

Utveckling av rikstäckande barkfunktion för björk för användning i skördare

Björn Hannrup, John Arlinger, Jonas Hemmingsson, Maria Nordström & Monika Strömgren



Foto: Erik Viklund, Skogforsk.

Innehåll

Förord	2
Summary	3
Sammanfattning	4
Bakgrund	5
Syfte och mål	6
Material och metoder	7
Mätning av barktjocklek	7
Framtagning av funktion	9
Residualanalys och använd programvara	11
Resultat och diskussion	12
Barktjocklek för björkar från norra och södra Sverige	12
Medelvärden och parameterskattningar	13
Jämförelse mellan funktioner	15
Praktisk rekommendation	18
Referenser	19
Bilaga A. Logaritmisk funktion – fullständig modell	20
Bilaga B. Residualplottar för barkfunktionen för björk i norra Sverige (ekvation 6)	21
Bilaga C. Implementering av barkfunktioner för björk	23



Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala
skogforsk@skogforsk.se
skogforsk.se

Kvalitetsgranskning (Intern peer review) har genomförts 30 maj 2022 av Maria Iwarsson Wide, Programchef. Därefter har Magnus Thor, Forskningschef, granskat och godkänt publikationen för publicering den 9 augusti 2022.

Redaktör: Hanna Andtbacka, hanna.andtbacka@skogforsk.se
©Skogforsk 2022 ISSN 1404-305X

Förord

Denna rapport är utarbetad inom ramen för projektet ”Utveckling av barkfunktion för björk i norra Sverige för användning i skördare”. Projektet har finansierats av medel från Skogsägarna Norra Skogs Forskningsstiftelse samt av medel från Skogsforsks ramprogram.

I studien har data över björkens barktjocklek samlats i norra Sverige av kvalitetstekniker från Biometria. I analyserna har materialet lagts samman med ett tidigare insamlat material från södra Sverige, vilket möjliggjort att en barkfunktion med rikstäckande relevans kunnat utvecklas.

Datainsamlingen i studien samordnades av Jonas Hemmingsson, Biometria. Nedanstående personer utförde datainsamlingen.

NAMN	FÖRETAG
Anders Olsson	Biometria
Andreas Marklund	Biometria
Bo Åström	Biometria
Linus Samuelsson	Biometria
Maria Östlund	Biometria
Mats Jonasson	Biometria
Peter Karlsson	Biometria
Roland Carlson	Biometria
Stefan Rudolfsson	Biometria

Planering av studien samt analys och avrapportering har gjorts av en arbetsgrupp bestående av Monika Strömgren och Jonas Hemmingsson från Biometria, John Arlinger JDA Forestry samt av Björn Hannrup och Maria Nordström från Skogforsk.

Ett varmt TACK till alla som bidragit till studiens genomförande.

/Björn Hannrup (Projektledare)

Summary

Bark functions are used in harvesters to estimate the diameter under bark on the basis of measurements over bark. For birch, the only bark function adapted for use in harvesters is limited to southern Sweden, and there is no bark function suitable for the whole country. Instead, the functions for pine or spruce are used as a substitute in central and northern Sweden. In both cases, the function generates a systematic underestimation of bark thickness and thereby overestimates the wood volume when used to measure birch. The aim of this study was to develop a nationwide bark function for birch, adapted for use in harvesters.

The new nationwide bark function was based on bark measurements on a total of 425 trees from 80 locations. Measurements from data collected earlier from southern Sweden were used, along with new measurements of bark thickness conducted by Biometria quality technicians on a total of 201 trees from 39 sites in central and northern Sweden. The trees were sampled from thinning and final felling stands, with the material largely incorporating most of the variation in age and tree size that occurs in felling in the studied area.

The measured birches from central and northern Sweden showed a similar variation pattern in terms of bark thickness up the stem as birches from southern Sweden. The main difference observed was a lower bark thickness in the first metre at the stem base for birches from northern Sweden. The difference can be linked to variations in formation of rough bark between downy birch and silver birch, in combination with variations in the composition of the two tree species between northern and southern parts of the country.

Various alternatives were tested to generate a bark function suitable for nationwide application. The recommended alternative is to use one function for northern Sweden, north of latitude 60.5 degrees, and another function south of this limit. The same logarithmic function expression is used in both cases, but the function parameters are adapted to the data from northern and southern Sweden respectively.

When applied to the nationwide data, the random error for the recommended alternative with two functions was 4.8 for all measurements, and 3.4 mm for the measurements of the top ends of the logs. In general, no systematic error could be found in the two functions using our data, and the systematic errors that did occur per individual breast height diameter class were negligible. The function therefore has potential to contribute to correct determination of volume under bark in harvesters.

In order to facilitate application, the recommended alternative is summarised in a separate section, see Appendix C.

Sammanfattning

Barkfunktioner används i skördare för att skatta diametern under bark utifrån mätningar på bark. För björk finns endast barkfunktion anpassad för användning för skördare för södra Sverige, medan rikstäckande barkfunktion saknas. Som substitut används för mellersta och norra Sverige i stället någon av funktionerna för tall eller gran, vilka i båda fall genererar en systematisk underskattning av barktjockleken och därmed överskattning av björkens vedvolym. Målet med den här studien var att utveckla en rikstäckande barkfunktion för björk som är anpassad för användning i skördare

Den nya rikstäckande barkfunktionen baserades på barkmätningar på totalt 425 träd från 80 lokaler. Dels användes mätningar från ett tidigare insamlat material från södra Sverige, dels genomförde kvalitetstekniker från Biometria nya mätningar av barktjocklek på totalt 201 träd från 39 avverkningsobjekt i mellersta och norra Sverige. Provräden var hämtade från gallrings- och slutavverkningsobjekt och som helhet täckte materialet in huvuddelen av den variation i ålder och trädstorlek som förekommer vid avverkning inom det studerade området.

De mätta björkarna från mellersta och norra Sverige hade ett likartat variationsmönster i barktjocklek med ökande höjd i stammen som björkar från södra Sverige. Den huvudsakliga skillnaden som noterades utgjordes av en tunnare barktjocklek för metern närmast stambasen för björkarna från norra Sverige. Skillnaden kan kopplas till skillnader i skorpbarksbildning mellan glas- och vårtbjörk i kombination med att sammansättningen av de två trädslagen varierar mellan norra och södra delen av landet.

Olika alternativ prövades för att generera en barkfunktion med rikstäckande relevans. Det alternativ som rekommenderas är att använda en funktion för norra Sverige, norr om latitud 60,5, och en funktion söder om denna gräns. I båda fallen används samma logaritmiska funktionsuttryck, men funktionernas parametrar är anpassade till materialen från norra, respektive södra Sverige.

