



# Biomassafunktioner för trädfaktorer av tall, gran och björk i Sverige

Hans Petersson



## Arbetsrapport 59 1999

Sveriges lantbruksuniversitet  
Institutionen för skoglig resurshushållning  
och gomatik  
S-901 83 UMEÅ  
Tfn: 090-786 58 25 Fax090/141915, 778116

ISSN 1401-1204  
ISRN SLU-SRG-AR-59-SE



# **Biomassafunktioner för trädfaktorer av tall, gran och björk i Sverige**

**Hans Petersson**

Arbetsrapport 59 1999

---

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET  
Institutionen för skoglig resurshushållning  
och geomatik  
S-901 83 Umeå  
Tfn: 090-786 58 25 Fax090-141915, 778116

ISSN 1401-1204  
ISRN SLU-SRG-AR-59-SE

## Förord

Vi vet genom inventeringar och andra källor ganska väl hur Sveriges skogar ser ut, sköts och nyttjas i nuläget. Som underlag för strategiska beslut omfattande miljöfrågor, skogens brukande i framtiden samt industrifrågor, krävs också långsiktiga konsekvensanalyser. Dessa skall ge underlag till att svara på frågor om hur vi uppnår ett hållbart skogsbruk, en hållbar skogsindustri och ett hållbart energisystem. Sedan 1960-talet har landsomfattande skogliga konsekvensanalyser genomförts med 5-10 års intervall. Den senaste analysen, AVB 92, publicerades 1992.

Under åren 1998-1999 genomförs en ny landsomfattande studie, kallad Skogliga KonsekvensAnalyser 1999 (SKA 99). Dessa analyser skall visa på skogarnas utveckling och potential att leverera nyttigheter på 100 års sikt under antaganden beträffande skötsel och nyttjande. I SKA 99 samverkar Skogsstyrelsen, SLU, Statens Energimyndighet, Naturvårdsverket och NUTEK. Tänkt användare av resultaten från analyserna är regering, riksdag, myndigheter, näringsliv, skogsägare och ideella organisationer.

Ansatsen i SKA 99 är bredare än i tidigare konsekvensanalyser. Miljö-, kol- och skogsbränslefrågorna belyses mer ingående. Dessutom är ambitionen att de i beräkningarna ingående förutsättningarna skall vara mer genomarbetade och bättre beskrivna än tidigare. Arbetet är grovt uppdelat i en förutsättnings-, en beräknings- och en analys/resultatredovisningsfas.

Denna rapport är en del i förutsättningsarbetet. I rapporten beskrivs nya funktioner för att skatta mängden biomassa i ett träd uppdelat i olika fraktioner. Materialet till funktionerna är hämtat från Marklunds undersökningar, men funktionerna skiljer sig från Marklunds funktioner bl.a. genom att beståndets täthet och därmed mängd grenved, etc. modelleras annorlunda. Funktionerna kommer i SKA 99 att användas för att skatta potentiell skogsbränsletillgång, samt för att beräkna kolbindning och indirekt kvävebalans i skogen.

Hans Peterson vid SLU i Umeå har utfört arbetet och sammanställt rapporten.

Jönköping i maj

Sven A Svensson

Tomas Thuresson

Chef Analysenheten  
Skogsstyrelsen

Projektledare SKA 99  
Skogsstyrelsen

---

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

<b>1. INLEDNING</b> .....	<b>4</b>
<b>2. MATERIAL OCH METODER</b> .....	<b>5</b>
2.1 MATERIAL .....	5
2.2 HUGIN .....	8
2.3 MODELL .....	8
<b>3. RESULTAT</b> .....	<b>10</b>
3.1 BIOMASSAFUNKTIONER.....	10
3.2 RESIDUALSTUDIER .....	14
3.3 PARTIALSAMBAND .....	16
3.4 JÄMFÖRELSER MED MARKLUNDS BIOMASSAFUNKTIONER .....	17
<b>4. DISKUSSION</b> .....	<b>27</b>
<b>5. SAMMANFATTNING</b> .....	<b>29</b>
<b>6. REFERENSER</b> .....	<b>31</b>

## 1. INLEDNING

I denna arbetsrapport dokumenteras biomassafunktioner baserade på material insamlat av Marklund (1987). Funktionerna kommer att ingå i simuleringsmodellen HUGIN (Bengtsson et al., 1989) och användas i de nya landsomfattande skogliga konsekvensanalyserna – SKA 99 ([www.svo.se/SKA99](http://www.svo.se/SKA99)). Projektet SKA 99 skall genomföra en bred skoglig konsekvensanalys som under olika antaganden beträffande skogsskötsel samt skogsmarkens och skogens nyttjande på 100 års sikt främst ska belysa skogstillståndet, miljöförhållanden inklusive rekreationsaspekter, möjlig uthållig avverkning med avseende på storlek och sammansättning, potentiell tillgång på skogsbränsle och kolbindning i skog. Projektet drivs i samverkan mellan Skogsstyrelsen, SLU, Statens Energimyndighet, Naturvårdsverket och NUTEK.

Vanligtvis används större delen av avverkade trädets biomassa i sågverks- och massaindustrin samt för energiproduktion. Under senare år har råvara från trädstammar efterfrågats mest av sågverks- och massaindustrin medan toppen under en viss minimidiameter lämnats i skogen eller använts för energiproduktion. Total mängd råvara lämplig för energiproduktion torde därför utgöras av hela trädets biomassa reducerat med den andel som används av sågverk- och massaindustrin. Dvs toppar, bark, barr, grenar, stubbar och övriga rester från sågverks- och massaindustrin. I vissa fall kan hela, oftast små träd och annan vegetation såsom beståndsunderväxt utnyttjas för energiproduktion. Vad som tas tillvara beror på dagspriser och vad som miljömässigt anses lämpligt.

Det finns flera viktiga skäl varför skogen nyttjas alltmer för energiproduktion. Ett viktigt skäl är beslutet 1996 att avveckla kärnkraften. Andra skäl är nationella och internationella önskemål att ersätta fossila bränslen.

I SKA 99 görs ett försök att kvantifiera och analysera kol- och näringsbalanser i skogen. I detta sammanhang används biomassafunktioner för att få en uppfattning om kol- och kväveinnehåll i träd. För varje träd erhålls total mängd kol respektive kväve genom att multiplicera trädfraktioners torrsvikt med konstanter.

De biomassafunktioner som redovisas i denna rapport förväntas kunna användas vid framskrivning av biomassa i en simuleringsmodell. För att denna framskrivning skall bli realistisk bör biomassan beskrivas med en volym- och en densitetskomponent. Volymkomponenten bör vara korrelerade med t.ex. diameter-, höjd- och formuttryck, medan densitetskomponenten t.ex. med variabler som beskriver trädets historiska tillväxt, konkurrenssituation och ålder. Jämfört med Marklunds (1987; 1988) biomassafunktioner som använts i tidigare avverkningsberäkningar (e.g. Bengtsson et al., 1989; Lundström et al., 1993) har för funktionerna i SKA 99 större vikt lagts vid att kunna analysera effekter av variabler korrelerade med densitetskomponenten, dvs t.ex. hur bestånds-konkurrens inverkar på enskilda trädets biomassa. Valet av lämpliga variabler begränsas till i simuleringsmodellen befintliga och framskrivningsbara variabler. En så kallad multiplikativ modell har använts för att skatta biomassa. Erfarenhetsmässigt och under arbetets gång har denna modell visat sig vara godtagbar. Modellen består av olika regressionsfunktioner där de oberoende variablerna förväntas vara korrekt mätta. Det är således mindre lämpligt att använda oberoende variabler i modellen vilka skattas med funktioner ty dessa skattningar inkluderar slumpfel.

Konkret har biomassafunktioner konstruerats för att skatta torrsvikt av stam på bark, bark, barr, levande grenar, döda grenar, biomassa ovan stubbe för tall, gran och björk och av stubb- och rotfraktion grövre än 5 cm och total biomassa för tall och gran. Biomassafunktionerna har genomgått en rad statistiska tester. Tillstånd i startläget och förväntade framtida tillstånd har skattats för enskilda träd och för bestånd från två godtyckliga län. Tillstånd för bestånd med olika ålder från norra och södra Sverige har också skattats. Resultaten har jämförts med motsvarande resultat baserade på Marklunds (1988) funktioner.

## 2. MATERIAL OCH METODER

### 2.1 Material

Materialet som används är samma som Marklund (1987, 1988) använt. Endast torrviktsmätta träd (träd på vilka samplade delar faktiskt har torrviktsmätts) används i denna studie till skillnad från Marklund (1987) som tilldelade torrvikter med hjälp av en funktion för enbart råviktsmätta träd. Stickprovsdesign, hur fält- och laboratoriearbete utfördes och hur torrvikter beräknades beskrivs ej här utan av Marklund (1987). Materialet representerar stora delar av Sverige med träd från marker ägda av dåvarande Domänverket. En nackdel är att materialet skötselmässigt endast representerar en ägare. Statistik rörande skattade variabler redovisas i tabell 1.

Tabell 1. Statistik rörande skattade variabler. Torrsvikt är mätt i gram. N avser antalet registrerade observationer och N' antalet observationer i respektive variabels slutliga regressionsfunktion.

Variabel	Förkortning	Trädslag	Medelvärde	Minimum	Maximum	N	N'
Torrsvikt av stam på bark	tvstam	gran	105294	392	1513843	492	487
		tall	115675	99	631126	462	451
		björk	56099	184	591853	217	215
Torrsvikt av bark	tvbark	gran	8998	48	137666	492	482
		tall	7921	19	124209	460	447
		björk	8492	203	91610	210	208
Torrsvikt av barr	tvbarr	gran	15785	76	104720	492	486
		tall	6614	23	41351	458	444
Torrsvikt av levande grenar inklusive eventuella barr, löv och kottar	tvlgren	gran	42884	313	381835	492	490
		tall	25959	37	194715	458	454
		björk	15240	50	180410	214	210
Torrsvikt av döda grenar	tvdgren	gran	2512	1	82248	476	443
		tall	3121	4	72273	445	405
		björk	762	2	10446	197	194
Torrsvikt av stubbe och rotfraktion med diameter grövre än fem cm	tvrotstu	gran	62725	9784	346750	129	253*
		tall	57335	10964	219574	127	253*
Torrsvikt ovan stubbe	tvovstu	gran	143364	1564	1893886	479	457
		tall	139454	161	898113	444	431
		björk	73236	1918	705543	210	205
Torrsvikt totalt	tvttot	gran	171991	1721	2269860	283	270
		tall	157625	471	1114329	281	275
Torrsvikt totalt exklusive rotfraktion med diameter mindre än fem cm	tvttot-5	gran	165128	1651	2239862	283	270
		tall	150341	281	1083306	281	274

\* avser antalet observationer i den slutliga "tvrotstu" funktionen i vilken en indikatorvariabel indikerar om trädslaget är tall eller gran. Antalet registrerade observationer har alltså reducerats med tre (129+127-253) observationer i den slutliga funktionen.

Torrsvikt av stam på bark (tvstam) avser torrsvikten av stam och bark ovan stubbe. Stubbskåret anses vara beläget på en trädhöjd av 1%. Grendelar belägna utanför trädets mantelyta, samt barr och kottar ingår ej. Torrsvikt av bark avser mängden bark av tvstam. En gren anses börja vid stammens mantelyta och en levande gren avser en gren med gröna barr eller löv (materialet är insamlat under tillväxtsången).

I genomsnitt för tall och gran återfinns 58% av torrsvikten i stammen (tvstam), i storleksordningen 19% i de levande grenarna (tvlgren), 6% i barren (tvbarr), 4% i barken (tvbark) och 1% i de döda grenarna (tvdgren). Ungefärligen 22% av torrsvikten återfinns i hela stubb- och rotfraktionen. Lägga märke till att stammen inkluderar bark och att levande grenar inkluderar barr och eventuella kottar. Marklund (1987) registrerade inte stubbar och rötter för trädslaget björk. Torrsvikt av "finrötter" (rotfraktion med diameter mindre än fem cm) kan indirekt skattas för tall och gran. Variabeln "finrötter" innehåller antagligen en hel del torrsvikt ej härrörande från det aktuella trädet.

Antalet registrerade observationer överensstämmer vanligen ej med antalet observationer i de slutliga funktionerna. Detta beror på att registreringar saknas för vissa oberoende variabler. I något fall har observationer med orimligt värde påträffats och raderas. En tredje orsak är att bedömda felregistreringar avlägsnats från materialet med en statistisk modell. Detta har gjorts genom att först genomföra en regression och spara residualerna för varje enskild observation. En skattnings residual är observerat värde minus dess med regressionsfunktionen skattade värde. De observationer vars residualer avviker mycket tas bort (om ett residualvärde delat med tre gånger medelfelet för residualerna är större eller mindre än ett, avlägsnas observationen). Därefter görs regressionen med samma oberoende variabler men förhoppningsvis utan registreringsfel om. Vanligen avlägsnas endast någon procent av observationerna med denna statistiska metod. Som mest har knappt nio procent av antalet observationer avlägsnats och den huvudsakliga orsaken har då varit att registreringar saknats.

Vid tillämpning är det viktigt att kunna bedöma funktionernas representativitet. Detta är särskilt viktigt vid extrapolering dvs t.ex. när funktionerna nyttjas för att skatta biomassa för träd större än det största trädet i materialet som funktionerna grundar sig på. Materialet samlades in under sommarhalvåret 1983-1985 då flertalet björkar bar lövskrud. I vissa situationer kan det vara nödvändigt att på något sätt kalibrera sitt material p.g.a. tillfälliga "bördighetsvariationer". Det kan t.ex. tänkas att insamlingssomrarna var speciellt torra eller regniga vilket kan ha påverkat biomassan i barren. Ingen korrektion för "bördighetsvariationer" har emellertid utförts. I tabell 2 redovisas statistik rörande samtliga i funktionerna ingående oberoende variabler samt den i många fall intressanta variabeln "trädlängd".



