



**Kandidatarbeten
i skogsvetenskap**

Fakulteten för skogsvetenskap

2013:19

Modeller för skattning av den vertikala
fördelningen av biomassan på klena träd i
röjningsgallringar

*Models for estimating the vertical distribution of
the biomass on small diameter trees in early
thinnings*

Simon Viklund & Johan Hofmann

Kandidatarbeten i Skogsvetenskap

Fakulteten för skogsvetenskap, SLU

Enhet/Unit	Institutionen för skogens ekologi och skötsel Department of Forest Ecology and Management
Författare/Author	Simon Viklund & Johan Hofmann
Titel, Sv	Modeller för skattning av den vertikala fördelningen av biomassan på klena träd i röjningsgallringar
Titel, Eng	Models for estimating the vertical distribution of the biomass on small diameter trees in early thinnings
Nyckelord/ Keywords	Biomassafunktioner, biomassa-fördelning, skogsbränsle, konfliktbestånd, biomassa-uttag Biomass functions, biomass distribution, forest fuel, conflict stand, removal of biomass.
Handledare/Supervisor	Dan Bergström, SLU, Institutionen för skogliga biomaterial och teknologi/ Department of Forest Biomaterials and Technology
Examinator/Examiner	Tommy Mörling Institutionen för skogens ekologi och skötsel/ Department of Forest Ecology and Management
Kurstitel/Course	Kandidatarbete i skogsvetenskap Bachelor Degree in Forest Science
Kurskod	EX0592
Program	Jägmästarprogrammet
Omfattning på arbetet/	15 hp
Nivå och fördjupning på arbetet	G2E
Utgivningsort	Umeå
Utgivningsår	2013

Förord

Vi vill tacka alla som på något vis har hjälpt oss att genomföra detta arbete.

Ett speciellt tack till:

Vår handledare Dan Bergström som har varit till stor hjälp för oss. Alltid snabb och bra hjälp.

Kristina Ulvcrona för att vi fått ta del av hennes gedigna datamaterial, utan henne hade det inte blivit något arbete.

Anton Grafstöm som har varit vår statistikhjälp och guidat oss genom Minitab.

Sammanfattning

I samband med nya mål för energiförbrukningen har behovet av förnyelsebara energislag ökat. Ett sätt att möta detta ökade behov i Sverige är ett ökat uttag av skogsbränsle. Denna ökning skulle till stor del kunna bestå av ökat bränsleuttag i skog med hög stamtäthet och klenta träd. För att på ett mer rationellt sätt kunna göra åtgärder i skog av detta slag är det av stor vikt att på förhand kunna uppskatta hur mycket man ska ta ut och hur mycket man ska lämna kvar som näring åt kvarvarande bestånd.

Syftet med detta arbete var att skapa funktioner med vilka man ska kunna skatta biomassa fördelningen i vertikal ledd för klenta träd.

Framtagandet av funktionerna har gjorts genom regressionsanalyser. Funktionerna bygger på data från Kristina Ulvcronas avhandling *Effects of Silvicultural Treatments in Young Scots pine-dominated Stands on the Potential for Early Biofuel Harvests*. Vid regressionsanalyserna användes höjd samt kvadrering och kubering av höjd som förklarande variabler till den vertikala fördelningen av biomassa för tall, gran och björk. Även funktioner för fördelningen av stamved, stambark och grenar inkl. barr togs fram.

Resultaten visar att med hjälp av våra funktioner kan man se att en stor del av biomassa finns långt ner i träden. Denna andel varierar dock mellan de olika trädslagen. För tall finner man att vid 75 % av trädhöjden finns 86 % av den totala biomassan med en förklaringsgrad på 99,8 %. För både gran och björk finns 93 % av biomassan vid 75 % av höjden. Dessa funktioner har förklaringsgrad ($R^2 = 99,9 \%$). Dock är vissa konstanter icke signifikanta på signifikansnivån 0,05.

Funktionerna i detta arbete skulle kunna integreras i en skördardator som ett hjälpmedel för optimal aptering. Dock krävs det att funktionerna vidareutvecklas med ett bredare dataunderlag då våra funktioner endast bygger på data från tre bestånd inom samma region (Västerbottens inland).

