*dbh_b+(72.1814+0.0789*dbh_b-0.9868*lat)*exp(-(0.0078557-0.0000132*dbh_b)*h) /* Beräknar dubbla barktjockleken nedan brytpunkten i mm */

if h>h_{tg} then db=3.5808+0.0109*dbh_b+0.12-0.005*(h-h_{tg}) /*Beräknar dubbla barktjockleken ovan brytpunkten i mm */

db=max(db, 2) /* Sätter beräknade dubbla barktjocklekar under 2 mm till 2 mm */

PRAKTISK TILLÄMPNING AV DEN NYA BARKFUNKTIONEN FÖR GRAN

Den nya granfunktionen (Sf_gran) sammanfattas nedan.

reldia=dia/dbh /* Relativa diametern beräknas som aktuell diameter genom brösthöjdsdiametern */

```
db=0.46146+0.01386*dbh+0.03571*dbh*reldia   /* Beräknar dubbla barktjockleken i mm */
```

db=max(db, 2) /* Sätter beräknade dubbla barktjocklekar under 2 mm till 2 mm */

Referenser

Andersson, M. 1994. Simulering av dimensionsmätare för skördare. Arbetsrapport från Skogforsk. 12 s. (Manuskript).

Arlinger, J., Wilhelmsson, L. & Lundqvist S-O. 2001. Vedprovtagning – strategi, dokumentation och utfall. Arbetsrapport 487. Skogforsk, Uppsala. 25s.

Björklund, L., Moberg, L. & Lindström, H. 1998. Stand and tree selection, field measurements of stand, tree and log properties. SLU, Inst. för Skog-Industri-Marknad studier, FAIR CT 96-1915 Improved Spruce Timber Utilisation "STUD", Final Report sub-task AB1.1, 23pp. Uppsala.

Grundberg, S., Grönlund, A. & Grönlund, U. 1995. The Swedish Stem Bank – a database for different silvicultural and wood properties. Research report TULEA 1995:31, Luleå University of technology, 14 pp. ISSN 0347–0881.

Grönlund, A., Björklund, L., Grundberg, S., & Berggren, G. 1995. Manual för furustambank. Tekniskall högskolan i Luelå, Avd. för Träteknik, Teknisk rapport 1995:19 T, 25 pp. Skellefteå.

Hägg, A. 1960. Om noggrannheten vid mätning av barktjocklek vid mätning med barkmätningsinstrument. Skogshögskolan, Inst. för Skogsuppskallttning och skogsindelning. Examensarbete.

Jonsson, L. & Nylinder, M. 1990. Tallbarkens tjocklek längs stammen. Rapport nr. 212. Inst. för Virkeslära. Sveriges Lantbruksuniversitet.

Möller, J. J., Sondell, J., Lundgren, C., Nylinder, M. & Warensjö, M. 2002. Bättre diametermätning i skog och industri. Redogörelse nr. 2, Skogforsk. 1–32.

Möller, J. J., Moberg, L. & Wilhelmsson, L. 2003. Analysis of relationship in the forest chain – Södra Forest – Mönsterås sawmill – Rettenmeier end user. EU-project LINESET. Technical Note TN 6.3.2, Skogforsk, Uppsala 33 pp.

Nilsson, B. 1968. Studier av några kvalitetsegenskapers genetiska variation hos tall (*Pinus sylvestris* L.). Rapport nr. 3: 1–117. Inst. för Skogsgenetik. Skogshögskolan Stockholm.

Sandved, K. B. 1993. Bark: the formation, characteristics and uses of bark around the world. Timber Press, Portland. 174 s.

SAS Institute Inc. 1999. SAS/STAT User's guide, version 8. SAS Institute Inc., Cary, N.C. ISBN 1-58025-494-2.

Skogsstyrelsen 2004. Skoglig statistikinfomation. http://www.svo.se/fakta/stat/.

Wilhelmsson, L., Arlinger, J., Spångberg, K., Lundqvist S-O., Grahn, T., Ö. & Olsson, L. 2002. Models for predicting wood properties in stems of *Picea abies* and *Pinus sylvestris* in Sweden. Scand. J. For. Res. 17: 330–350.

Zacco, P. 1974. Barktjockleken hos sågtimmer. Rapport nr. 90. Inst. för Virkeslära, Skogshögskolan. 1–53.

Östlin, E. 1963a. Barkuppgifter för tall, gran, björk m.fl. Del 1. Barkuppgifter för län, regioner. Rapporter och uppsatser nr. 5; 1–84. Skogshögskolan Stockholm.

Östlin, E. 1963b. Barkuppgifter för tall, gran, björk m.fl. Del 2. Barkuppgifter för bonitets- och åldersklasser och för olika sortiment. Rapporter och uppsatser nr. 6; 1–67. Skogshögskolan Stockholm.