Tabell 2. Statistik rörande i funktionerna ingående oberoende variabler samt variabeln ”trädlängd”. N avser antalet registrerade observationer.

Variabel	Förkortning	Enhet	Trädslag	Medelvärde	Minimum	Maximum	N
Stamdiameter på bark mätt 1,3 m över marken	dbrh	mm	gran	165	17	634	492
			tall	189	24	489	462
			björk	122	11	368	217
Trädlängd	trlan	dm	gran	128	17	352	492
			tall	134	24	283	462
			björk	108	27	248	217
Trädålder mätt 1,3 m över marken	behald	år	gran	55	5	223	492
			tall	65	5	271	462
			björk	44	5	340	217
Fem års radietillväxt mätt 1,3 m över marken	tilvfem	0,1 mm	gran	78	4	349	487
			tall	65	5	340	462
			björk	60	7	309	217
Ståndortsindex*	SI	m	gran	23	8	38	492
			tall	20	8	32	462
			björk	22	8	32	217
Marktyp	mark	- **	gran	0,14	0	1	493
			tall	0,20	0	1	462
			björk	0,14	0	1	217
Nord koordinat (rikets nät)	nko	0,001°	gran	67220	61839	75199	492
			tall	67828	62512	75199	456
			björk	68043	62512	75199	217
Öst koordinat (rikets nät)	eko	0,001°	gran	15056	12794	18254	492
			tall	15182	12886	18254	456
			björk	15305	12794	18254	217
Altitud (höjd över havet)	altitud	m	gran	217	30	570	492
			tall	233	30	610	456
			björk	233	35	570	217

\* enligt Hägglund och Lundmark (1977); \*\* avser en enhetslös indikatorvariabel som får värdet ett om marktypen är torvmark och noll annars.

Små träd är inte representerade i materialet. Träd som inte hunnit bli minst fem år mätt i brösthöjd (1,3 meter över marken) ingår ej heller. Ståndortsindex är den aritmetiska medelhöjden av de 100 grövsta träden per hektar och redovisas för det dominerande trädslaget (Hägglund & Lundmark, 1977). Marktyp är en indikatorvariabel som indikerar om marktypen i fråga är torvmark eller ej. Marklund (1988) definierar torvmark som ”mark där humustäcket är 30 cm eller djupare”. Tyvärr beskriver inte Marklund vilket krav på täckningsgrad som avses, men i studien användes cirkulära provytor med en radie av tio meter, så det torde krävas ett torvdjup på 30 cm eller mer på hela provytan om marktypen skall klassificeras som torvmark. När torvdjup skall mätas relateras vanligen dess djup ned till underliggande mineraljord, och således vid beräkning av torvdjup, bortses oftast från eventuellt på ytan befintligt ”berg i dagen”. Maximum och minimum nordkoordinater enligt rikets nät motsvarar ungefär latitud 56°-68°. Även longitudinellt täcker materialet större delen av landet. Skog i höglägen och kustnära skog är inte representerade.

## 2.2 HUGIN

HUGIN-systemet är en simuleringsmodell som beskriver skogstillståndets sannolika utveckling och möjlig avverkning under preciserade antaganden om framtida skogsskötsel. Skogstillståndet i utgångsläget avser all skogsmark och beskrivs utifrån Riksskogstaxeringens material inhämtat från cirkulära provytor (Ranneby et al., 1987). Minsta relevanta geografiska redovisningsenhet är av storleksordningen län eller för stora län länsdel för vilka tillväxt, skogstillstånd, utförda åtgärder m.m. redovisas under normalt tio kommande tioårsperioder. Trädslagen tall, gran, contortatall, björk, bok, ek och övriga lövträd behandlas. I utgångsläget har stamdiameter 1,3 meter över marken mätts för samtliga träd på provytan. Små träd behandlas separat av systemet. Stamdiametrar skrivs fram med hjälp av grundtytetillväxtfunktioner på grundval av träd, bestånds och ståndortsegenskaper (Söderberg, 1986). Eftersom vissa träd på provytan ålders- och höjdmäts kan dessa egenskaper skattats för eller tilldelas övriga diametermätta träd. För enskilda träd är dock variationen för residualen av variabeln trädhöjd så stor att variabeln inte funnits lämplig att ingå som oberoende variabel i biomassafunktionerna. En skattning av ålder kan förstas skrivas fram utan problem. Ståndortsindex, marktyp och geografiskt lägesbestämmande variabler bestäms vid utgångstillfället och förblir oförändrade under alla kommande perioder.

## 2.3 Modell

En så kallad multiplikativ modell har använts. Erfarenhetsmässigt och under arbetets gång har denna modell visat sig vara godtagbar. I jämförelse tycktes en additiv modell vara något sämre. Den multiplikativa modellen är definierad enligt följande:

$$y = e^{b_0} \cdot x_1^{b_1} \cdot x_2^{b_2} \cdot \dots \cdot \varepsilon$$

och, för att bli ”linjär i parametrarna” (i det enklaste fallet helt enkelt att när  $y$  plottas mot  $x$  så bildar observationsparen en rak linje), transformeras modellen med naturliga logaritmen.

$$\ln(y) = b_0 + b_1 \cdot \ln(x_1) + b_2 \cdot \ln(x_2) + \dots + \ln(\varepsilon)$$

där  $\ln(y)$  är beroende variabel,  $b_i$  är parametrar,  $x_i$  är oberoende variabler och  $\ln(\varepsilon)$  är en slumpvariabel. Det är parametrarna som är okända i modellen och dessa måste skattas. Minsta kvadratmetoden och Maximum Likelihood skattning är exempel på metoder för att skatta funktionsparametrar (Wonnacott & Wonnacott, 1990). Det antas att de oberoende variablerna är korrekt mätta dvs att de ej inkluderar slumpfel eller att tillämpningarna görs på material med liknande mätfel. I den transformerade modellen antas att slumpvariabeln  $\ln(\varepsilon)$  är normalfördelad med väntevärde noll och med en okänd konstant varians. Detta brukar betecknas som:

$$\ln(\varepsilon) \sim N(0, \sigma^2)$$

Att slumpfelet har väntevärde noll innebär att det i genomsnitt är noll. Med andra ord, enskilda träds biomassa överskattas ibland och underskattas ibland men i genomsnitt skattas biomassan korrekt. Även om skattningen är väntevärdesriktig kan slumpfelets varians i vissa fall variera t.ex. med trädstorlek. Variansen är då inte konstant och skattningen blir då ineffektiv. Detta kan åtgärdas genom viktning. Att transformera den beroende variabeln med naturliga logaritmen vilket gjorts i

denna studie brukar ofta leda till en mer konstant varians. Slutligen bör slumpfelen vara oberoende vilket vanligen är resultatet om observationerna lottats fram. I Marklunds (1987; 1988) material lottas t.ex. provytor fram med en speciell stickprovsmetodik. Det kan förekomma fler än ett träd på samma provyta (provyta är stickprovsenhet) vilka har påverkats av samma ytegenskaper och är därför inte helt statistiskt oberoende. Beroendet kan påverka statistiska tester men parameterskattningarna är trots beroendet väntevärdesriktiga. Beroendet kan skattas och därefter beaktas i tester.

Modellens beskaffenhet har testats främst med testkvantiteten ”spridningen kring funktionen”,  $S_f$ , eller på engelska ”root mean square error”, RMSE, vilken betecknas:

$$S_f = \sqrt{\frac{\sum [y_i - \hat{y}_i]^2}{n - p}}$$

där  $y_i$  är observerat värde,  $\hat{y}_i$  är skattat värde,  $n$  antalet observationer och  $p$  antalet parametrar. En annan testkvantitet är förklaringsgraden,  $R^2$ , vilken anger hur mycket av total variation som förklaras av modellen.  $S_f$  skall vara så liten som möjligt och  $R^2$  så nära ett som möjligt.  $100 \cdot S_f$  för den med naturliga logaritmen logaritmerade variabeln,  $\ln(y)$ , kan tolkas som procentuell spridning kring funktionen. Oberoende variabler som förväntas kunna ingå i modellen testas med t-test (Wonnacott & Wonnacott, 1990). Vid återtransformering av  $\ln(y)$  till  $y$  bör korrigerig för logaritmisk bias utföras. Korrigerig för logaritmisk bias kan göras med kvadraten på spridningen kring funktionen delat med två enligt:

$$\tilde{y} = \exp\left(\hat{b}_0 + \hat{b}_1 \cdot \ln(x_1) + \hat{b}_2 \cdot \ln(x_2) + \dots + \frac{S_f^2}{2}\right)$$

Tecknet  $\sim$  innebär att variabeln  $y$  (biomassan) predikteras och tecknet  $\hat{\phantom{y}}$  att parametern  $b_i$  är skattad.

Tänkbara oberoende variabler i tabell 2 har testats var för sig, ibland kombinerade, transformerade m.m.. Stor vikt har lagts vid att utifrån data erhålla linjära samband mellan beroende och oberoende variabler i tvådimensionell form. Modellen har utifrån dessa tvådimensionella samband successivt byggts upp. Ibland har logiska variabler med förhållandevis låg signifikans inkluderats i modellen. Detta har gjorts t.ex. för att erhålla rimliga prediktioner vid eventuell extrapolering. För att erhålla goda statistiska egenskaper krävs att funktionerna är mycket olika avseende innehåll och transformation av variabler. Goda statistiska egenskaper har eftersträvats mer än enkelhet. Studier av medelresidualer plottade mot använda och mot övriga intressanta variabler har gjorts. Med residualstudier kan man studera om antaganden om konstant varians och oberoende föreligger samt bedöma egenskaper hos modell och oberoende variabler. Så kallade partialsamband har också studerats. Detta innebär att samtliga oberoende variabler låses till deras medelvärde utom för den oberoende variabel som analyseras. Syftet är att upptäcka eventuella orimligheter främst vid extrapolering. Prediktioner av biomassa har jämförts med prediktioner med hjälp av Marklunds funktioner (1988). Testmaterialen består dels av Riksskogstaxeringsdata (Ranneby et al., 1987) och dels av data från diverse inventeringar med Indelningspaketets design (Jonsson et al., 1993). Riksskogstaxeringsdatat är insamlat säsongen 1996/97 från två godtyckligt valda län (F och AC län) och ”Indelningspaket-datat” är insamlat under flera säsonger, representerar stora delar av landets skogar och är fördelat på ca 4500 provytor från norra- och ca 2700 provytor från södra Sverige. Endast väl valda delar av residualstudier, av partialsamband och jämförelser med Marklunds (1988) funktioner redovisas.

### 3. RESULTAT

#### 3.1 Biomassafunktioner

I tabell 3 ges en översikt över biomassafunktioner och därefter följer biomassafunktionerna (tabell 4-25). Funktionerna inkluderar ej korrektion för logaritmisk bias.

Tabell 3. Förteckning biomassafunktioner. ln(variabel) innebär att variabeln har blivit logarimerad med naturliga logaritmen.

Funktion	Trädslag	Beroende variabel
G1	gran	ln(tvstam)
G2	gran	ln(tv bark)
G3	gran	ln(tv barr)
G4	gran	ln(tvlgren)
G5	gran	ln(tvdgren)
G6	gran	ln(tvovstu)
G7	gran	ln(tvtot)
G8	gran	ln(tvtot-5)
GT9	gran och tall	ln(tvrotstu)
T10	tall	ln(tvstam)
T11	tall	ln(tv bark)
T12	tall	ln(tv barr)
T13	tall	ln(tvlgren)
T14	tall	ln(tvdgren)
T15	tall	ln(tvovstu)
T16	tall	ln(tvtot)
T17	tall	ln(tvtot-5)
B18	björk	ln(tvstam)
B19	björk	ln(tv bark)
B20	björk	ln(tvlgren)
B21	björk	ln(tvdgren)
B22	björk	ln(tvovstu)

Tabell 4. Biomassafunktion G1 skattar torrsvikt av stam på bark för gran. Beroende variabel är ln(tvstam).  $S_f = 0.17069$ ;  $R^2 = 0.99$

Oberoende variabel	Parameterskattning
konstant	-6.839310
ln(dbrh+25)	3.578450
dbrh	-0.003042
ln(tilvfem)	0.093033
tilvfem	-0.002763
ln(behald)	0.111347
Sigran*	0.012148
Sitall**	0.011586
nko	-0.000020194

Tabell 5. Biomassafunktion G2 skattar torrsvikt av bark för gran. Beroende variabel är ln(tv bark).  $S_f = 0.22759$ ;  $R^2 = 0.98$

Oberoende variabel	Parameterskattning
konstant	-4.084706
ln(dbrh+10)	2.397166
ln(tilvfem)	-0.066053
ln(behald)	0.151696

\* om bonitetsvisande trädslag är gran SI annars 0

\*\* om bonitetsvisande trädslag är tall SI annars 0

Tabell 6. Biomassafunktion G3 skattar torrvtikt av barr för gran.  
Beroende variabel är  $\ln(\text{tvbarr})$ .  
 $S_f = 0.30852$ ;  $R^2 = 0.94$

Oberoende variabel	Parameterskattning
konstant	-1.130238
$\ln(\text{dbrh})$	1.485407
$\ln(\text{tilvfem})$	0.514648
$\ln(\text{behold})$	0.206901

Tabell 7. Biomassafunktion G4 skattar torrvtikt av levande grenar inklusive eventuella barr och kottar för gran.  
Beroende variabel är  $\ln(\text{tvlgren})$ .  
 $S_f = 0.28825$ ;  $R^2 = 0.96$

Oberoende variabel	Parameterskattning
konstant	-0.718621
$\ln(\text{dbrh})$	1.740810
$\ln(\text{tilvfem})$	0.348379
$\ln(\text{behold})$	0.180503

Tabell 8. Biomassafunktion G5 skattar torrvtikt av döda grenar för gran.  
Beroende variabel är  $\ln(\text{tvdgren})$ .  
 $S_f = 0.79373$ ;  $R^2 = 0.76$