Det tillfälliga felet för det rekommenderade alternativet med två funktioner uppgick till 4,8 respektive 3,4 mm för alla mätningar respektive mätningarna för stockarnas toppändar, då det applicerades på det rikstäckande materialet. De två funktionerna hade i vårt material totalt sett inget systematiskt fel, och de systematiska fel som förekom per enskild brösthöjdsdiameterklass var försumbara. Funktionen har därmed förutsättningar för att kunna bidra till en korrekt bestämning av volymen under bark i skördare.

För att underlätta tillämpningen har det rekommenderade alternativet sammanfattats i ett separat avsnitt, se bilaga C.

Bakgrund

I Sverige skördas årligen cirka 90 miljoner m³sk virke (Skogsstyrelsen 2022) och den helt dominerande andelen av denna volym avverkas med skördare. Vid upparbetningen mäts längd och diameter kontinuerligt längs stammarna och denna information utgör sedan grunden för optimeringen av stammarnas uppdelning i stockar. Mätningen av diameter sker på bark men eftersom det är virkesvolymen under bark som utgör det prisgrundande handelsmåttet sker en omräkning till diameter under bark i skördardatorn med hjälp av en funktion som beskriver barkens tjocklek. En precis längd och diametermätning tillsammans med en funktion som väl skattar barktjockleken är därför centrala komponenter för volymsbestämningen och för att åstadkomma en effektiv aptering.

För tall och gran används barkfunktioner som är anpassade för användning i skördare (Hannrup 2004, Hannrup & Lundgren 2012). Som ingångsdata används information som kopplar till barkens variationsmönster och som är tillgänglig i skördarna, till exempel aktuell geografisk position, diameter och mätpunktens höjd i stammen. För björk har det saknats barkfunktion anpassad för användning i skördare och som substitut används någon av funktionerna för tall eller gran, vilket i båda fall genererar en systematisk underskattning av björkens barktjocklek (Hannrup m. fl. 2020). För att undvika en systematisk underskattning av barktjockleken, och därmed överskattning av vedvolymen för björk, är det därför angeläget att en barkfunktion för björk utvecklas och implementeras i skördarnas styrsystem.

Användningen av skördarens bestämning av volym som grund för ersättningen till skogsägaren har ökat under de fem senaste åren (Strömngren 2020), även om en avmattning skett på grund av barkborreutbrotten. En nyligen genomförd systemstudie visar att en ökning av ersättningsgrundande skördarmätning på bekostnad av dagens metodik med travmätning skulle leda till en totalt ökad mätnoggrannhet vid inmätning av virke inom branschen (Strömngren 2020). Eftersom travmätning är vanligast i norra Sverige skulle effekten på mätnoggrannheten vara störst där. I studien identifieras avsaknaden av en anpassad barkfunktion för björk som en av de större felkällorna vid skördarmätning. Framtagning av en barkfunktion för detta trädslag är därför viktig för att utveckla denna metodik vidare.

Nyligen publicerades en barkfunktion för björk anpassad för användning i skördare (Hannrup m. fl. 2020). Den publicerade funktionen har utvecklats på ett datamaterial som geografiskt täcker Götaland och Svealand. Inom dessa två regioner förekommer glas- och vårtbjörk i likartade proportioner (Eriksson m. fl. 1996). I norra delen av Sverige dominerar däremot glasbjörk kraftigt. I skördare särskiljs inte glas- och vårtbjörk och barkfunktionen för björk skattar den genomsnittliga barktjockleken för dessa två arter, även om artskillnader sannolikt förekommer. Artskillnader i barktjocklek, tillsammans med skillnaden i artsammansättning mellan södra och norra Sverige, gör det angeläget att samla in kompletterande data för björkens barktjocklek i norra Sverige. Därigenom kan svenskt skogsbruk få tillgång till funktionsuttryck som beskriver björkens barktjocklek och har relevans för hela landet.

Syfte och mål

Det övergripande syftet med studien var att utveckla barkfunktion för björk som har rikstäckande relevans och är anpassad för användning i skördare.

Målet var att utveckla funktionsuttryck som skattar björkens barktjocklek i skördarna utan systematiska fel och därmed undanröjer den systematiska överskattning av vedvolymen som genereras av de funktioner som används idag.

Material och metoder

Mätning av barktjocklek

I utvecklingen av rikstäckande barkfunktion för björk användes data insamlad i en tidigare studie för Götaland och Svealand (Hannrup m fl 2020) kompletterade med ett nytt datamaterial. Det nya materialet insamlades huvudsakligen från Norrland, norr om den biologiska norrlandsgränsen, *Limes Norrlandicus* (figur 1).

Samtliga mätningar i studien utfördes av kvalitetstekniker från Biometria. Mätningarna gjordes i samband med revisorernas ordinarie fältkontroller inom ramen för kvalitetssäkringssystemet av skördarnas längd- och diametermätning. Mätningarna utfördes i gallrings- och slutavverkningsobjekt där det fanns tillgång till björk. Det rikstäckande materialet omfattade mätningar på totalt 425 träd fördelade på 80 lokaler, vilket var en ökning med 201 träd från 39 nya lokaler jämfört med den tidigare studien. I genomsnitt mättes 5 träd per lokal med en variation mellan 1 och 12 träd per lokal.



Figur 1. Karta över provtagningslokaler från den tidigare studien från södra Sverige (Hannrup m fl 2020, blå cirklar) och de som kompletteras från norra Sverige i denna studie (röda cirklar).

För träden som ingick i studien mättes barktjocklek och korsklavad diameter på ett antal punkter längs stammarna. På rotstocken skedde mätningarna 50 cm och 120 cm från rotskåret samt i toppändan. På de övriga stockarna gjordes motsvarande mätningar enbart i rot- och toppändan. Vid varje mätpunkt registrerades avståndet från rotskåret, det vill säga mätpunktens höjd i stammen.

Barkmätningarna gjordes med konventionell barkmätare (Figur 2) och två mått togs per höjdnivå från motstående sidor av stammen. Utifrån de två måtten beräknades den dubbla barktjockleken. Det är den dubbla barktjockleken som modelleras i den barkfunktion som utvecklats i vår studie, vilket också är fallet för de övriga barkfunktioner som används i skogsbruket (Zacco 1974, Hannrup 2004). För att underlätta läsningen används i den löpande texten dock framgent ”barktjocklek” synonymt med ”dubbel barktjocklek”.



Figur 2. Barktjockleken mättes med barkmätare.