Nyckelord: Biomassafunktioner, biomassa fördelning, skogsbränsle, konfliktbestånd, biomassa uttag

Summary

In connection with the new targets for energy consumption, the need for renewable energy sources currently increase. One way to meet this increasing demand in Sweden is to increase the extraction of forest fuel. This increase could consist of a greater fuel extraction in forests with high stem density and small diameter trees, thus early thinnings. For a more rational way to make actions in forests of this kind it is of great importance to be able to estimate how much of the biomass to extract and how much to leave as nourish to the remaining stand.

The aim of this work was to create functions with which you should be able to estimate the biomass distribution in the vertical direction of small diameter trees.

When creating the functions regression analysis was used. The functions are based on data from Kristina Ulvcrónas thesis *Effects of Silvicultural Treatments in Young Scots pine-dominated Stands on the Potential for Early Biofuel Harvest*. In the regression analysis height and squared and incubated height has been used as explanatory variables for the vertical distribution of biomass for pine, spruce and birch. Also functions for the distribution of wood, stem bark and branches and needles were developed.

The results show that a large proportion of biomass is found far down in the trees. This proportion varies between the different tree species. For pine we found that at 75% of the height is 86% of the total biomass with a coefficient of determination of 99.8 %. For spruce and birch are 93% respectively 93% of the biomass at 75% of the height. These functions have the degree of explanation ($R^2=99.9\%$). However, certain constants are not significant at the 0.05 significance level.

The functions in this work can be integrated into a harvester computer as a tool for the bucking to be done in an optimal way. However, it is required that the functions are developed with a broader data set as base, this because the functions are based only on data from three populations within the same region (the inland of Västerbotten).

Key words: Biomass functions, biomass distribution, forest fuel, conflict stand, removal of biomass.

Innehållsförteckning

INLEDNING	6
Sveriges ungskogar och dess potential.....	6
Skötsel av ungskog	6
Skogsbränslegallring.....	7
Tidigare studier	7
Syfte och mål	8
METOD OCH MATERIAL.....	9
Studiedesign.....	9
Data	9
Sortering och beräkning av data.....	11
Urval av förklarande variabler	12
Regressionsanalyser.....	12
RESULTAT.....	14
DISKUSSION	18
Resultat	18
Metoddiskussion	19
Praktisk användning.....	20
Slutsats.....	21
REFERENSER	22

INLEDNING

Det pågår en omfattande utveckling av energisystem baserade på förnyelsebara energikällor. EU-kommissionens har satt upp ett mål, "Energy 2020 - A strategy for competitive, sustainable and secure energy", vilket innebär att till år 2020 skall EUs energisystem utgöras av 20 % förnybar energi, generera 20 % mindre utsläpp av växthusgaser och effektiviserats med 20 % (Europaparlamentet 2008). I skogslandet Sverige är förnyelsebara bränslen nästan synonymt med skogsbränsle. Vi har sedan tidigare utvecklat system för uttag av grenar och toppar (GROT) (primärt biobränsle; direkt från skog) och tillvaratagande av skogsindustriernas biprodukter, så kallade sekundära biobränslen. Dessa bränslekällor bedöms idag vara väl utnyttjade och ytterligare bränsleuttag ur skogen måste därför baseras på nya typer av källor. En sådan potentiell bränslekälla är biomassauttag i täta ungskogar (Anon. 2010).

Sveriges ungskogar och dess potential

I Sverige har vi idag stora mängder ungskog. Cirka 18 % av skogsmarksarealen utgörs av skog som är mindre än 15 meter hög (Bergström et al. 2008). Detta utgör en areal på c:a 4 miljoner ha. Av dessa är c:a 25% så kallade konfliktbestånd. Med konfliktbestånd menas "orörd eller ogallrad medelålders skog där flertalet härskande och medhärskande träd är grövre än 10 cm i brösthöjd" (Skogsstyrelsen 2011). Den årliga avverkningspotentialen här ligger på c:a 23 TWh som helhet om hela biomassan ovan stubben räknas in (Bergström et al. 2008). Detta kan jämföras med att vi år 2009 tog ut c:a 1,0 TWh i form av helträd från röjningsgallringar (Skogforsk 2009a).