Oberoende variabel	Parameterskattning
konstant	-1.763738
$\ln(\text{dbrh})$	2.616200
$\ln(\text{tilvfem})$	-0.745459
$\ln(\text{behold})$	-0.359509

Tabell 9. Biomassafunktion G6 skattar torrvtikt ovan stubbe för gran.  
Beroende variabel är  $\ln(\text{tvovstu})$ .  
 $S_f = 0.15492$ ;  $R^2 = 0.99$

Oberoende variabel	Parameterskattning
konstant	-0.437361
$\ln(\text{dbrh}+9)$	2.446692
$\ln(\text{tilvfem})$	0.065779
$\ln(\text{behold})$	0.102290
nko	-0.000021633

Tabell 10. Biomassafunktion G7 skattar total torrvtikt för gran.  
Beroende variabel är  $\ln(\text{tvtot})$ .  
 $S_f = 0.15985$ ;  $R^2 = 0.99$

Oberoende variabel	Parameterskattning
konstant	-0.614093
$\ln(\text{dbrh}+8)$	2.425997
$\ln(\text{tilvfem})$	0.081636
$\ln(\text{behold})$	0.128027
nko	-0.000015810

Tabell 11. Biomassafunktion G8 skattar total torrvtikt exklusive rotfraktion med diameter mindre än fem cm för gran.  
Beroende variabel är  $\ln(\text{tvtot}-5)$ .  
 $S_f = 0.16274$ ;  $R^2 = 0.99$

Oberoende variabel	Parameterskattning
konstant	-0.766217
$\ln(\text{dbrh}+8)$	2.491024
$\ln(\text{tilvfem})$	0.070526
$\ln(\text{behold})$	0.113514
nko	-0.000017876

Tabell 12. Biomassafunktion GT9 skattar torrvtikt av stubbe och rotfraktion med diameter grövre än fem cm för gran och tall.  
Beroende variabel är  $\ln(\text{tvrotstu})$ .  
 $S_f = 0.28283$ ;  $R^2 = 0.84$

Oberoende variabel	Parameterskattning
konstant	-1.980469
$\ln(\text{dbrh})$	2.339527
mark*	0.342786
trsl**	-0.224812

\* om marktyp är torvmark är denna variabel 1 annars 0

\*\* om trädslaget är tall är denna variabel 1 annars 0

Tabell 13. Biomassafunktion T10 skattar  
torrvikt av stam på bark för tall.  
Beroende variabel är  $\ln(\text{tvstam})$ .  
 $S_f = 0.17803$ ;  $R^2 = 0.99$

Oberoende variabel	Parameterskattning
konstant	-7.674621
$\ln(\text{dbrh}+25)$	3.155671
dbrh	-0.002197
$\ln(\text{tilvfem})$	0.084427
tilvfem	-0.002665
$\ln(\text{behold})$	0.253227
Sigran*	0.028478
Sitall**	0.031435
nko	0.000008342

\* om bonitetsvisande trädslag är gran SI annars 0

\*\* om bonitetsvisande trädslag är tall SI annars 0

Tabell 15. Biomassafunktion T12 skattar  
torrvikt av barr för tall.  
Beroende variabel är  $\ln(\text{tvbarr})$ .  
 $S_f = 0.35753$ ;  $R^2 = 0.89$

Oberoende variabel	Parameterskattning
konstant	-2.597267
$\ln(\text{dbrh})$	1.506121
$\ln(\text{tilvfem})$	0.571366
$\ln(\text{behold})$	0.208130
altitud	0.000870

Tabell 17. Biomassafunktion T14 skattar  
torrvikt av döda grenar för tall.  
Beroende variabel är  $\ln(\text{tvdgren})$ .  
 $S_f = 0.76730$ ;  $R^2 = 0.67$

Oberoende variabel	Parameterskattning
konstant	1.596001
$\ln(\text{dbrh})$	2.441173
$\ln(\text{tilvfem})$	-0.437497
$\ln(\text{behold})$	-0.711616
altitud	-0.001358
eko	-0.000129

Tabell 14. Biomassafunktion T11 skattar  
torrvikt av bark för tall.  
Beroende variabel är  $\ln(\text{tvbark})$ .  
 $S_f = 0.26942$ ;  $R^2 = 0.95$

Oberoende variabel	Parameterskattning
konstant	-1.340149
$\ln(\text{dbrh}+13)$	2.209719
$\ln(\text{tilvfem})$	-0.001986
nko	-0.000024146

Tabell 16. Biomassafunktion T13 skattar  
torrvikt av levande grenar inklusive  
eventuella barr och kottar för tall.  
Beroende variabel är  $\ln(\text{tvlgren})$ .  
 $S_f = 0.34938$ ;  $R^2 = 0.93$

Oberoende variabel	Parameterskattning
konstant	-2.533220
$\ln(\text{dbrh})$	1.989129
$\ln(\text{tilvfem})$	0.387203
$\ln(\text{behold})$	0.105315

Tabell 18. Biomassafunktion T15 skattar  
torrvikt ovan stubbe för tall.  
Beroende variabel är  $\ln(\text{tvovstu})$ .  
 $S_f = 0.15651$ ;  $R^2 = 0.99$

Oberoende variabel	Parameterskattning
konstant	-2.032666
$\ln(\text{dbrh}+6)$	2.413856
$\ln(\text{behold})$	0.130304
Sigran*	0.011834
Sitall**	0.013668

\* om bonitetsvisande trädslag är gran SI annars 0

\*\* om bonitetsvisande trädslag är tall SI annars 0

Tabell 19. Biomassafunktion T16 skattar total torrsvikt för tall.  
Beroende variabel är  $\ln(\text{tvttot})$ .  
 $S_f = 0.16332$ ;  $R^2 = 0.99$

Oberoende variabel	Parameterskattning
konstant	-1.507568
$\ln(\text{dbrh}+5)$	2.449121
$\ln(\text{behold})$	0.104243
altitud	-0.000321

Tabell 20. Biomassafunktion T17 skattar total torrsvikt exklusive rotfraktion med diameter mindre än fem cm för tall.  
Beroende variabel är  $\ln(\text{tvttot}-5)$ .  
 $S_f = 0.16086$ ;  $R^2 = 0.99$

Oberoende variabel	Parameterskattning
konstant	-1.756201
$\ln(\text{dbrh}+5)$	2.483808
$\ln(\text{behold})$	0.107190
altitud	-0.000325

Tabell 21. Biomassafunktion B18 skattar torrsvikt av stam på bark för björk.  
Beroende variabel är  $\ln(\text{tvstam})$ .  
 $S_f = 0.19827$ ;  $R^2 = 0.98$

Oberoende variabel	Parameterskattning
konstant	-3.091932
$\ln(\text{dbrh}+7)$	2.479648
$\ln(\text{behold})$	0.243747
Sigran*	0.022185
Sitall**	0.022955

\* om bonitetsvisande träslag är gran SI annars 0

\*\* om bonitetsvisande träslag är tall SI annars 0

Tabell 22. Biomassafunktion B19 skattar torrsvikt av bark för björk.  
Beroende variabel är  $\ln(\text{tvbark})$ .  
 $S_f = 0.25483$ ;  $R^2 = 0.97$

Oberoende variabel	Parameterskattning
konstant	-3.244490
$\ln(\text{dbrh}+18)$	2.525420
$\ln(\text{behold})$	0.329744
nko	-0.000030180

Tabell 23. Biomassafunktion B20 skattar torrsvikt av levande grenar inklusive löv för björk.  
Beroende variabel är  $\ln(\text{tvlgren})$ .  
 $S_f = 0.45153$ ;  $R^2 = 0.91$

Oberoende variabel	Parameterskattning
konstant	-2.782537
$\ln(\text{dbrh})$	2.276815
$\ln(\text{tilvfem})$	0.228528

Tabell 24. Biomassafunktion B21 skattar torrsvikt av döda grenar för björk.  
Beroende variabel är  $\ln(\text{tvdgren})$ .  
 $S_f = 1.12848$ ;  $R^2 = 0.46$

Oberoende variabel	Parameterskattning
konstant	-2.059091
$\ln(\text{dbrh})$	1.657683

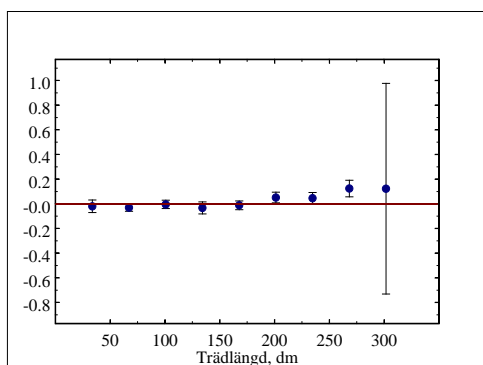
Tabell 25. Biomassafunktion B22 skattar torrsvikt ovan stubbe för björk.  
Beroende variabel är  $\ln(\text{tvovstu})$ .  
 $S_f = 0.17071$ ;  $R^2 = 0.98$

Oberoende variabel	Parameterskattning
konstant	-0.423749
$\ln(\text{dbrh}+8)$	2.574575
$\ln(\text{behold})$	0.090419
nko	-0.000026862

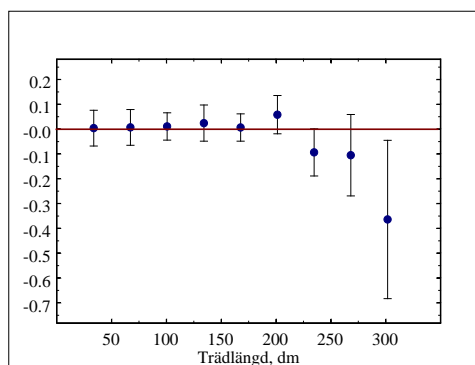
Högst  $S_f$  och lägst  $R^2$  erhöles för funktioner som skattade torrsvikt av döda grenar (tabell 8, 17, 24). Spridningen kring funktionen var 77% eller mer och förklaringsgraden lägre än 0.77. Spridningen kring funktionen för tvlgren-funktionen för björk (tabell 23) var tämligen stor – 45%. Vid t-test av oberoende variabler exklusive konstanter visade det sig att alla parameterskattningar var signifikanta ( $p < 0.01$ ) förutom för  $\ln(\text{behald})$  i tabell 16 ( $p = 0.0251$ ).

### 3.2 Residualstudier

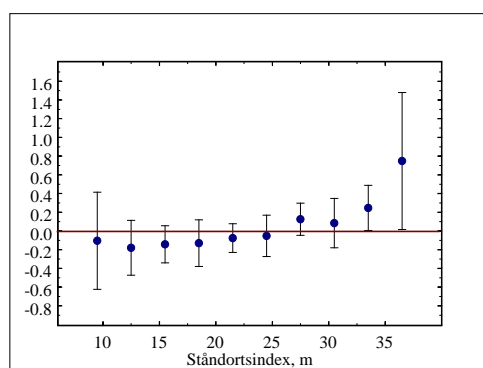
Residualstudier visade att statistiska antaganden om normalfördelning och oberoende var rimliga. Inga trender förekom heller när medelresidualer plottades mot oberoende variabler. Däremot kunde vissa trender skönjas när medelresidualer plottades mot variabler som ej ingick i respektive funktion. Dessa trender förekom när medelresidualer plottades mot trädhöjd, ståndortsindex och grundyta (tvärsnittsarea av träd på ett hektar mätt 1,3 meter över marken) för funktionerna G1, G4, G5, G6, T10, T12 och T13 (figur 1-10). Om t.ex. medelresidualen är  $-0.2$  så innebär det att funktionen överskattade med 20%. (Medelresidualer för funktioner som skattar torrsvikt ovan stubbe, torrsvikt totalt och torrsvikt exklusive rotfraktion med diameter mindre än fem cm plottades ej mot grundyta.)



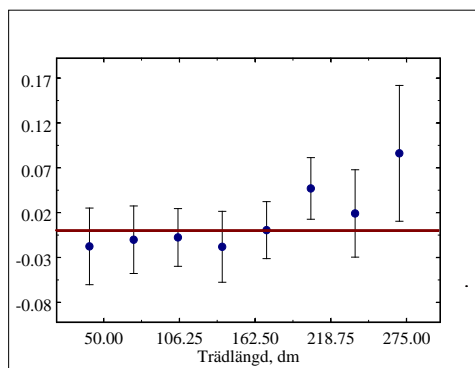
Figur 1. Medelresidualer med 95% konfidensintervall plottat mot trädlängd för funktion G1 ( $\ln(\text{tvstam})$  torrsvikt av stam på bark för gran).



Figur 2. Medelresidualer med 95% konfidensintervall plottat mot trädlängd för funktion G4 ( $\ln(\text{tvlgren})$  torrsvikt av levande grenar inklusive eventuella barr och kottar för gran).

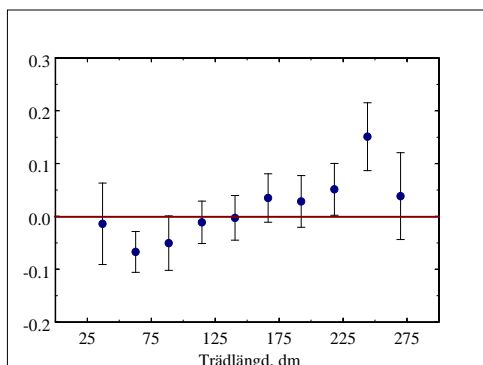


Figur 3. Medelresidualer med 95% konfidensintervall plottat mot ståndortsindex för funktion G5 ( $\ln(\text{tvdgren})$  torrsvikt av döda grenar för gran).