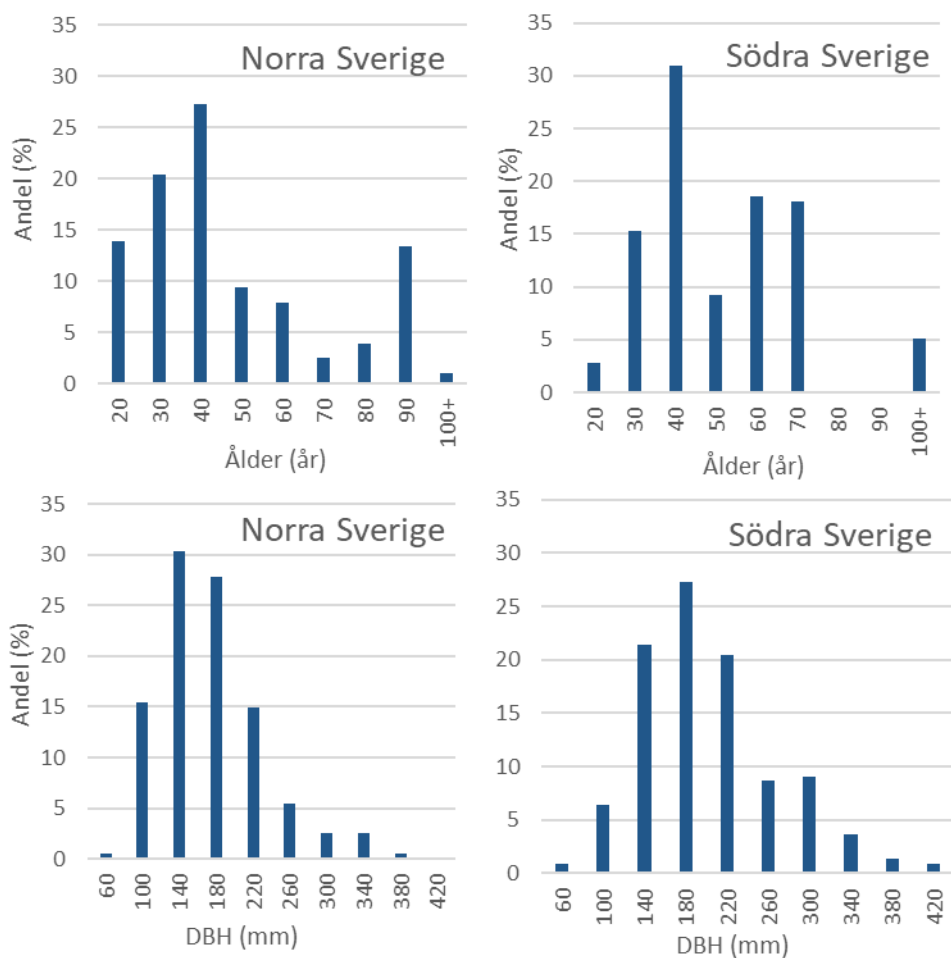
För varje lokal registrerades den geografiska positionen och höjden över havet med hjälp av GNSS-utrustning. Därutöver registrerades trädålder genom räkning av antalet årsringar i rotskåret, alternativt genom uppskattning i de fall årsringarna var svåra att urskilja.

Totalåldern för de mätta björkarna var i genomsnitt 48 år med en variation mellan 10 och 140 år. Brösthöjdsdiametern var i genomsnitt 19 cm med en spännvidd från 6 till 42 cm (Tabell 1). Provträden var hämtade från gallrings- och slutavverkningsskog vilket framgår av deras ålders- och diameterfördelningar (Figur 3). Antalsmässigt övervägde gallringsträd men som helhet täcker materialet in huvuddelen av den variation i ålder och trädstorlek som förekommer vid avverkning inom det studerade området.

Tabell 1. Medelvärden och spridningsmått för provtagningslokalernas geografiska position, provträdens ålder och brösthöjdsdiameter för materialet från den tidigare studien från södra Sverige (Hannrup m fl 2020) och materialet som kompletteras från norra Sverige i denna studie samt de två materialen sammanslagna.

Variabel	Region	Antal	Medelvärde	Std. avv.	Min	Max
Latitud (°N)	Södra	221	58,1	1,3	56,3	62,8
	Norra	201	63,5	1,6	59,5	67,1
	Sverige	422	60,7	3,1	56,3	67,1
Longitud (°O)	Södra	221	14,8	1,5	12,1	17,1
	Norra	201	17,5	2,7	12,5	23,2
	Sverige	422	16,1	2,5	12,1	23,2
Ålder (år)	Södra	216	49	18	20	100
	Norra	201	47,2	24,2	10	140
	Sverige	417	48,2	21,3	10	140
DBH (mm)	Södra	221	201,8	67,8	61	423
	Norra	201	173,0	55,7	65	372
	Sverige	422	187,9	63,8	61	423

Medelvärden och fördelningar för provträdens ålder och brösthöjdsdiameter var likartade i materialet från norra Sverige som insamlades i denna studie i jämförelse med det tidigare insamlade materialet från södra Sverige (tabell 1, figur 3). Provträdens ålders- och storleksmässiga sammansättningar var alltså likartade i materialen från norra och södra Sverige. Skillnaden utgjordes framför allt av en högre ålder och en lägre andel grova träd (DBH > 26 cm) för provträd hämtade från slutavverkning i norra Sverige.



Figur 3. Provtträdens ålders- och diameterfördelning för materialet från den tidigare studien från södra Sverige (Hannrup m fl 2020) och för materialet som kompletteras från norra Sverige i denna studie.

Framtagning av funktion

I den tidigare studien av barktjocklek för björkar från södra Sverige (Hannrup m.fl. 2020) identifierades att ett logaritmiskt funktionsuttryck gav en god följsamhet till barktjocklekens variation längs stammen. Eftersom barktjockleken för björkarna från norra Sverige visade ett liknande variationsmönster som björkarna från södra Sverige valde vi att modellera barktjockleken utifrån denna typ av funktion. I studien togs olika logaritmiska funktionsuttryck fram; uttryck baserade på data från hela landet respektive separata uttryck utifrån material från de två landsdelarna. Vidare provades olika ingående modelltermer. Detta beskrivs närmare nedan.

En logaritmisk funktion styrs av två parametrar: interceptet respektive koefficienten för logaritmeringen av den oberoende variabeln (se Figur 6 i Hannrup m. fl. 2020). För sambandet mellan höjd i stammen och barktjocklek beskriver interceptet barktjockleken då det logaritmerade värdet för höjden i stammen är noll, det vill säga vid höjden 1 meter (alternativt 1 cm då höjden anges i cm). Värdet på koefficienten för den logaritmerade delen styr effekten av den icke-linjära delen, det vill säga logaritmeringen av den oberoende variabeln. För sambandet mellan höjd i stammen och barktjocklek styr koefficienten hastigheten av den icke-linjära minskningen av barktjockleken samt utsträckningen av minskningen, det vill säga vid vilken höjd minskningen övergår från att vara icke-linjär till att bli monotoniskt minskande.

Det fortsatta modelleringsarbetet genomfördes stegvis. I ett första steg anpassades trädvis den icke-linjära modellen till materialet från norra Sverige respektive det sammanslagna materialet från norra och södra Sverige

$$[1] \quad db = \alpha + \beta \ln(h) + \varepsilon$$

där db är den dubbla barktjockleken i mm, h är den oberoende variabeln höjd i stammen (cm), ε det slumpmässiga felet och α och β är parametrar som ska skattas.