Skötsel av ungskog

Ungskogen i Sverige har, dels enligt tradition och dels enligt lagstiftning, sköts på så sätt att man röjt utan att ta ut gagnvirke i kommersiellt syfte. Röjningen görs dels för att minska konkurrensen i beståndet och dels som urvalsmetod för de träd med bäst kvalitet samt de träd som lämpar sig bäst för ståndorten (skogsstyrelsen 2010). Röjning ger endast en kostnad. Under åren 1979 - 1994 infördes generell röjningsplikt och arealen som röjdes årligen ökade (Ulvcrona et al. 2010). Då lagen ändrades 1994, och röjningsplikten togs bort, har man nu större valmöjlighet för vad man vill göra med dessa skogar. Efter lagändringen minskade den årliga röjningsarealen kraftigt. Idag har vi stora arealer skogsmark av typen konfliktbestånd, dvs. oröjda förstagallringsbestånd (Bergström et al. 2008).

Traditionellt sett utförs en konventionell förstagallring, med uttag av massaved och eventuellt klenntimmer, som skötselåtgärd c:a 15-30 år efter röjning (Bergström et al. 2008). Om bestånden är oröjda vid förstagallring blir kostnaden hög, och det är svårt att uppnå lönsamhet. Dels krävs ofta en förröjning, vilket är ett dyrt ingrepp för markägaren (Ligné 2004), samt leder de klena medeldiametrarna (dbh < 12 cm) till höga avverkningskostnader och låg andel gagnvirke. Studier visar att endast 70-80 % av stamvedsvolymen går att aptera till massaved. Detta betyder att 20-30 % av stamveden och all övrig biomassa (GROT) lämnas kvar i beståndet (Bergström et al. 2008).

Skogsbränslegallring

Som ett alternativ till den konventionella förstagallringen kan man utföra en skogsbränslegallring. Då skördas hela trädet och all trädbiomassa ovan jord tas tillvara. Detta betyder att alla träddimensioner, grenar, toppar och barr/blad får ett ekonomiskt värde. Ofta används samma typer av maskiner, gallringsskördare och skotare, vid helträdsskörd som vid massavedsskörd (Bergström et al. 2008). Man har idag även tagit fram nya maskinsystem för att öka produktiviteten av helträdsskörd i täta klena bestånd. På marknaden finns idag tre typer av aggregat för avverkning och hantering. Gemensamt för dessa är att alla kan hantera flera träd i varje krancykel. De är så kallade ackumulerande aggregat. Själva kapmomentet bygger på tre olika tekniker vilka är hydraulisk klipp, en sågklinga eller ett sågsvärd (Skogforsk (2009b)). Ett ackumulerande aggregat anses idag vara lösningen för ett få biobränsleskörden lönsam. Idag hanteras ofta c:a tre stycken träd samtidigt. Man tror dock att man skulle kunna öka prestandan med befintlig teknik med upp till 30 % om man ökade ackumuleringen till 6-9 stycken träd per krancykel (Anon. 2010). Även skördarens arbetsmönster påverkar i hög grad produktiviteten. I stället för att använda den konventionella metoden med selektiv gallring kan man tillämpa geometrisk gallring, till exempel krankorridorgallring. Detta leder till minskat kranarbete, högre produktivitet och ingen ökad arbetsbelastning för föraren (Anon. 2010).

Det kan dock finnas problem med att göra stora biomassaavgångar i ung skog. Dels finns det risk att man sänker det kvarvarande beståndets produktion på grund av att man tar ut en potentiell näringskälla (Anon. 2010). Det minskar även antalet valbara huvudstammar i kvarvarande bestånd. Det finns dock studier som visar att detta inte behöver vara fallet (Ulvcróna et al. 2010).