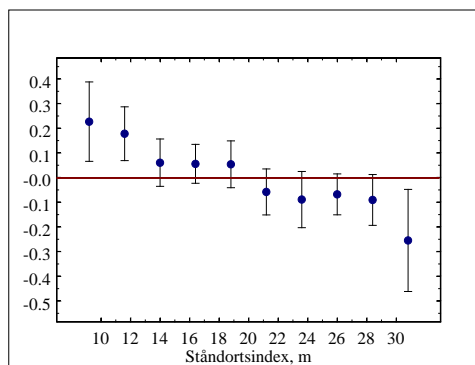


Figur 4. Medelresidualer med 95% konfidensintervall plottat mot trädlängd för funktion G6 ( $\ln(\text{tvovstu})$  torrsvikt ovan stubbe för gran).

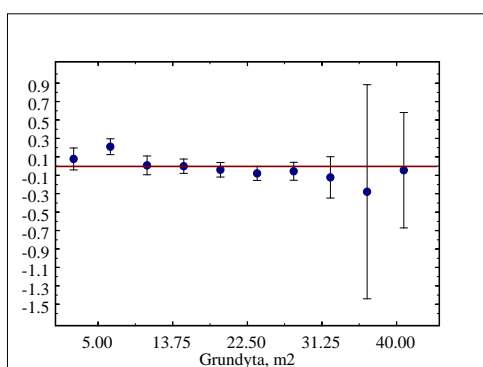




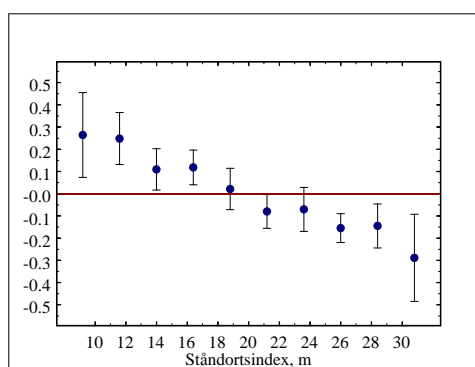
Figur 5. Medelresidualer med 95% konfidensintervall plottad mot träd-  
längd för funktion T10 ( $\ln(\text{tvstam})$   
torrvikt av stam på bark för tall).



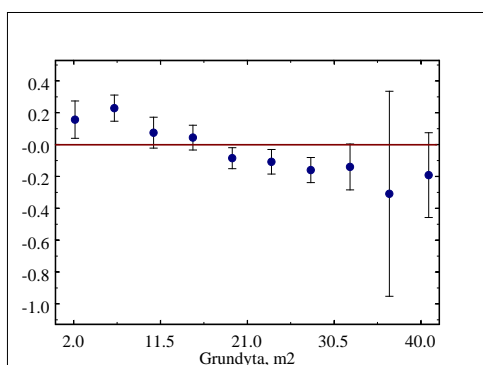
Figur 6. Medelresidualer med 95%  
konfidensintervall plottad mot stånd-  
ortsindex för funktion T12 ( $\ln(\text{tvbarr})$   
torrvikt av barr för tall).



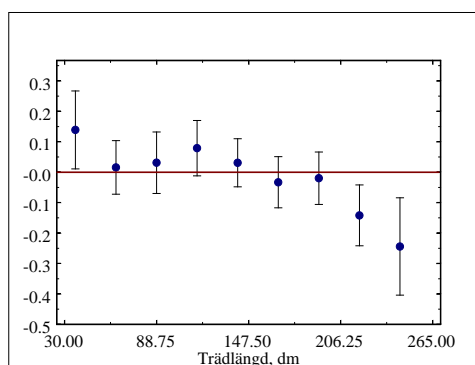
Figur 7. Medelresidualer med 95%  
konfidensintervall plottad mot grundyta  
för funktion T12 ( $\ln(\text{tvbarr})$  torrvikt  
av barr för tall).



Figur 8. Medelresidualer med 95%  
konfidensintervall plottad mot stånd-  
ortsindex för funktion T13 ( $\ln(\text{tvlgren})$   
torrvikt av levande grenar inklusive  
eventuella barr och kottar för tall).



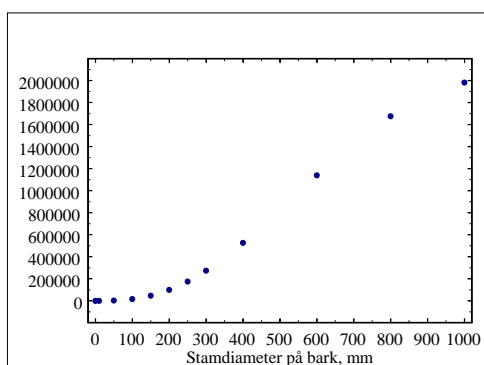
Figur 9. Medelresidualer med 95%  
konfidensintervall plottad mot grundyta  
för funktion T13 ( $\ln(\text{tvlgren})$  torrvikt  
av levande grenar inklusive eventuella  
barr och kottar för tall).



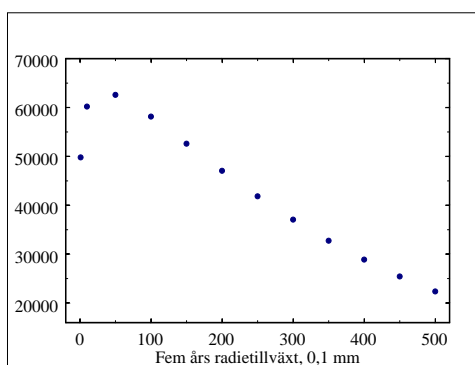
Figur 10. Medelresidualer med 95%  
konfidensintervall plottad mot träd-  
längd för funktion T13 ( $\ln(\text{tvlgren})$   
torrvikt av levande grenar inklusive  
eventuella barr och kottar för tall).

### 3.3 Partialsamband

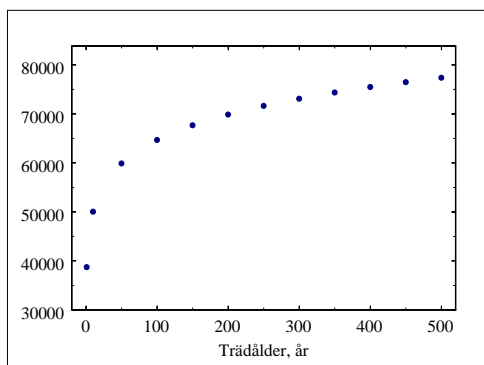
Partialsamband där torrsvikt är mätt i gram beskrivs i figur 11-14. Torrsvikt av stam på bark för gran (figur 11) bildar en sigmoidliknande kurva mot stamdiameter på bark. Torrsvikt av stam på bark ökar med radietillväxt upp till en fem års radietillväxt av ca 5 mm för att därefter avta (figur 12). Dessa två typer av kurvor kan bara beskrivas av en modell med minst två oberoende variabler som beskriver stamdiameter respektive fem års radietillväxt. Ökningen av torrsvikt av stam på bark planar successivt ut med stigande ålder (figur 13). För gran och tall är partialsambanden liknande varför endast partialsamband redovisas för gran. Partialsamband för torrsvikt av stam på bark mot stamdiameter på bark för björk beskrivs i figur 14.



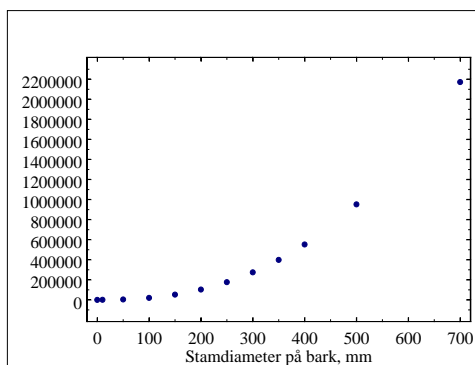
Figur 11. Partialsamband för torrsvikt av stam på bark för gran skattad (med funktion G1) mot stamdiameter på bark.



Figur 12. Partialsamband för torrsvikt av stam på bark för gran skattad (med funktion G1) mot fem års radietillväxt.



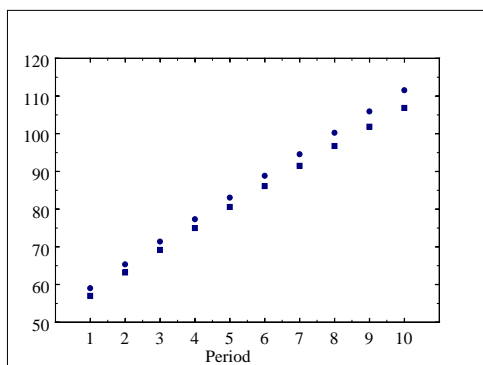
Figur 13. Partialsamband för torrsvikt av stam på bark för gran skattad (med funktion G1) mot trädålder.



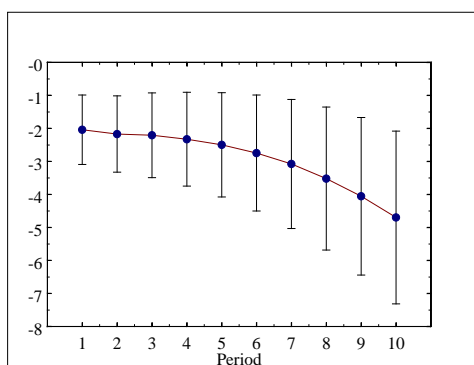
Figur 14. Partialsamband för torrsvikt av stam på bark för björk skattad (med funktion B18) mot stamdiameter på bark.

### 3.4 Jämförelser med Marklunds biomassafunktioner

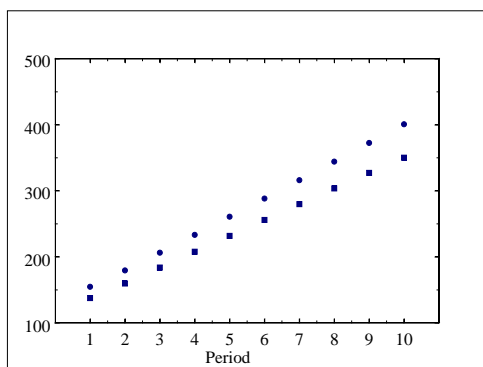
Skattningar med funktioner av Marklund (1988) jämfördes med skattningar med motsvarande funktioner från tabell 3 (dock ej för funktionerna G6, G7, G8, T15, T16 och T17) (figur 15-68). För att skillnader mellan simulerad torrsvikt av rot och stubbe skall bli jämförbar med ”Marklunds (1988) stubbe” måste funktionen GT9, figurerna 36, 38 och 52, multipliceras med konstanter baserade på grundmaterialet. Lövträd skattades med björkfunktioner. De oberoende variablerna är simulerade i HUGIN-systemet och resultaten presenteras för 10 kommande 5-års perioder för norra Sverige (AC län) och för södra Sverige (F län).



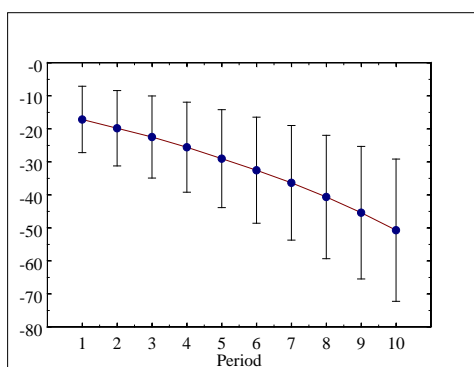
Figur 15. Simulerad torrsvikt av stam på bark för gran i norra Sverige för 57 träd från 11 ytor (kg) (Funktion G1 = cirkel; Funktion G2, Marklund (1988) = kvadrat).



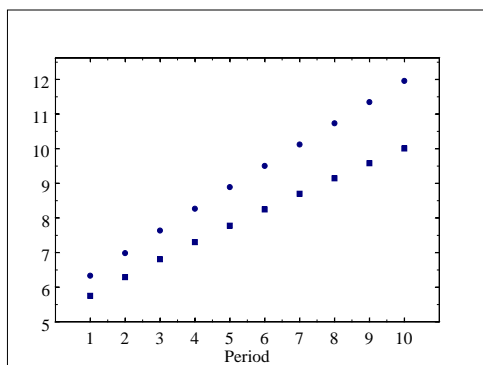
Figur 16. Skillnad mellan simulerad torrsvikt av stam på bark för gran i norra Sverige för 57 träd från 11 ytor med 95% konfidensintervall (kg) (Skattat värde funktion G2, Marklund (1988) minus skattat värde funktion G1).



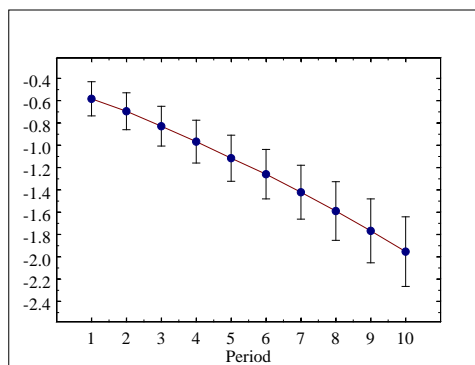
Figur 17. Simulerad torrsvikt av stam på bark för gran i södra Sverige för 41 träd från 9 ytor (kg) (Funktion G1 = cirkel; Funktion G2, Marklund (1988) = kvadrat).



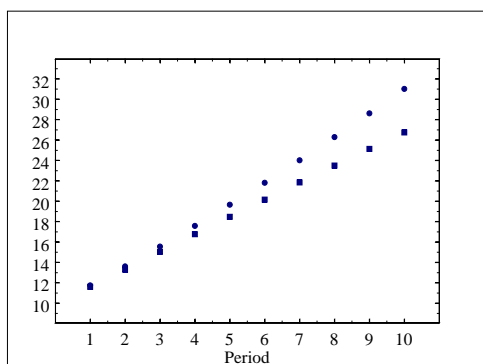
Figur 18. Skillnad mellan simulerad torrsvikt av stam på bark för gran i södra Sverige för 41 träd från 9 ytor med 95% konfidensintervall (kg) (Skattat värde funktion G2, Marklund (1988) minus skattat värde funktion G1).