I ett efterföljande steg användes plottar och multipel regressionsanalys för att studera sambandet mellan de trädvisa skattningarna av parametrarna α och β och de träd- och positionsvariabler som fanns tillgängliga, det vill säga brösthöjdsdiameter, ålder, latitud och longitud

Brösthöjdsdiameteren angiven i mm hade en signifikant påverkan ($p < 0,0001$) på båda parametrarna från båda materialen. På samma sätt hade ålder en signifikant påverkan på båda parametrarna, men eftersom uppgifter om ålder inte finns tillgängliga vid avverkning med skördare inkluderades inte denna variabel i den slutliga modellen. Dock redovisas parameterskattningar för modeller där ålder inkluderats i bilaga A.

Longitud hade genomgående ingen signifikant påverkan på någon av parametrarna. Latituden hade en signifikant påverkan på både α och β då anpassning av modellen gjordes utifrån materialet för hela Sverige. Dock försvann den signifikanta effekten av latitud då modellen anpassades separat för materialet från norra Sverige. Vi tolkar detta som att den observerade latitudeffekten inte är geografiskt betingad i sig utan snarare är orsakad av den varierande sammansättningen av glas- och vårtbjörk mellan norra och södra Sverige (Eriksson m. fl. 1996).

För materialet från norra Sverige, respektive det sammanslagna materialet från norra och södra Sverige valdes slutligen nedanstående delmodeller.

Norra Sverige:

$$[2] \quad \alpha = \alpha_0 + \alpha_1 dbh + \alpha_2 dbh^2 + \varepsilon$$

$$[3] \quad \beta = \beta_0 + \beta_1 dbh + \varepsilon$$

Norra + Södra Sverige:

$$[4] \quad \alpha = \alpha_0 + \alpha_1 dbh + \alpha_2 dbh^2 + \alpha_3 lat + \varepsilon$$

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

där α_0 och β_0 är intercept, $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta_1, \beta_2$ är regressionskoefficienter, dbh är brösthöjdsdiameteren och lat är latituden.

Delmodellerna inarbetades i ekvation [1] vilket gav följande slutgiltiga modeller för materialen från norra Sverige, respektive det sammanslagna materialet från norra och södra Sverige.

Norra Sverige:

$$[6] \quad db = \alpha_0 + \alpha_1 dbh + \alpha_2 dbh^2 + (\beta_0 + \beta_1 dbh) \ln(h) + \varepsilon.$$

Norra + Södra Sverige:

$$[7] \quad db = \alpha_0 + \alpha_1 dbh + \alpha_2 dbh^2 + \alpha_3 lat + (\beta_0 + \beta_1 dbh + \beta_2 lat) \ln(h) + \varepsilon.$$

Enheterna för modelltermerna är för brösthöjdsdiameter millimeter, för höjd i stammen centimeter och för latitud decimalgrader nord enligt WGS84.

Residualanalys och använd programvara

Residualerna från modellerna plottades mot modelltermerna samt mot latitud, longitud och ålder för att åskådliggöra eventuella systematiska avvikelser. För delmodellen för norra Sverige (ekvation 6) redovisas residualplottar i bilaga B.

Medelfelet eller spridningen till funktionerna, Root Mean Square Error (*RMSE*), beräknades som

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

där *obs* och *pred* är de observerade och predikterade värdena på barktjockleken och *n* antalet observationer. Den genomsnittliga systematiska avvikelsen (*bias*) beräknades som

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

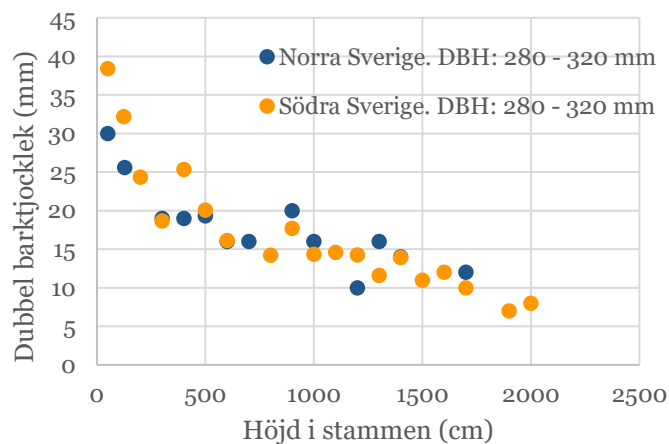
Vid utvecklingen av den logaritmiska funktionen gjordes alla statistiska analyser med programvaran SAS, version 9.4. Den trädvisa modellanpassningen och modellanpassningen för hela materialet utfördes med Proc Nlin. Den multipla regressionsanalysen utfördes med Proc Reg och Proc Nlin.

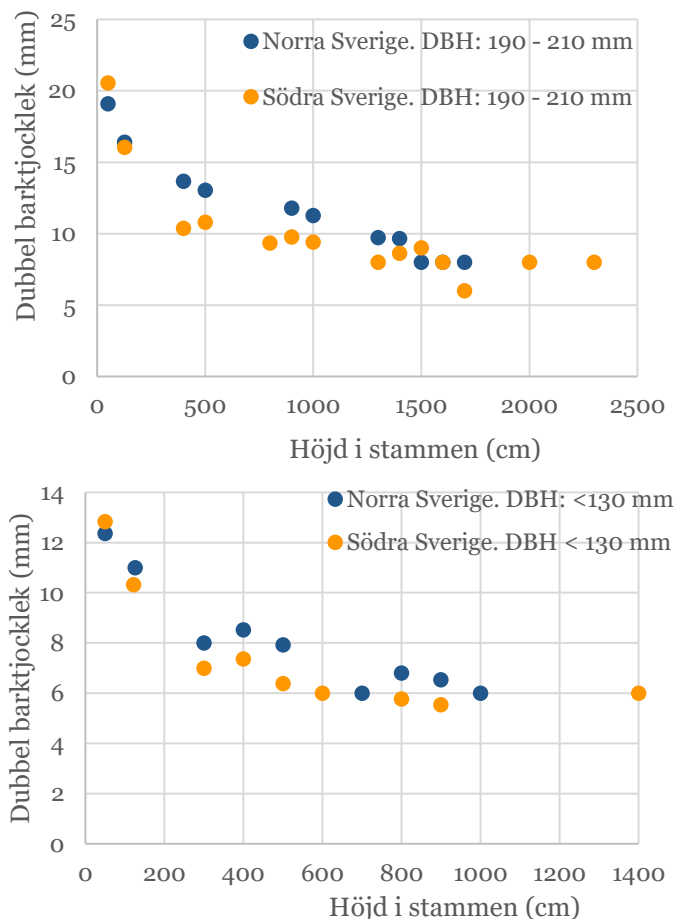
Resultat och diskussion

Barktjocklek för björkar från norra och södra Sverige

Trädvisa plottar indikerade att barktjockleken för björkarna insamlade i norra Sverige hade ett likartat variationsmönster som för de tidigare insamlade björkarna i södra Sverige (Hannrup m. fl. 2020), det vill säga en generell minskning av barktjockleken med ökande höjd i stammen. Minskningen var icke-linjär i stampartiet närmast rotskåret för att sedan bli svagt monotoniskt avtagande för den återstående delen av stammen. Den icke-linjära avsmalningen närmast roten pågick högre upp i stammen och var kraftigare för de grövre stammarna.