Tidigare studier

För att möta problemet med produktionsförluster i kvarvarande bestånd och för att optimera lönsamheten vid helträdsavgång är det viktigt att veta hur mycket av träden som skall tas ut och hur mycket som skall lämnas kvar. Det finns metoder som medför att man ”knäckkvistar” de skördade träden genom att en bunt av skördade träd matas genom aggregatet med matarhjul vilka komprimerar biomassan (Iwarsson Wide 2009). Detta medför att de grövsta grenarna följer med stammen (knäckkvistade) och klena kvistar och barr/blad lämnas kvar i beståndet (Bergström et al. 2008). Denna metod innebär att man uppnår högre lastvikter på skotaren samtidigt som man lämnar en del näringsämnen kvar i beståndet.

En annan möjlig lösning för att lämna kvar näringsämnen i skogen är att avta träden vid en viss höjd och lämna en trädell i beståndet. För att skatta hur mycket biomassa som då skördas/lämnas kvar måste man ha kännedom om hur biomassan på ett träd fördelar sig i vertikalt led, dvs. om man kapar ett träd i två delar vid en specifik höjd, hur mycket stamved, stambark och grenar inkl. barr innehåller de två olika trädellerna? Ett sätt att skatta detta vid skörden är att väga biomassan, ta prover på biomassan för att fastställa dess fukt- och askhalt för att sedan kunna beräkna torr vikter och askmängder. Detta är mycket tidskrävande och kostsamt.

Ett alternativ är att utnyttja modeller för att skatta biomassa-fördelningen i kronan på träd. Lindkvist (2011) studerade fördelning mellan stam-, gren- och barrbiomassa i olika typskogar i västerbotten lämpade för gallring med ”långa toppar-metoden”.

Tahvanainen och Forss (2007) har gjort en omfattande studie i Finland där man tog fram biomassafunktioner för vertikala fördelningen för bl.a. levande krona för tall, gran och björk i täta ungskogar. Dessa funktioner byggde på samband mellan biomassafördelning, trädhöjd, dbh (trädets diameter vid 1,3 m höjd (brösthöjd)) och kronlängd. För klenta träd i Svenska skogar finns dock inga liknande funktioner framtagna.

Biomassafunktioner finns också för tall, gran och björk i svenska skogar (Marklund 1988). Även Ulvcrona (2011) har tagit fram biomassafunktioner för tall, gran och björk som bygger på samma datamaterial som vi använt oss av. Ingen av ovan nämnda funktioner behandlar den vertikala biomassafördelningen i stamtäta unga svenska bestånd.

Syfte och mål

Syftet med detta arbete är att ta fram modeller för att skatta den vertikala biomassafördelningen för klenta träd i unga täta förstagallringsbestånd (konfliktbestånd). Målet är att ta fram modeller/funktioner för tall, gran och björk som kan utnyttjas för att kunna skatta hur stor andel av trädets biomassa och näringsämnen som skördas/lämnas vid en specifik apteringsgräns. I förlängningen skall dessa funktioner kunna integreras i en skördardator för att optimera apteringen dvs. för att bestämma hur träden ska apteras.

Följande frågeställningar avses att besvaras i arbetet:

- Vilka trädvariabler påverkar den vertikala biomassafördelningen?
- Vilka samband råder mellan dessa trädvariabler? Vad betyder det för våra modeller?
- Kommer precisionen i skattningen skilja sig mellan olika trädslag, t.ex. en hypotes är att det kommer vara lättare att modellera tall och björk (då de har en mindre komplex kronuppbyggnad enligt oss) i jämförelse med gran som har en större grönkrona i förhållande till totala biomassan.

METOD OCH MATERIAL

Studiedesign

Datamaterialet som använts i analyserna är framtagna av Kristina Ahlund Ulvcróna, postdoktor vid enheten Skogliga biomaterial och teknologi, till hennes avhandling *Effects of Silvicultural Treatments in Young Scots pine-dominated Stands on the Potential for Early Biofuel Harvests* (Ulvcróna, K. 2011).

Studien utfördes i följande steg:

- Individdata för tall (*pinus sylvestris*), gran (*picea abies*) och björk (*betula spp.*) erhöles från Kristina Ahlund Ulvcróna (pers. komm. 2013).
- Sortering av data med avseende på obehandlade bestånd, massa i torrsvikt och relevant trädhöjd utfördes. Beräkningar och korrelationstester utfördes för definiering och urval av förklarande variabler.
- Regressionsanalyser utfördes för framtagande av funktioner för skattning av den vertikala biomassa fördelningen (% av tot. torrsvikt) vid olika trädhöjd för trädkomponenterna stamved, stambark och grenar inkl. barr, samt hela biomassan.