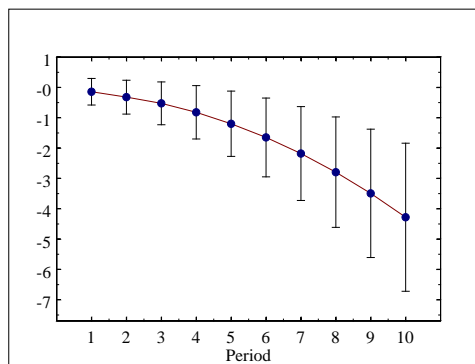
Figur 19. Simulerad torrsvikt av bark för gran i norra Sverige för 57 träd från 11 ytor (kg) (Funktion G2 = cirkel; Funktion G8, Marklund (1988) = kvadrat).



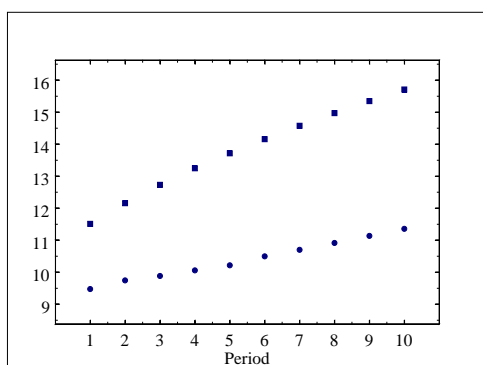
Figur 20. Skillnad mellan simulerad torrsvikt av bark för gran i norra Sverige för 57 träd från 11 ytor med 95% konfidensintervall (kg) (Skattat värde funktion G8, Marklund (1988) minus skattat värde funktion G2).



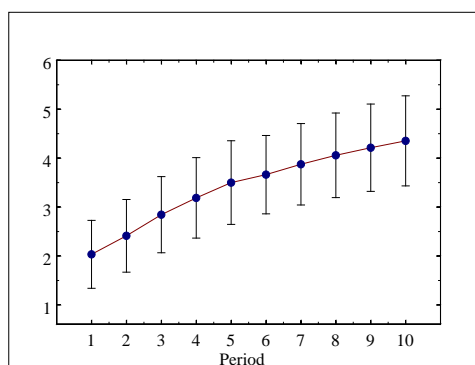
Figur 21. Simulerad torrsvikt av bark för gran i södra Sverige för 41 träd från 9 ytor (kg) (Funktion G2 = cirkel; Funktion G8, Marklund (1988) = kvadrat).



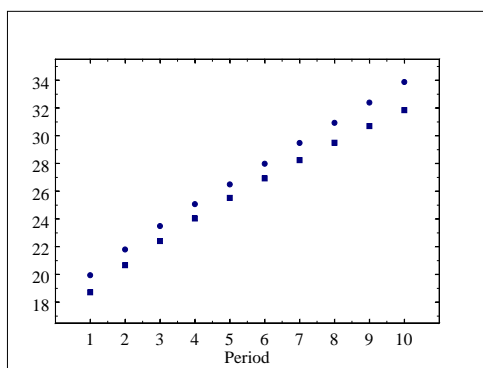
Figur 22. Skillnad mellan simulerad torrsvikt av bark för gran i södra Sverige för 41 träd från 9 ytor med 95% konfidensintervall (kg) (Skattat värde funktion G8, Marklund (1988) minus skattat värde funktion G2).



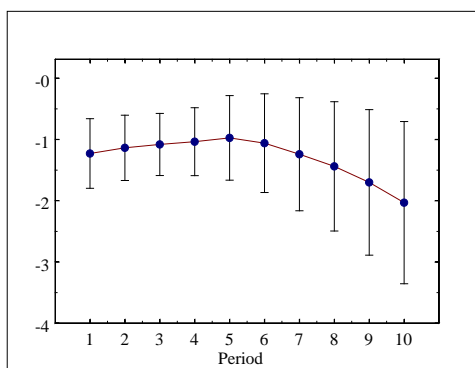
Figur 23. Simulerad torrsvikt av barr för gran i norra Sverige för 57 träd från 11 ytor (kg) (Funktion G3 = cirkel; Funktion G17, Marklund (1988) = kvadrat).



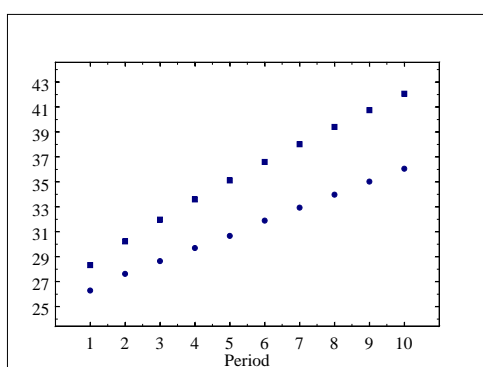
Figur 24. Skillnad mellan simulerad torrsvikt av bark för gran i norra Sverige för 57 träd från 11 ytor med 95% konfidensintervall (kg) (Skattat värde funktion G17, Marklund (1988) minus skattat värde funktion G3).



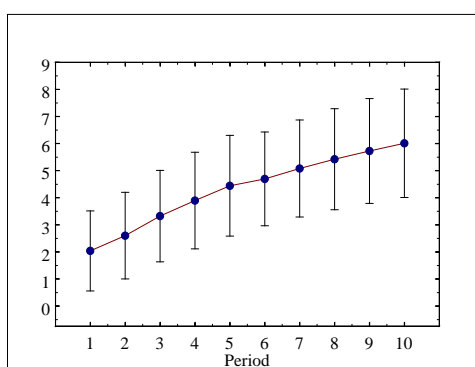
Figur 25. Simulerad torrsvikt av barr för gran i södra Sverige för 41 träd från 9 ytor (kg) (Funktion G3 = cirkel; Funktion G17, Marklund (1988) = kvadrat).



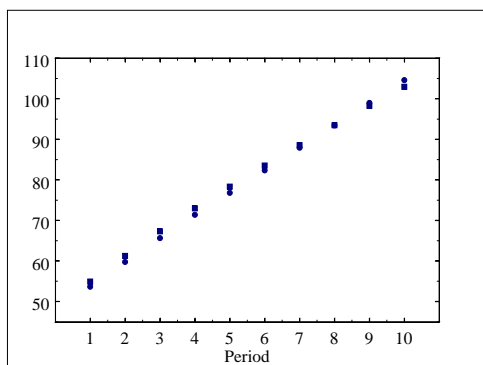
Figur 26. Skillnad mellan simulerad torrsvikt av bark för gran i södra Sverige för 41 träd från 9 ytor med 95% konfidensintervall (kg) (Skattat värde funktion G17, Marklund (1988) minus skattat värde funktion G3).



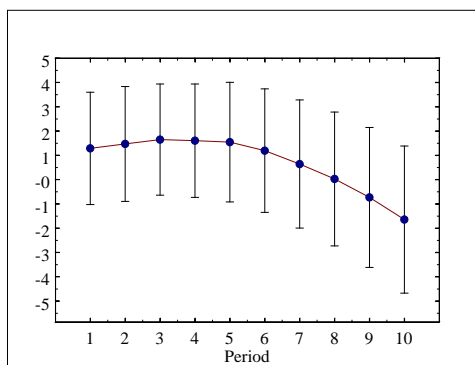
Figur 27. Simulerad torrsvikt av levande grenar inklusive eventuella barr och kottar för gran i norra Sverige för 57 träd från 11 ytor (kg) (Funktion G4 = cirkel; Funktion G13, Marklund (1988) = kvadrat).



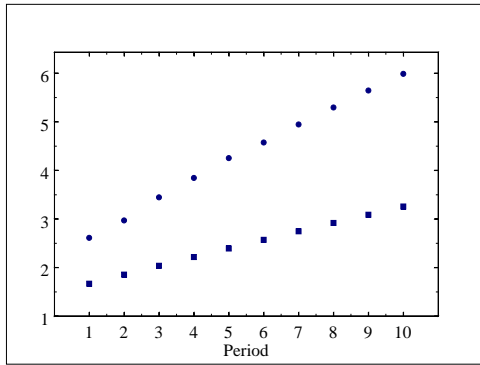
Figur 28. Skillnad mellan simulerad torrsvikt av levande grenar inklusive eventuella barr och kottar för gran i norra Sverige för 57 träd från 11 ytor med 95% konfidensintervall (kg) (Skattat värde funktion G13, Marklund (1988) minus skattat värde funktion G4).



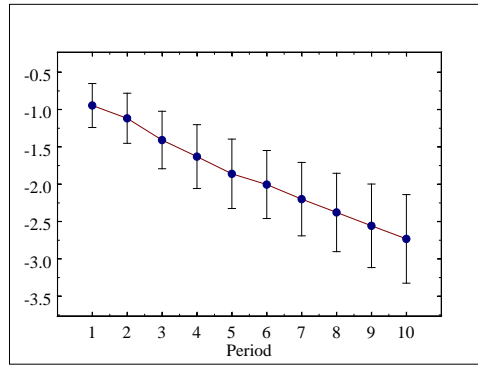
Figur 29. Simulerad torrsvikt av levande grenar inklusive eventuella barr och kottar för gran i södra Sverige för 41 träd från 9 ytor (kg) (Funktion G4 = cirkel; Funktion G13, Marklund (1988) = kvadrat).



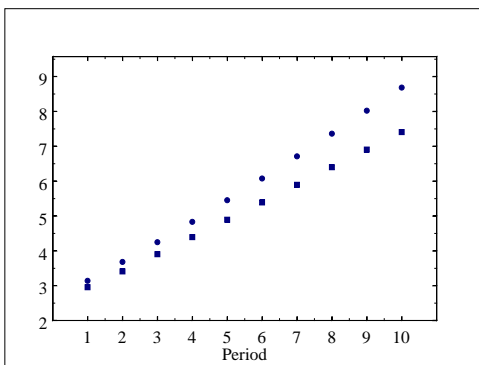
Figur 30. Skillnad mellan simulerad torrsvikt av levande grenar inklusive eventuella barr och kottar för gran i södra Sverige för 41 träd från 9 ytor med 95% konfidensintervall (kg) (Skattat värde funktion G13, Marklund (1988) minus skattat värde funktion G4).



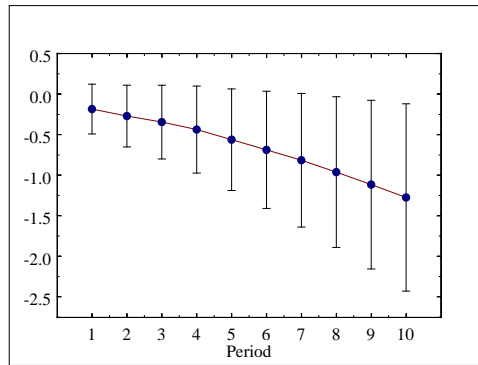
Figur 31. Simulerad torrsvikt av döda grenar för gran i norra Sverige för 57 träd från 11 ytor (kg) (Funktion G5 = cirkel; Funktion G21, Marklund (1988) = kvadrat).



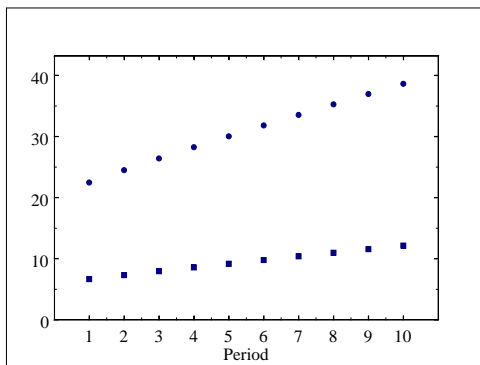
Figur 32. Skillnad mellan simulerad torrsvikt av döda grenar för gran i norra Sverige för 57 träd från 11 ytor med 95% konfidensintervall (kg) (Skattat värde funktion G21, Marklund (1988) minus skattat värde funktion G5).



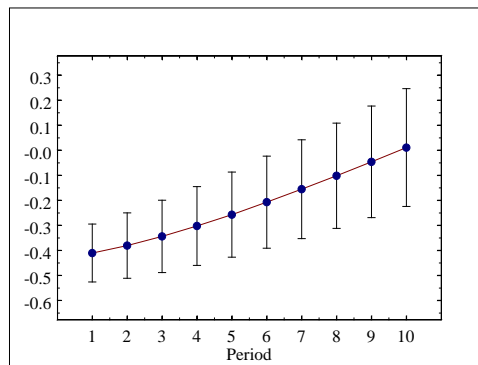
Figur 33. Simulerad torrsvikt av döda grenar för gran i södra Sverige för 41 träd från 9 ytor (kg) (Funktion G5 = cirkel; Funktion G21, Marklund (1988) = kvadrat).



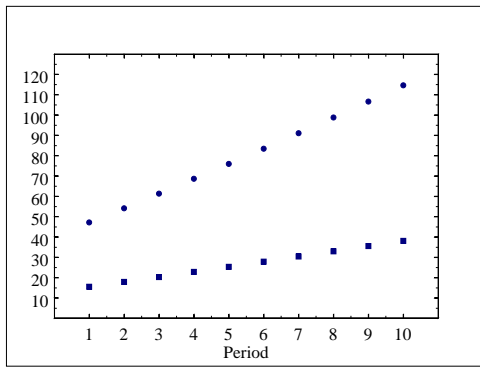
Figur 34. Skillnad mellan simulerad torrsvikt av döda grenar för gran i södra Sverige för 41 träd från 9 ytor med 95% konfidensintervall (kg) (Skattat värde funktion G21, Marklund (1988) minus skattat värde funktion G5).