I syfte att närmare undersöka ifall det fanns någon uppenbar skillnad i barktjocklek mellan björkarna från södra och norra Sverige jämfördes barktjockleken för tre diameterklasser mot höjd i stammen för de två områdena (figur 4).





Figur 4. Barktjocklekens utveckling med ökande höjd i stammen för björkar från norra och södra Sverige. I delfigurerna visas den genomsnittliga barktjockleken per höjdnivå för björkar inom tre klasser av diameter i brösthöjd: 280 – 320 mm, 190 – 210 mm samt brösthöjdsdiametrar mindre än 130 mm.

Barktjockleken förväntades vara lägre i norra Sverige eftersom förekomsten av vårtbjörk med skorpbarbsbildning är lägre i denna del av landet (Eriksson m. fl. 1996). Detta stämde för den första metern närmast stambasen för björkarna i den grövsta diameterklassen 280 – 320 mm, (figur 4). För klenare björkar däremot (190 – 210 mm) fanns en generell likhet mellan landsdelarna men också en tendens att björkarna i norra Sverige vidmakthöll en högre barktjocklek högre upp i stammarna (figur 4). För diameterklassen upp till 130 mm uppvisade björkarna från norra och södra Sverige en hög grad av likhet och det fanns ingen uppenbar skillnad när det gällde barktjocklekens utveckling med ökande höjd i stammen.

Sammanfattningsvis indikerade jämförelsen att björkar från norra Sverige har ett liknande variationsmönster i barktjocklek med ökande höjd i stammen som björkar från södra Sverige. Men att det samtidigt förekommer skillnader i barktjocklek mellan björkar av samma storleksklass från de två områdena. Barkfunktioner som tas fram bör ha förmåga att återge sådana skillnader. I annat fall kan funktionerna ge upphov till systematiska fel i specifika diameterklasser.

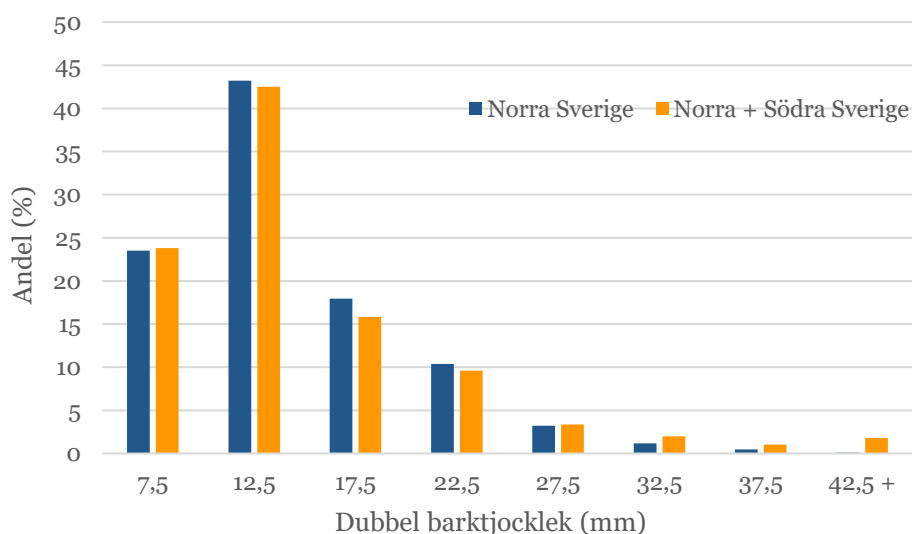
Medelvärden och parameterskattningar

Medelvärden för den dubbla barktjockleken för materialen från norra Sverige, respektive det sammanslagna materialet för norra och södra Sverige redovisas i Tabell 2. Tabellen visar också medelvärden för aktuell diameter, höjd i stammen och latitud. De två sistnämnda variablerna var tillsammans med brösthöjdsdiameter de primära oberoende variablerna i funktionerna som användes i studien.

Tabell 2. Antal observationer, aritmetiskt medelvärde, standardavvikelse samt min- och maxvärde för den dubbla barktjockleken (db), höjden i stammen (h), diametern på bark (d) och latituden (lat) för materialet från norra Sverige, respektive det sammanslagna materialet från norra och södra Sverige.

OMRÅDE	VARIABEL	N	ENHET	MEDEL	STD. AVV.	MIN.	MAX.
Norra Sverige	db	1030	Mm	13,4	5,8	2	40
Norra Sverige	h	1030	M	4,8	4,0	0,5	19,1
Norra Sverige	d	1030	Cm	15,3	5,9	4,9	38
Norra Sverige	lat	1030	°N	63,5	1,6	59,5	67,1
Norra + Södra Sverige	db	2394	Mm	14,3	8,3	2	76
Norra + Södra Sverige	h	2394	M	5,3	4,5	0,5	23,4
Norra + Södra Sverige	d	2394	Cm	16,3	6,5	3,5	45,7
Norra + Södra Sverige	lat	2394	°N	60,4	3,0	56,3	67,1

Fördelningen av mätvärden för den dubbla barktjockleken för materialet från norra Sverige, respektive det sammanslagna materialet från norra och södra Sverige redovisas i Figur 5.



Figur 5. Fördelningen av mätvärden för den dubbla barktjockleken för materialet från norra Sverige, respektive det sammanslagna materialet från norra och södra Sverige.

I studien användes ekvationerna 6 och 7 för att beskriva björkbarkens tjocklek för materialet från norra Sverige, respektive det sammanslagna materialet från norra och södra Sverige.

Norra Sverige:

[6]
$$db = \alpha_0 + \alpha_1 dbh + \alpha_2 dbh^2 + (\beta_0 + \beta_1 dbh) \ln(h) + \varepsilon.$$

Norra + Södra Sverige:

$$[7] \quad db = \alpha_0 + \alpha_1 dbh + \alpha_2 dbh^2 + \alpha_3 lat + (\beta_0 + \beta_1 dbh + \beta_2 lat) \ln(h) + \varepsilon.$$

Parameterskattningarna till funktionerna redovisas i tabell 3 och 4. Samtliga modellparametrar var signifikant skilda från noll med undantag för ett av intercepten, α_0 i ekvation 6. I en analys av modellernas residualer noterades inga systematiska avvikelser mot höjd i stammen, diameter på bark, brösthöjdsdiameter, latitud eller longitud. När det gällde trädåldern däremot fanns för de allra äldsta björkarna (> 120 år) en tendens att funktionerna underskattade barktjockleken (Bilaga 2).