Data

Datat är insamlat på tre lokaler i norra Sverige; Degerön, Kulbäcksliden och Renfors (Tabell 1). Bestånden var oröjda och 22-25 år gamla vid första mätningen (2002). Lokalerna ligger på 64°N. Alla bestånden var naturligt förnygrade. Vidare information om bestånden ses i Tabell 1.

Tabell 1. Beskrivning av lokalerna som använts för datainsamling, samt vilket år data insamlats
Table 1. Description of premises used for data collection and the year the data was collected

<u>År</u>	<u>Variabel</u>	<u>Lokal</u>		
		<u>Renfors</u>	<u>Degerön</u>	<u>Kulbäcksliden</u>
2002	Dbh (mm)	29	20	27
2010		-	42	61
2002	Övrehöjd (m)	9,7	6	9,3
2010		-	10	12,7
2002	Grundyta (m ² /ha)	20,3	18	20,3
2010		-	32	26,7
2002	Täthet (träd/ha)	17 400	34 000	18 300
2010		-	14 460	4 060

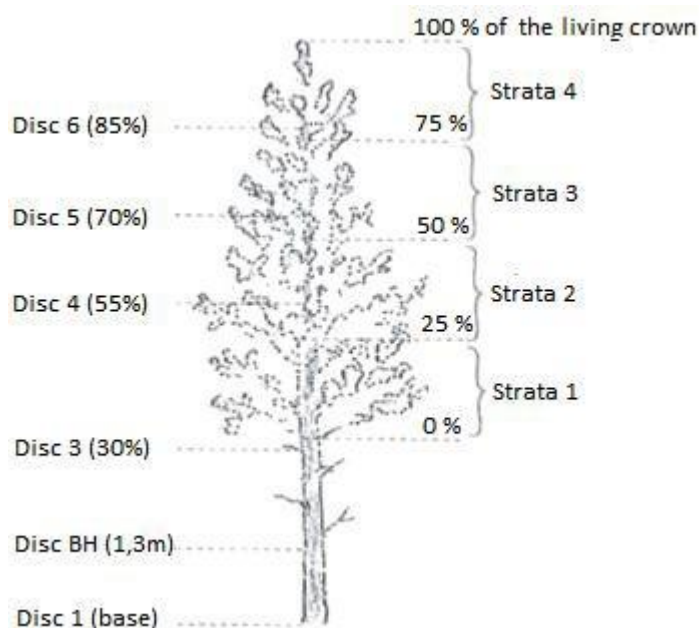
Från varje lokal valdes representativa träd ut (provträd) (Tabell 2). Trädens längd, dbh och kronans längd mättes. Varje trädkrona delades in i fyra stycken lika långa stratum i vilka grenar samplades ur. Från stammen sågades sex stycken trissor vinkelrätt mot stamriktningen. Trissorna och grenarna vägdes i fält för att få fram dess råvikt. De torkades sedan i 85 grader Celcius i 48 timmar och vägdes därefter för att få fram torrvikten.

Tabell 2. Antal provträd per trädslag, årtal och lokal
Table 2. Number of sampled trees

Trädslag	År	Lokal			Totalt
		Renfors	Degerön	Kulbäcksliden	
Tall	2002	5	6	8	30
	<u>2010</u>		<u>5</u>	<u>6</u>	
Gran	2002	2	2		12
	<u>2010</u>		<u>3</u>	<u>5</u>	
Björk	2002	5	3	2	10

För varje träd finns data om i vilket område trädet vuxit, vilket år provträdet huggits, vilket nummer i ordningen trädet har, trädhöjd, dbh, krongräns och levande krona. Krongräns anger var på trädet, i höjdledd, kronan börjar. Levande krona förklarar hur lång kronan är från lägsta gren upp till toppen

Varje trissa (1-6) togs vid förvalda höjder i trädet (figur 1). Trissorna var 50 mm tjocka och vägdes före samt efter torkning. För varje trissa finns information för hur mycket stambark samt stamved i torrsvikt, i gram, den innehåller. Dessa data användes för att räkna ut mängden stamved och stambark i trädet vid olika mätpunkter. Grenar inkl. barr i stratum 1-4 har vägts för att kunna uppskatta mängden biomassa i kronans olika delar (figur 1). För varje stratum anges torrsvikt för grenar inkl. barr i gram.