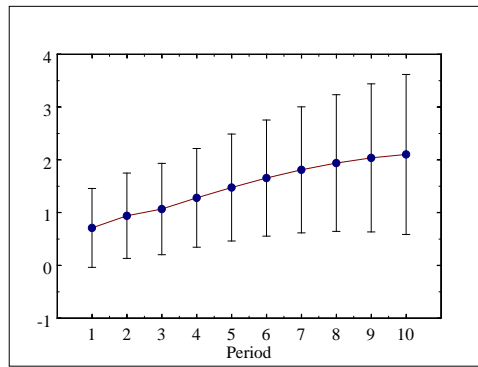
Figur 35. Simulerad torrsvikt av rot och stubbe för gran i norra Sverige för 57 träd från 11 ytor (kg) (Funktion GT9 = cirkel; Funktion G27, Marklund (1988) = kvadrat).



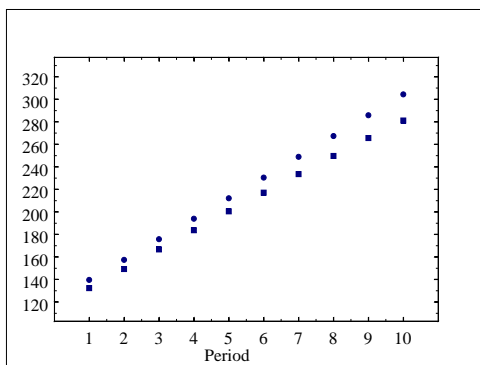
Figur 36. Skillnad mellan simulerad torrsvikt av rot och stubbe för gran i norra Sverige för 57 träd från 11 ytor med 95% konfidensintervall (kg) (Skattat värde funktion G27, Marklund (1988) minus skattat värde funktion  $GT9 \cdot 0,314577$ ).



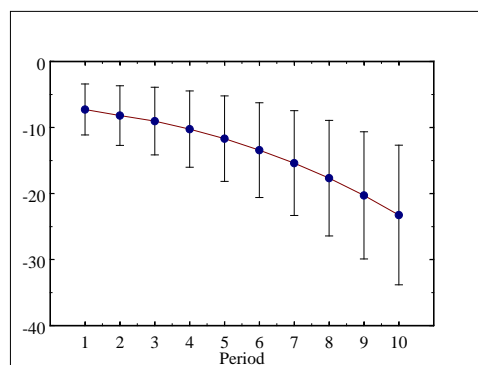
Figur 37. Simulerad torrsvikt av rot och stubbe för gran i södra Sverige för 41 träd från 9 ytor (kg) (Funktion GT9 = cirkel; Funktion G27, Marklund (1988) = kvadrat).



Figur 38. Skillnad mellan simulerad torrsvikt av rot och stubbe för gran i södra Sverige för 41 träd från 9 ytor med 95% konfidensintervall (kg) (Skattat värde funktion G27, Marklund (1988) minus skattat värde funktion  $GT9 * 0,314577$ ).

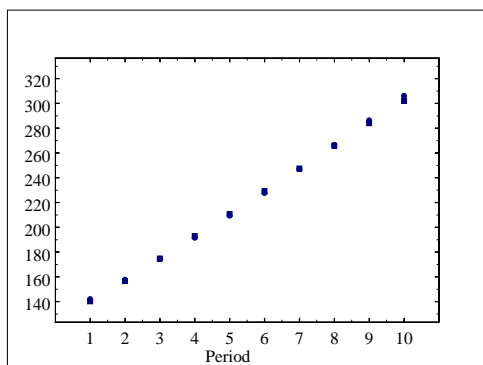


Figur 39. Simulerad torrsvikt ovan stubbe för gran för 98 träd från 20 ytor (kg) (Funktion  $G1+G4+G5$  = cirkel; Funktion  $G2+G13+G21$ , Marklund (1988) = kvadrat).

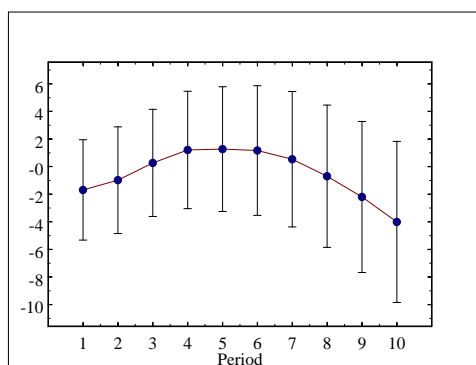


Figur 40. Skillnad mellan simulerad torrsvikt ovan stubbe för gran för 98 träd från 20 ytor med 95% konfidensintervall (kg) (Skattat värde funktion  $G2+G13+G21$  Marklund (1988) minus skattat värde funktion  $G1+G4+G5$ ).

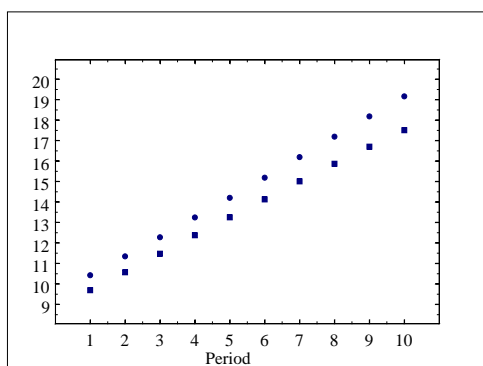
För gran skattas torrsvikter tämligen likartat med funktioner från tabell 3 jämfört med funktioner av Marklund (1988) (figur 15-40). Generellt sett ökar skillnader i skattning med ökande period. Relativt sett är skillnaden i skattning av torrsvikt av barr (figur 23) och av torrsvikt av döda grenar (figur 31) i norra Sverige tämligen stor. Torrsvikt ovan stubbe skattas något högre med funktionerna  $G1+G4+G5$  jämfört med Marklunds (1988) funktioner  $G2+G13+G21$  (figur 39).



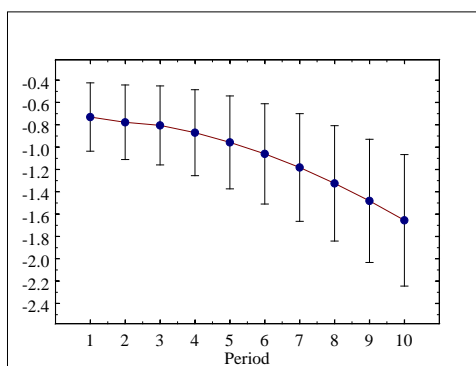
Figur 41. Simulerad torrsvikt av stam på bark för tall för 78 träd från 20 ytor (kg) (Funktion T10 = cirkel; Funktion T3, Marklund (1988) = kvadrat).



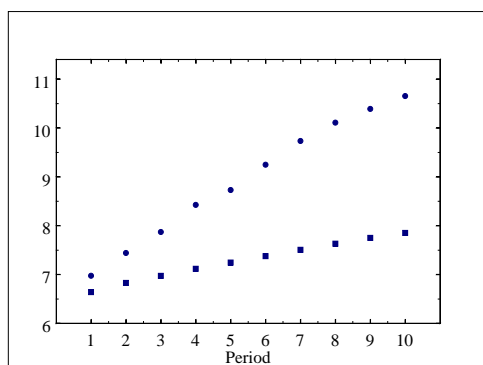
Figur 42. Skillnad mellan simulerad torrsvikt av stam på bark för tall för 78 träd från 20 ytor med 95% konfidensintervall (kg) (Skattat värde funktion T3, Marklund (1988) minus skattat värde funktion T10).



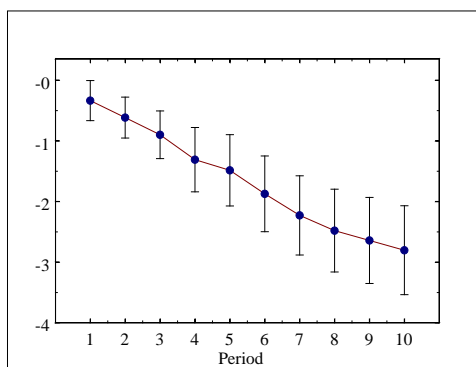
Figur 43. Simulerad torrsvikt av bark för tall för 78 träd från 20 ytor (kg) (Funktion T11 = cirkel; Funktion T10, Marklund (1988) = kvadrat).



Figur 44. Skillnad mellan simulerad torrsvikt av bark för tall för 78 träd från 20 ytor med 95% konfidensintervall (kg) (Skattat värde funktion T10, Marklund (1988) minus skattat värde funktion T11).

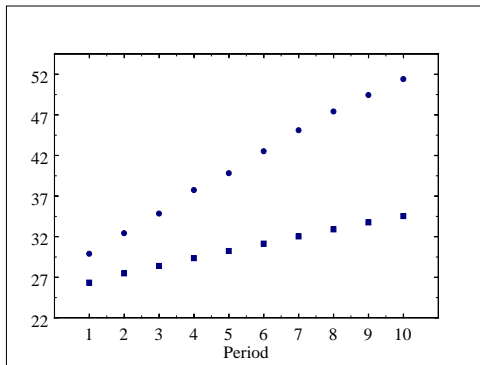


Figur 45. Simulerad torrsvikt av barr för tall för 78 träd från 20 ytor (kg) (Funktion T12 = cirkel; Funktion T19, Marklund (1988) = kvadrat).

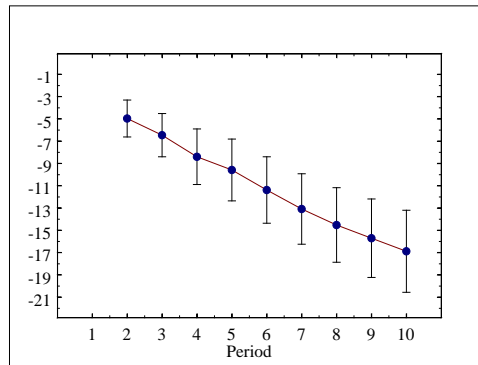


Figur 46. Skillnad mellan simulerad torrsvikt av barr för tall för 78 träd från 20 ytor med 95% konfidensintervall (kg) (Skattat värde funktion T19, Marklund (1988) minus skattat värde funktion T12).

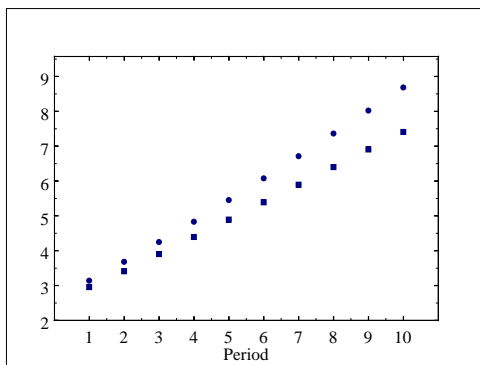




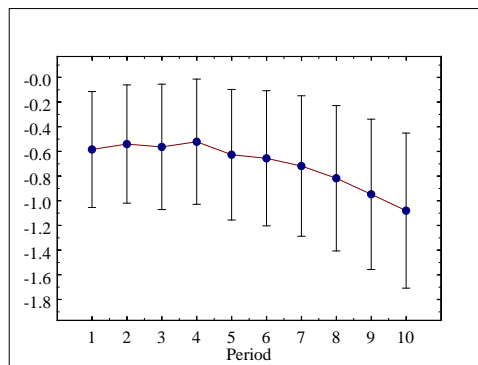
Figur 47. Simulerad torrsvikt av levande grenar inklusive eventuella barr och kottar för tall för 78 träd från 20 ytor (kg) (Funktion T13 = cirkel; Funktion T15, Marklund (1988) = kvadrat).



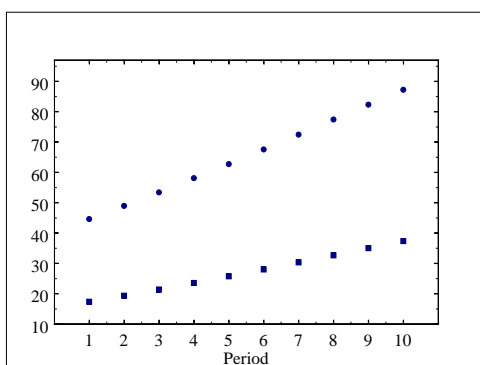
Figur 48. Skillnad mellan simulerad torrsvikt av levande grenar inklusive eventuella barr och kottar för tall för 78 träd från 20 ytor med 95% konfidensintervall (kg) (Skattat värde funktion T15, Marklund (1988) minus Skattat värde funktion T13).



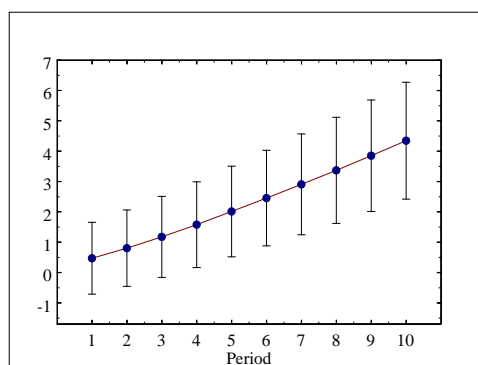
Figur 49. Simulerad torrsvikt av döda grenar för tall för 78 träd från 20 ytor (kg) (Funktion T14 = cirkel; Funktion T23, Marklund (1988) = kvadrat).



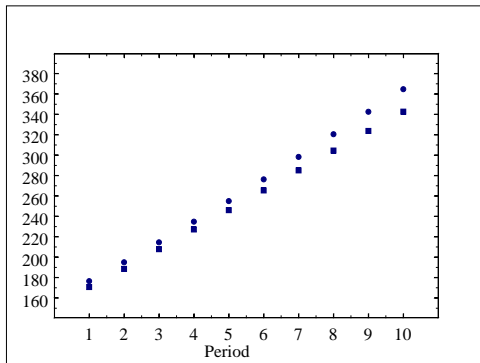
Figur 50. Skillnad mellan simulerad torrsvikt av döda grenar för tall för 78 träd från 20 ytor med 95% konfidensintervall (kg) (Skattat värde funktion T23, Marklund (1988) minus skattat värde funktion T14).