Tabell 3. Parameterskattningar samt tillhörande approximativa 95-procentiga konfidensintervall för den logaritmiska funktionen (ekvation 6) anpassad till materialet från norra Sverige.

Parameter	Skattning	95 % konfidensintervall	
		Nedre gräns	Övre gräns
α_0	3,667628	-0,425	7,760
α_1	0,158563	0,131	0,186
α_2	-0,000072	-0,00012	-0,00002
β_0	-0,944673	-1,636	-0,253
β_1	-0,010725	-0,014	-0,007

Tabell 4. Parameterskattningar samt tillhörande approximativa 95-procentiga konfidensintervall för den logaritmiska funktionen (ekvation 7) anpassad till det sammanslagna materialet från norra och södra Sverige.

Parameter	Skattning	95 % konfidensintervall	
		Nedre gräns	Övre gräns
α_0	57,386574	35,850	78,923
α_1	0,172172	0,152	0,193
α_2	0,000125	0,000090	0,000161
α_3	-0,999773	-1,342	-0,658
β_0	-9,978970	-13,651	-6,307
β_1	-0,025062	-0,029	-0,022
β_2	0,184433	0,126	0,243

Jämförelse mellan funktioner

Vid praktisk användning av barkfunktioner för björk i skördare är det viktigt att ha tillgång till funktionsuttryck som ensamt eller i kombination har rikstäckande relevans. Det finns två alternativ för att nå en sådan rikstäckande relevans:

1. Att använda funktionen för norra Sverige (ekv. 6 i denna studie) i kombination med tidigare utvecklad funktion för södra Sverige (ekv. 7 i Hannrup m. fl. 2020). Dessa två ekvationer är identiska men parametrarna skiljer sig åt då de skattats separat för materialen från norra, respektive södra Sverige.
2. Att använda den rikstäckande funktionen utvecklad på det sammanslagna materialet för norra och södra Sverige (ekv. 7 i denna studie).

I Tabell 5 redovisas systematiska och tillfälliga fel vid användning enligt dessa två alternativ. De systematiska och tillfälliga felen redovisas för hela landet men även uppdelat på norra och södra Sverige. För alternativ 1 innebär det att funktionen för norra

Sverige används i norra Sverige (norr om latitud 60,5) och funktionen för södra Sverige används i södra Sverige (söder om latitud 60,5).

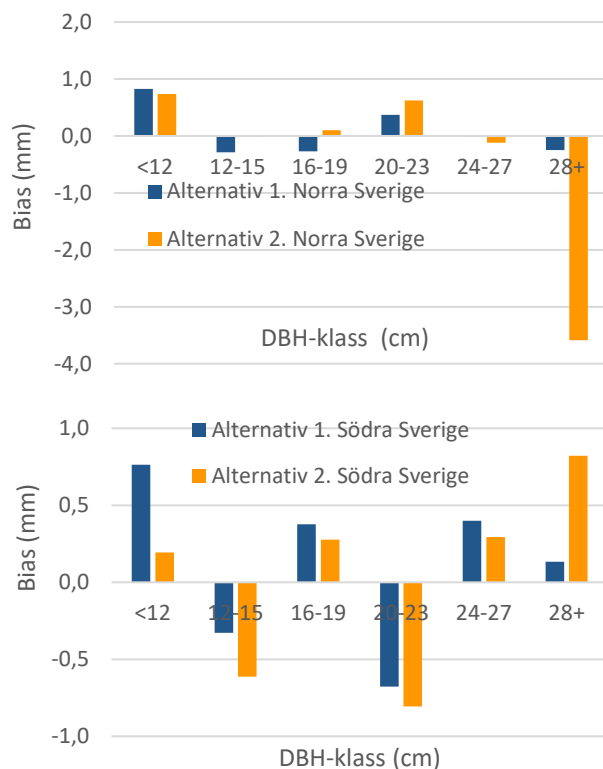
De systematiska felen var genomgående nära noll för båda alternativen (Tabell 5). Detta gällde såväl när alternativen applicerades på data från hela landet som när alternativen applicerades på data från norra, respektive södra Sverige. De tillfälliga felen var likartade för de två alternativen (Tabell 5). Dock fanns en tendens till lägre tillfälliga fel för alternativ 1, det vill säga då två separata funktioner kombinerades för norra och södra Sverige. Detta gällde framför allt då alternativen applicerades på data från norra Sverige.

För båda alternativen var de tillfälliga felen genomgående lägre då de applicerades på data från norra Sverige än då de applicerades på data från södra Sverige. Detta gällde framför allt då de tillfälliga felen beräknades utifrån samtliga mätningar. Då de tillfälliga felen beräknades från mätningar ovan 3 meter minskade skillnaden mellan landsdelarna markant. Vi tolkar detta som att i södra Sverige finns en stor variation mellan träd när det gäller skorp barkens utbildning i det nedre stampartiet vilket inte är fallet för björkar i norra Sverige.

Tabell 5. Antal observationer, indata samt systematisk (bias) och tillfällig avvikelse (RMSE) för avvikelsen mellan mätt barktjocklek och barktjocklek beräknad enligt de två alternativen för hela Sverige samt norra och södra Sverige.

Testområde	Indata	n	Bias (mm)	RMSE (mm)
<u>Alternativ 1. Kombination av separata funktionsuttryck för norra och södra Sverige</u>				
Hela Sverige	Samtliga mätningar	2394	0,00	4,79
Hela Sverige	Ovan 3 meter	1547	-0,04	3,37
Södra Sverige	Samtliga mätningar	1364	0,00	5,54
Södra Sverige	Ovan 3 meter	901	-0,10	3,54
Norra Sverige	Samtliga mätningar	1030	0,00	3,57
Norra Sverige	Ovan 3 meter	646	0,04	3,13
<u>Alternativ 2. Rikstäckande funktionsuttryck</u>				
Hela Sverige	Samtliga mätningar	2394	0,00	4,88
Hela Sverige	Ovan 3 meter	1547	-0,06	3,35
Södra Sverige	Samtliga mätningar	1364	0,00	5,52
Södra Sverige	Ovan 3 meter	901	-0,04	3,41
Norra Sverige	Samtliga mätningar	1030	0,00	3,90
Norra Sverige	Ovan 3 meter	646	-0,07	3,26

I en fördjupad jämförelse av funktionsuttrycken för de två alternativen delades de systematiska felen upp på olika brösthöjdsdiameterklasser. Då funktionerna i alternativ 1 applicerades på data från norra och södra Sverige var de systematiska felen genomgående nära noll och i samtliga fall mindre än 1 mm (Figur 6). Då funktionsuttrycket i alternativ 2 applicerades på samma material noterades en markant högre systematisk avvikelse (-3,6 mm) för den grövsta diameterklassen för materialet från norra Sverige (Figur 6).



Figur 6. Systematiskt fel (bias) per brösthöjdsdiameterklass då funktionsuttrycken för alternativ 1 och 2 applicerades på data från norra Sverige (övre figur), respektive södra Sverige (nedre figur). Observera att skalan på y-axeln är olika i de två figurerna.

En hypotes inför modelleringsarbetet var att ett funktionsuttryck anpassat utifrån det mer omfattande sammanslagna materialet från norra och södra Sverige (alternativ 2) i högre grad skulle kunna fånga björkbarkens variation än separat anpassade funktioner utifrån de två mindre delmaterialen (alternativ 1). Den fördjupade jämförelsen mellan de två alternativen visade dock att så inte var fallet (Figur 6). Vi tolkar detta förhållande som att den rikstäckande funktionen inte förmådde följa den specifika variation i barktjocklek, företrädesvis bildningen av skorpbark, som förekom mellan landsdelarna. Baserat på ovanstående resultat och resonemang rekommenderar vi att alternativ 1 med två separata funktionsuttryck används i skördare.

Praktisk rekommendation

Baserat på resultat från denna studie och den tidigare studien av björkens barktjocklek (Hannrup m. fl. 2020) rekommenderar vi att två separata funktioner används i skördare i Sverige. Vår rekommendation är att funktionen utvecklad på materialet från norra Sverige (ekvation 6 i denna studie) används norr om latitud 60,5 och funktionen tidigare utvecklad på materialet från södra Sverige (ekvation 7 i Hannrup m. fl. 2020) används söder om denna gräns. Dessa två ekvationer är identiska men parametrarna skiljer sig åt då de skattats separat för materialen från norra, respektive södra Sverige.

För att underlätta implementeringen har funktionerna och tillhörande parametrar sammanfattats i bilaga C.

Referenser

- Eriksson, H., Johansson, U. & Lundgren, L. N. 1996. Glasbjörk eller vårtbjörk – metoder för säker artbestämning. Fakta Skog, SLU. 4 s.
- Hannrup, B. 2004. Funktioner för skattning av barkens tjocklek hos tall och gran vid avverkning med skördare. Arbetsrapport 575 Skogforsk. 34 s.
- Hannrup, B., Arlinger, J., Ene, L., Nordström, M. & Strömgren, M. 2020. Utveckling av ny barkfunktion och utvärdering av mätprecision för björk i södra och mellersta Sverige. Arbetsrapport 1035 Skogforsk. 24 s.
- Hannrup, B & Lundgren C. 2012. Utvärdering av Skogforsks nya barkfunktioner för tall och gran – en uppföljande studie. Arbetsrapport 762 Skogforsk. 14 s.
- Strömgren, M. 2020. Partivis noggrannhet vid skördarmätning 2018 – 2019. Rapport från Biometria. 19 s.
- Skogsstyrelsen 2022. <https://www.skogsstyrelsen.se/statistik/> (tillgänglig 20220131).

Bilaga A. Logaritmisk funktion – fullständig modell

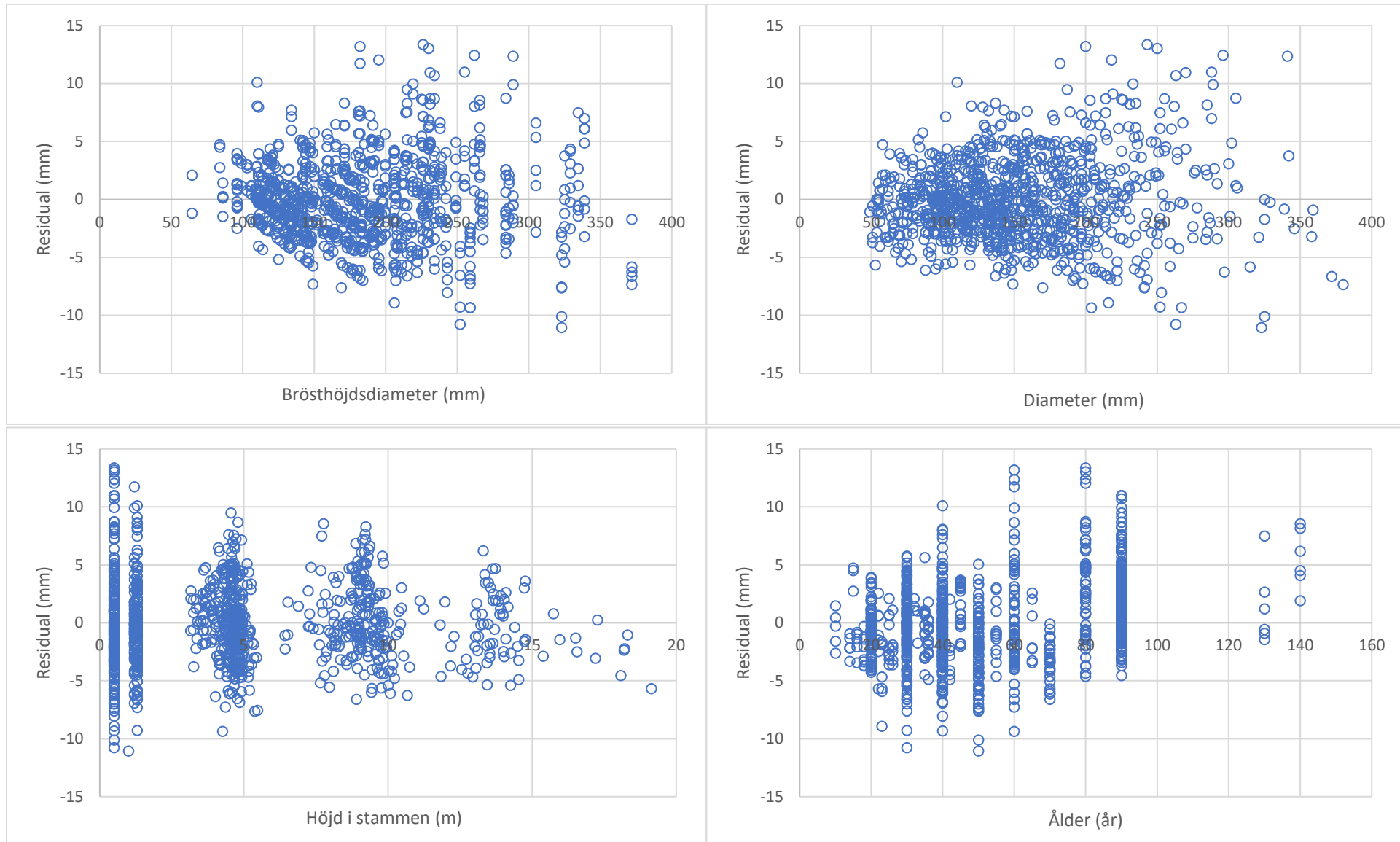
Trädens ålder hade en signifikant inverkan på barktjockleken i norra Sverige. Dock inkluderades inte denna variabel i den slutliga barkfunktionen för björk i norra Sverige (ekvation 6) eftersom uppgifter om ålder inte finns tillgängligt vid avverkning med skördare. I tabell A.1 redovisas parameterskattningar för en fullständig modell, där ålder inkluderats som oberoende variabel (ekvation 6a) och där parametrarna skattats från materialet från norra Sverige.