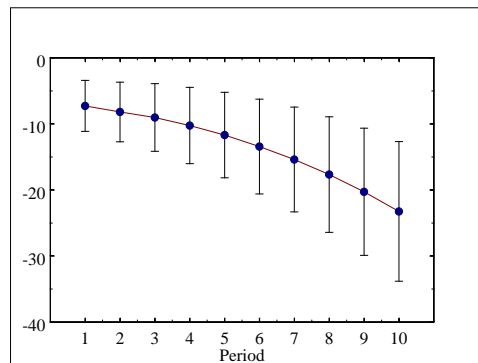
Figur 51. Simulerad torrsvikt av rot och stubbe för tall för 78 träd från 20 ytor (kg) (Funktion GT9 = cirkel; Funktion T30, Marklund (1988) = kvadrat).



Figur 52. Skillnad mellan simulerad torrsvikt av rot och stubbe för tall för 78 träd från 20 ytor med 95% konfidensintervall (kg) (Skattat värde funktion T30, Marklund (1988) minus skattat värde funktion GT9\*0,378616).

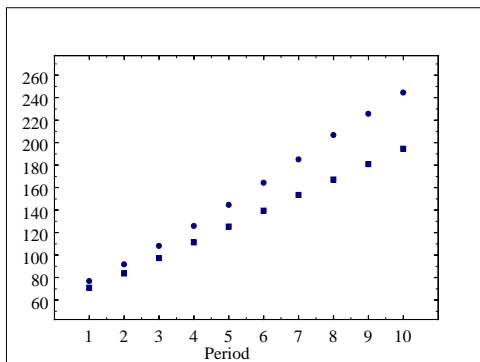


Figur 53. Simulerad torrsvikt ovan stubbe för tall för 78 träd från 20 ytor (kg) (Funktion T10+T13+T14 = cirkel; Funktion T3+T13+T23, Marklund (1988) = kvadrat).

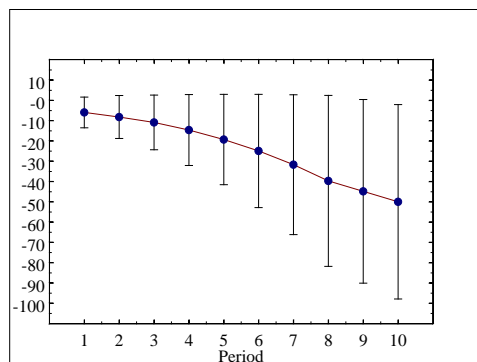


Figur 54. Skillnad mellan simulerad torrsvikt ovan stubbe för tall för 78 träd från 20 ytor med 95% konfidensintervall (kg) (Skattat värde funktion T3+T13+T23 Marklund (1988) minus skattat värde funktion T10+T13+T14).

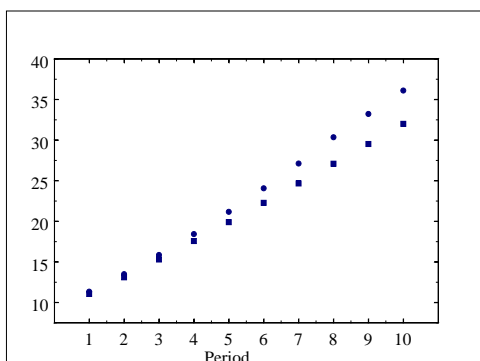
För tall (figur 41-54) är skillnaden i skattad torrsvikt jämfört med skattningar med Marklunds (1988) funktioner marginell i period ett men är i några fall relativt stor vid period tio. Detta gäller t.ex. för torrsvikt av barr (figur 45) och för levande grenar inklusive eventuella barr och kottar (figur 47). Generellt sett ökar skillnader i skattning med ökande period och torrsvikt ovan stubbe skattas något högre med funktioner från tabell 3.



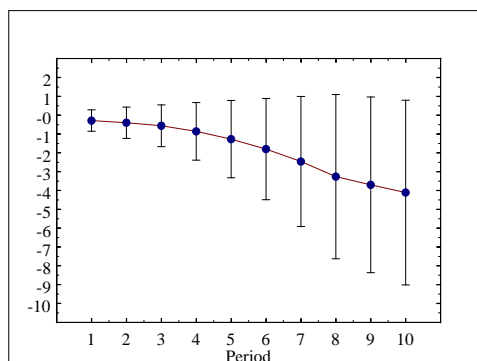
Figur 55. Simulerad torrsvikt av stam på bark för 71 lövträd från 14 ytor (kg) (Funktion B18 = cirkel; Funktion B3, Marklund (1988) = kvadrat).



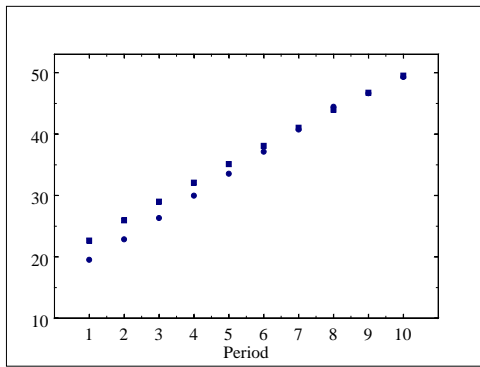
Figur 56. Skillnad mellan simulerad torrsvikt av stam på bark för 71 lövträd från 14 ytor med 95% konfidensintervall (kg) (Skattat värde funktion B3, Marklund (1988) minus skattat värde funktion B18).



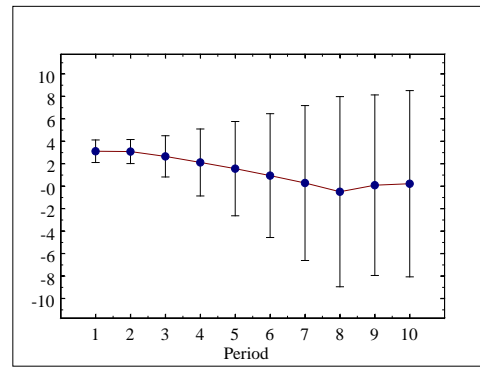
Figur 57. Simulerad torrsvikt av bark för 71 lövträd från 14 ytor (kg) (Funktion B19 = cirkel; Funktion B9, Marklund (1988) = kvadrat).



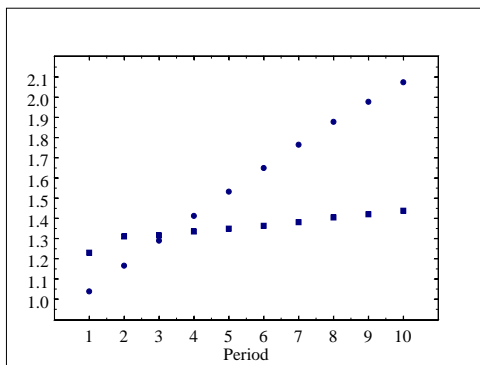
Figur 58. Skillnad mellan simulerad torrsvikt av bark för 71 lövträd från 14 ytor med 95% konfidensintervall (kg) (Skattat värde funktion B9, Marklund (1988) minus skattat värde funktion B19).



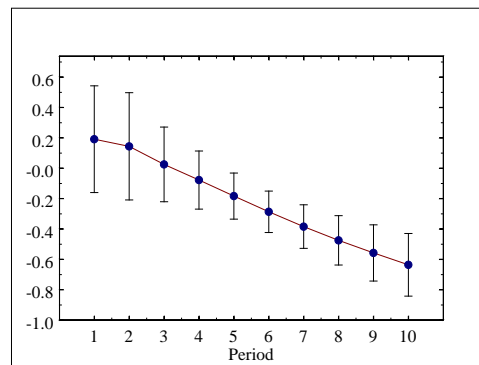
Figur 59. Simulerad torrsvikt av levande grenar inklusive eventuella löv för 71 lönträd från 14 ytor (kg) (Funktion B20 = cirkel; Funktion B12, Marklund (1988) = kvadrat).



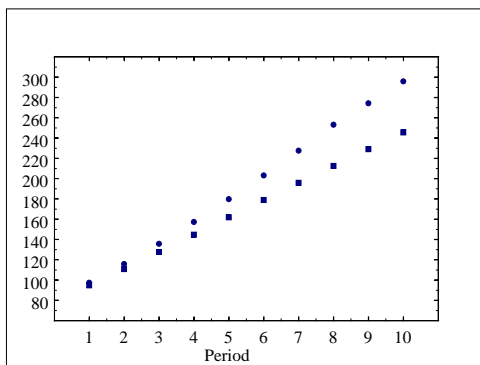
Figur 60. Skillnad mellan simulerad torrsvikt av levande grenar inklusive eventuella löv för 71 lönträd från 14 ytor med 95% konfidensintervall (kg) (Skattat värde funktion B12, Marklund (1988) minus skattat värde funktion B20).



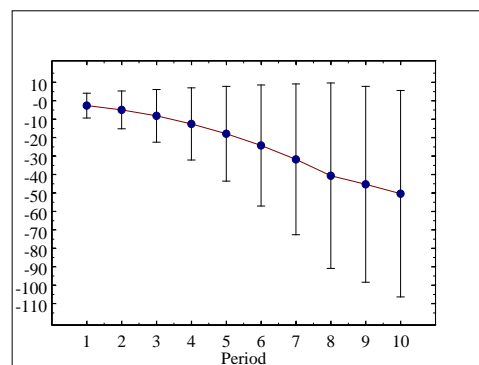
Figur 61. Simulerad torrsvikt av döda grenar för 71 lönträd från 14 ytor (kg) (Funktion B21 = cirkel; Funktion B17, Marklund (1988) = kvadrat).



Figur 62. Skillnad mellan simulerad torrsvikt av döda grenar för 71 lönträd från 14 ytor med 95% konfidensintervall (kg) (Skattat värde funktion B17, Marklund (1988) minus skattat värde funktion B21).

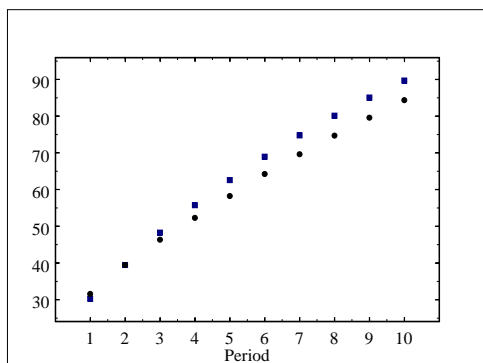


Figur 63. Simulerad torrsvikt ovan stubbe för 71 lönträd från 14 ytor (kg) (Funktion B18+B20+B21 = cirkel; Funktion B3+B12+B17, Marklund (1988) = kvadrat).

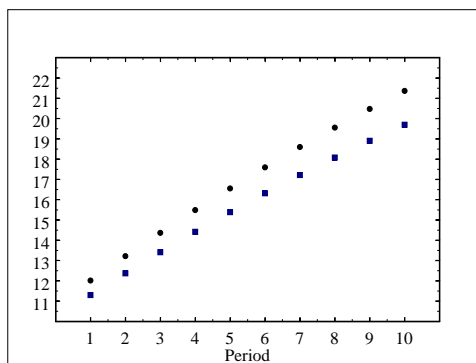


Figur 64. Skillnad mellan simulerad torrsvikt ovan stubbe för 71 lönträd från 14 ytor med 95% konfidensintervall (kg) (Skattat värde funktion B3+B12+B17 Marklund (1988) minus skattat värde funktion B18+B20+B21).

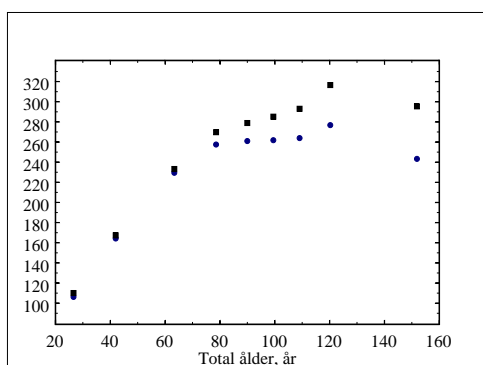
Lönträd skattas likartat med funktioner från tabell 3 jämfört med funktioner av Marklund (1988) (figur 55-64) utom för torrsvikt av döda grenar (figur 61). I figur 63 ses att torrsvikten i utgångsläget skattats lika men också att skillnaden i skattning ökar med ökande period. Detta beror delvis på att torrsvikten för ett fåtal träd skattats orimligt högt med funktioner från tabell 3.



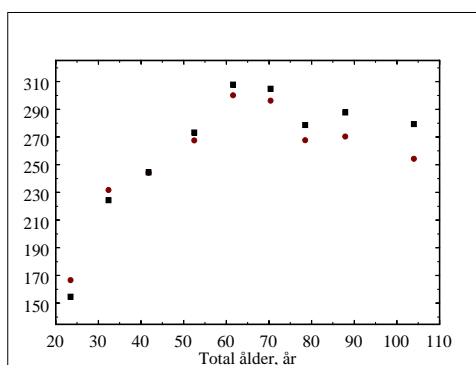
Figur 65. Simulerad torrsvikt av levande grenar inklusive eventuella barr, löv och kottar för en provyta i F-län (kg) (Funktion G4, T13, B20 = cirkel; Funktion G13, T15, B12, Marklund (1988) = kvadrat).



Figur 66. Simulerad torrsvikt av levande grenar inklusive eventuella barr, löv och kottar för en provyta i AC-län (kg) (Funktion G4, T13, B20 = cirkel; Funktion G13, T15, B12, Marklund (1988) = kvadrat).



Figur 67. Skattad torrsvikt av levande grenar inklusive eventuella barr, löv och kottar för ca 4500 provytor från norra Sverige (kg) (Funktion G4, T13, B20 = cirkel; Funktion G13, T15, B12, Marklund (1988) = kvadrat).



Figur 68. Skattad torrsvikt av levande grenar inklusive eventuella barr, löv och kottar för ca 2700 provytor från södra Sverige (kg) (Funktion G4, T13, B20 = cirkel; Funktion G13, T15, B12, Marklund (1988) = kvadrat).