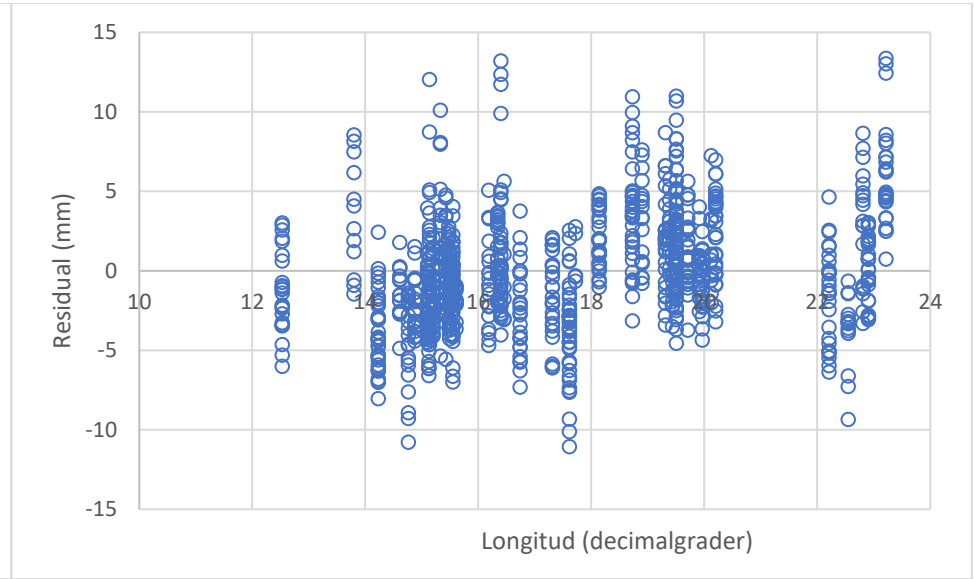
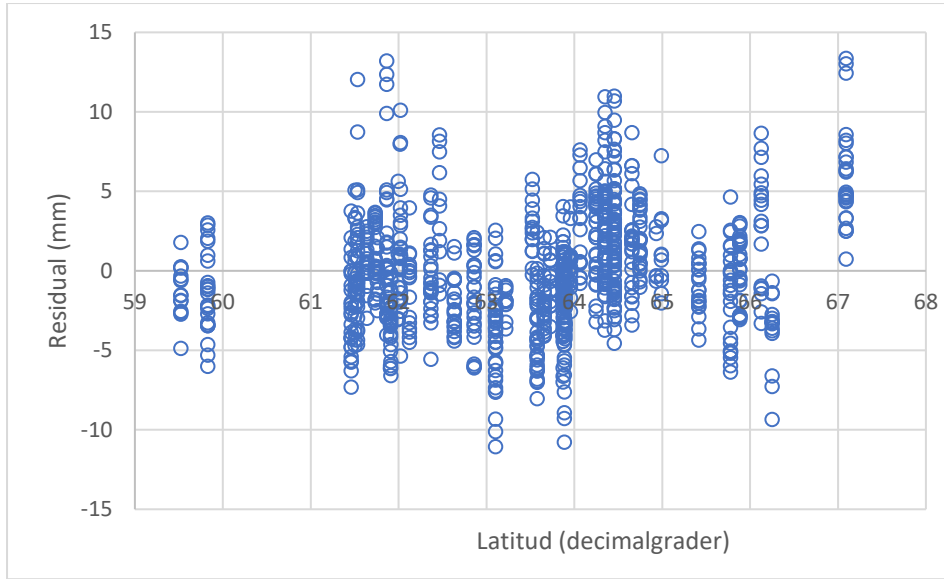
$$[6a] \quad db = \alpha_0 + \alpha_1 dbh + \alpha_2 alder + (\beta_0 + \beta_1 dbh + \beta_2 alder) \ln(h) + \varepsilon.$$

Tabell A.1. Approximativa 95-procentiga konfidensintervall för de skattade parametrarna för den logaritmiska funktion där ålder inkluderats som oberoende variabel (ekvation 6a) samt funktionens systematiska fel (*bias*) och spridning (*RMSE*).

Parameter	Skattning	95 % konfidensintervall	
		Nedre gräns	Övre gräns
α_0	5,539848	2,055426	9,02427
α_1	0,096328	0,073697	0,118959
α_2	0,145098	0,0942	0,195997
β_0	-0,82621	-1,43981	-0,2126
β_1	-0,00868	-0,01255	-0,0048
β_2	-0,01156	-0,02013	-0,00299
bias (mm)	0,00		
RMSE (mm)	3,21		

Bilaga B. Residualplottar för barkfunktionen för björk i norra Sverige (ekvation 6)





Bilaga C. Implementering av barkfunktioner för björk.

Två funktioner används i Sverige för att beräkna den dubbla barktjockleken hos björk. Norr om latitud 60,5 används funktionen "Sf_bjork_norr" medan funktionen "Sf_bjork_syd" används söder om latitud 60,5. De två funktionerna har samma funktionsuttryck men de ingående parametrarna skiljer sig åt. Som stöd för praktisk implementering sammanfattas funktionerna och deras begränsningar nedan.

```
height_cm_db = height_cm          /*Höjd i stammen där barktjocklek ska beräknas (cm)*/

If height_cm < 1 then height_cm_db = 1 /* Funktionerna är definierade för höjd i stammen ≥ 1 cm. För att hantera höjder under 1 cm införs en ny variabel
(height_cm_db) som sätts till 1 då höjden i stammen är lägre än 1 cm. */

dbh_mm_db = dbh_mm                /* Brösthöjdsdiameter (mm)*/

ao_syd = -9,4175                  /* Rekommenderade parametrar för björk, söder om latitud 60,5 */
a1_syd = 0,207
a2_syd = 0,000153
bo_syd = 2,2748
b1_syd = -0,0322

db_Sf_bjork_syd = ao_syd + a1_syd *dbh_mm_db + a2_syd *dbh_mm_db2 + (bo_syd + b1_syd *dbh_mm_db)*ln(height_cm_db) /*
                                                                    Beräknar dubbla barktjockleken (mm) för funktionen
                                                                    Sf_bjork_syd*/

ao_norr = 3,667628                /* Rekommenderade parametrar för björk, norr om latitud 60,5 */
a1_norr = 0,158563
a2_norr = -0,000072
bo_norr = -0,944673
b1_norr = -0,010725

db_Sf_bjork_norr = ao_norr + a1_norr *dbh_mm_db + a2_norr *dbh_mm_db2 + (bo_norr + b1_norr *dbh_mm_db)*ln(height_cm_db) /* Beräknar
                                                                    dubbla barktjockleken (mm) för funktionen
                                                                    Sf_bjork_norr */
```