Figur 65 och 66 visar exempel på skillnader i simulerad torrsvikt av levande grenar inklusive eventuella barr, löv och kottar för vardera en ogallrad provyta för 10 kommande 5-års perioder. Skillnad i period ett mellan med funktionerna skattad och med Marklunds funktioner skattad torrsvikt beror just på funktionerna medan framtida skillnader i torrsvikt beror på funktioner och framskrivning. I figur 67 och 68 beror skillnader i skattning enbart på funktioner. I yngre bestånd där tillväxten är hög tycks funktionerna från tabell 3 skatta torrsvikten högre än vad Marklunds funktioner gör, medan det omvända tycks gälla för äldre bestånd med låg tillväxt.

## 4. DISKUSSION

Det är inte troligt att prediktioner av biomassa kommer att påverkas i någon större utsträckning pga av eventuella skillnader mellan den skogsskötsel som bedrevs av dåvarande Domänverket för ca 15 år sedan och tidigare från dagens. Antagligen kan dock extrema typer av skogsskötsel lokalt generera systematiska fel i skattningarna. Antalet barrårgångar ökar med stigande latitud. I södra Sverige är de äldsta barren bara några år gamla och det är tänkbart att tillfälliga "bördighetsvariationer" kan påverka torrvikten av barr. Hur torrvikten av barr varierar med tillfälliga "bördighetsvariationer" är emellertid för författaren okänt. Övriga beroende och oberoende variabler är baserade på ett flertal år och torde därför inte vara så känsliga för tillfälligheter. Jämfört med antalet registrerade observationer av torrviikt av stam på bark så är antalet registrerade observationer av torrviikt av döda grenar ca 3-9% färre. Detta beror antagligen på att träden saknade döda grenar, på att inga torra grenar hamnade i samplet eller på att variabeln inte registrerades. Funktioner som bygger på de förra två fallen överskattar torrvikten av döda grenar eftersom funktionerna ej inkluderar "noll observationer". Förutom för små träd verkar samtliga variabler ha god spridning vad gäller skogliga förhållanden av idag. Skattningar i ungskogar bör därför granskas noga. Materialet representerar ej extremer och därför bör enskilda skattningar t.ex. i höjdlägen, vid kusten, i myrmarker särskilt rimlighetgranskas.

Storleken på en död gren beror på vid vilken trädålder den bildades, hur länge den levde, med vilken tillväxthastighet den växte och på nedbrytningsgrad. Nedbrytningen av döda grenar beror främst på svampar, bakterier och mikroorganismer dvs på förekomsten av och livsbetingelserna för dessa. Många mer eller mindre slumpmässiga komponenter styr alltså torrvikten av grenar och det är därför ingen slump att torrvikten av döda grenar ej skattats tillfredsställande. Som tur är utgör torrvikten av döda grenar en liten del av den totala trädbiomassan.

I några fall vid residualstudier mot variabler som ej ingick i respektive funktion förekom mindre allvarliga trender. Dessa trender brukar försvinna om variabeln inkluderas i regressionsfunktionen. Tyvärr är varken variabeln trädlängd eller grundyta lämplig att inkluderas av framskrivningstekniska respektive tekniska skäl. Signifikant avvikande residualer återfinns ofta t.ex. i klassen för de högsta träden. Denna extrema klass är ibland liten och består i vissa fall bara av två individer som kan komma från samma yta. Det signifikanta värdet kan alltså vara ett resultat av beroende. Det är också välkänt att extrema värden generellt skattas dåligt med regressionsfunktioner. När variabeln ståndortsindex prövades i funktion T12 och T13 blev partialsambanden ej logiska (antagligen p.g.a. multikollinearitet) varför variabeln uteslöts. Det kan diskuteras om variabeln bör inkluderas eftersom den verkar förklara en del av hur bördighet påverkar torrviikt.

Jämförelser med Marklunds funktioner på trädnivå (figur 15-64) baseras vardera på ett relativt sett litet material och syftet med denna jämförelse var i första hand att rimlighetsgranska skattningar i utgångsläget och skattningar efter det att vissa oberoende variabler skrivits fram. Denna jämförelse visar att funktionerna tycks skatta väntevärdesriktigt i utgångsläget samt att skattningen efter framskrivning är rimlig. För skattningar av lövträd förekom dock ett fåtal orimliga skattningar där träd med mycket stor diameter i förhållande till ålder överskattades. Denna överskattning beror på att björkfunktionerna är känsliga för extrapolering – se partialsamband figur 14. Felet var en följd av ett programmeringsfel av grundytetillväxtfunktionen som används vid framskrivning av lövträd. Detta fel är nu åtgärdat.

På ytnivå visar det sig att funktionerna i högre grad än Marklunds funktioner tycks ta hänsyn till densitetskomponenten (tillväxten) och detta på ett till synes realistiskt sätt (figur 67 och 68).

Eftersom omloppstiden för bestånd med låg tillväxt vanligen är längre än för mer snabbväxande så speglar denna statistiska beskrivning av inventerade bestånd ej beståndets normala utveckling. Det är därför troligt att utvecklingen av biomassa i ett enskilt bestånd är mer uthållig vilket också antyds i figur 65 och 66.

Tyvärr är det svårt att analysera om funktionerna är bättre eller sämre än Marklunds – det finns ju inget facit. Emellertid, som tidigare berörts, bör biomassan beskrivas med en volym- och en densitetskomponent. Volymkomponenten beskrivs lätt med t.ex. variabeln dbrh. Vid samma dbrh varierar emellertid torrvikten p.g.a. trädets tidigare utveckling. Ett flertal forskare har visat att den tyngsta veden håller en medelårsringsbredd på 1-2 mm (e.g. Nylinder & Hägglund, 1954). Hungerved med medelårsringsbredd på klart under 1 mm har mycket låg torrsvikt. Ett partialsamband där fem års radietillväxt analyseras visas i figur 12. Funktionen tycks väl uppfånga densitetskomponenten. Marklunds funktion inkluderar ingen motsvarande variabel. Densitetskomponenten är intressant t.ex. när självföryngring jämförs med plantering, både ur trädbränsle- och näringsbalanssynpunkt.

Simuleringsmodellen HUGIN baseras på ej höjdmätta träd. Om Marklunds modeller används måste en höjd tilldelas varje träd och höjden måste kunna skrivas fram. En regressionsfunktion grundar sig på att de oberoende variablerna mäts korrekt utan mätfel. Vid tillämpning, inkluderas ett slumpfel till höjden och låga och höga träd skattas särskilt dåligt. Författaren misstänker att detta fel i vissa situationer kan bli stort, särskilt vid långa framskrivningar. (Diametertillväxt skattas också med ett slumpfel. Detta slumpfel antas dock vara försumbart i sammanhanget.)

Sammanfattningsvis kan konstateras att funktionerna väl uppfyller sitt syfte att skatta biomassa i projektet SKA 99. Materialet har god representativitet, statistiska antaganden är rimliga, funktionerna skattar med hög precision och de verkar vara flexibla för inter- och för extrapolering.

## 5. SAMMANFATTNING

I de nya landsomfattande skogliga konsekvensanalyserna – SKA 99 – genomförs en bred skoglig konsekvensanalys som under olika antaganden beträffande skogsskötsel samt skogsmarkens och skogens nyttjande på 100 års sikt bland annat skall belysa potentiell tillgång på skogsbränsle, kolbindning och näringsbalanser i skog. Projektet drivs i samverkan mellan Skogsstyrelsen, SLU, Statens Energimyndighet, Naturvårdsverket och NUTEK. I denna arbetsrapport dokumenteras biomassa-funktioner vilka utgör underlag för beräkning av potentiell tillgång på skogsbränsle, kolbindning och kvävebalans i skogen. Biomassan predikteras för olika trädfractioner av enskilda träd. Total mängd kol respektive kväve erhålls genom att multiplicera trädfractioners torrsvikt med konstanter.

De biomassa-funktioner som redovisas i denna rapport förväntas kunna användas vid framskrivning av biomassa i en simuleringsmodell. För att denna framskrivning skall bli realistisk bör biomassan beskrivas med en volym- och en densitetskomponent. Volymkomponenten bör vara korrelerad med t.ex. diameter-, höjd- och formuttryck, medan densitetskomponenten exempelvis bör vara korrelerad med variabler som beskriver trädets historiska tillväxt, konkurrenssituation och ålder. Jämfört med Marklunds biomassa-funktioner som använts i tidigare avverkningsberäkningar har, för funktionerna i SKA 99, större vikt lagts vid att kunna analysera effekter av variabler korrelerade med densitetskomponenten.

Materialet är samma som Marklund använt och biomassa avser torrsvikt av olika trädfractioner för trädslagen tall, gran och björk. De oberoende variabler som använts i funktionerna är (mätta i brösthöjd) stamdiameter, ålder och radietillväxt. Vidare har, baserat på en cirkelyta med tio meters radie, ståndortsindex, marktypen "torvmark" samt lägesbestämmande variabler nyttjats som oberoende variabler. Materialet är insamlat med hjälp av stickprovsmetodik och det representerar stora delar av Sverige med träd från marker ägda av dåvarande Domänverket. Små träd, träd yngre än fem år mätt i brösthöjd, skog i höglägen och kustnära skog är inte representerade.

I den använda simuleringsmodellen (HUGIN) avser skogstillståndet i utgångsläget all skogsmark och beskrivs utifrån Riksskogstaxeringens material inhämtat från cirkulära provtytor. Minsta relevanta geografiska redovisningsenhet är av storleksordningen län, eller för stora län, länsdel. För dessa redovisas tillväxt, skogstillstånd, utförda åtgärder m.m. under normalt tio kommande tioårsperioder. Trädslagen tall, gran, contortatall, björk, bok, ek och övriga lövträd behandlas. Stamdiametrar skrivs fram med hjälp av Söderbergs grundytetillväxtfunktioner på grundval av träd, bestånds och ståndortsegenskaper. Eftersom vissa träd på provytan åldersmäts kan dessa egenskaper skattats för eller tilldelas övriga, enbart diametermätta, träd. Ståndortsindex, marktyp och geografiskt lägesbestämmande variabler bestäms vid utgångstillfället och förblir oförändrade under alla kommande perioder.

En så kallad multiplikativ regressionsmodell har använts för att skatta biomassa. Tänkbara oberoende variabler har testats var för sig, ibland kombinerade, transformerade m.m. Stor vikt har lagts vid att utifrån data erhålla linjära samband mellan beroende och oberoende variabler i tvådimensionell form. Modellen har utifrån dessa tvådimensionella samband successivt byggts upp. Ibland har logiska variabler med förhållandevis låg signifikans inkluderats i modellen.

Totalt har 22 funktioner framställts för att skatta torrsvikt av stam inkl. bark, bark, barr, levande grenar, döda grenar, biomassa ovan stubbhöjd för tall, gran och björk och av stubb- och rotfraktion grövre än 5 cm och total biomassa för tall och gran. Biomassa-funktionerna har genomgått en rad statistiska tester. Högst spridning kring funktionen och lägst förklaringsgrad erhöles för funktioner

---

som skattade torrsvikt av döda grenar. Spridningen kring funktionen var 77% eller mer och förklaringsgraden lägre än 0.77. Spridningen kring funktionen för

”levande-gren” för björk var tämligen stor – 45%. Jämfört med Marklunds funktioner skattas generellt sett torrsvikter tämligen likartat i utgångsläget medan skillnader i skattning ökar med ökande period i simuleringen. Partialsamband antyder att ”tillväxtsvariabeln” på ett rimligt sätt tycks fånga upp densitetskomponenten. Marklunds funktioner inkluderar ingen motsvarande variabel.

Sammanfattningsvis kan konstateras att funktionerna väl uppfyller sitt syfte att skatta biomassa i projektet SKA 99. Materialet har god representativitet, statistiska antaganden är rimliga, funktionerna skattar med hög precision och de verkar vara flexibla för inter- och för extrapolering.



## 6. REFERENSER

- Bengtsson G., Holmlund J., Lundström A., & Sandewall M. 1989. Avverkningsberäkning 1985, AVB 85. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogstaxering, rapport 44. 329 sidor. ISSN 0348-0496.
- Hägglund B., & Lundmark J. 1977. Skattning av höjdboniteten med ståndortsfaktorer. Skogshögskolan, Institutionen för växtekologi och marklära, rapporter och uppsatser 28. 240 sidor. ISSN 0346-7376.
- Jonsson, B., Jacobsson, J. & Kallur, H. 1993. The Forest Management Planning Package. Theory and application. Studia Forestalia Suecica 189, 56 pages. ISSN 0039-3150.
- Lundström A., Nilsson P., & Söderberg U. 1993. Avverkningsberäkningar 1992. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogstaxering, rapport 56. 198 sidor. ISSN 0348-0496.
- Marklund L. G. 1987. Biomassafunktioner för gran i Sverige. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogstaxering, rapport 43. 127 sidor. ISSN 0348-0496.
- Marklund L. G. 1988. Biomassafunktioner för tall, gran och björk i Sverige. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogstaxering, rapport 45. 73 sidor. ISSN 0348-0496.
- Nylinder P., & Hägglund E. 1954. Ståndorts- och trädegenskapers inverkan på utbyte och kvalitet vid framställning av sulfitmassa av gran. Meddelanden från Statens skogsforskningsinstitut, Stockholm. 184 sidor.
- Ranneby B., Cruse T., Hägglund B., Jonasson H., & Swärd J. 1987. Designing a new national forest survey for Sweden. Studia Forestalia Suecica. 177. 29 pages. ISSN 0039-3150.
- Söderberg U. 1986. Funktioner för skogliga produktionsprognoser. Sveriges lantbruksuniversitet, Avdelningen för skogsuppskattning och skogsindelning, rapport 14. 251 sidor. ISSN 0349-2133.
- Wonnacott T. H., & Wonnacott R. J. 1990. Introductory Statistics. John Wiley & Sons, Singapore. 711 pages. ISBN 0-471-51733-X.