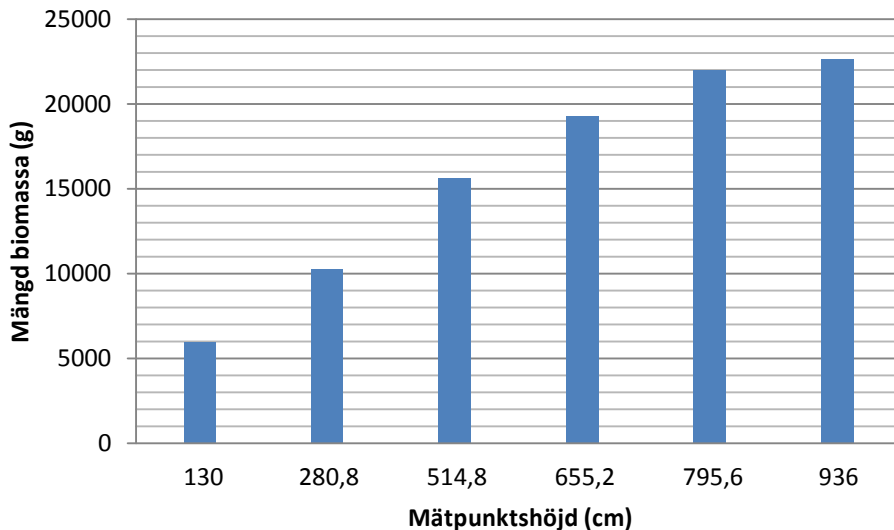


Figur 1. Trissornas samt stratumens fördelning i trädet (Ulvcróna, K. 2011).
 Figure 1. The distribution of the discs and strata in the tree (Ulvcróna, K. 2011).

Sortering och beräkning av data

Det material vi hade till vårt förfogande innehöll data för individer ur olika bestånd belägna i Västerbottens inland. Vi erhöll även data på behandlade bestånd. Här hade röjningar och gödslingar förekommit under försökstiden. Dessa togs inte med i våra analyser och uträkningar. Träd med en brösthöjddiameter <50 mm togs också bort. Detta på grund av att dessa ansågs vara för små för kommersiell biobränsleskörd.

Uträkningar för mängden biomassa i olika höjder av trädet gjordes. Då trissorna var tagna vid bestämda höjder av varje träd, 1,3 m och 30 % -55 % -70 % -85 % av höjden (se figur 1), uträknades vid vilken höjd varje trissa sågats för varje träd. Dessa mått användes som mätpunkter. Vår första mätpunkt hamnade således vid 1,3m höjd. För varje mätpunkt beräknades det ackumulerade biomassainnehållet. Detta innefattar all stamved och stambark samt alla grenar inkl. barr ackumulerat från rot upp till respektive mätpunkt. Alla träd hade 5 mätpunkter, samt ett sjätte värde för hela trädets biomassa, dvs. vid 100 % av höjden.



Figur 2 Exempel för ackumulerad biomassa för varje mätpunkt i ett träd
Figure 2. Example of accumulated biomass in every measurement point for a tree

Vid uträkning av mängden stamved samt stambark vid en mätpunkt antogs att mängden stamved respektive stambark var jämnt (linjärt) fördelat mellan mätpunkterna. Varje cm innehåller alltså lika stor mängd mellan mätpunkterna.

Uträkning av gren- och barrmassa vid varje mätpunkt gjordes genom antagande om att biomassan i varje stratum är jämnt fördelat genom hela stratomet. Varje cm inom ett stratum innehåller lika mycket biomassa. Den ackumulerade mängden biomassa av grenar inkl. barr vid en punkt beror således på hur stor del av olika stratum som finns med.

Urval av förklarande variabler

Som förklarande variabler användes trädens höjd, dbh och levande krona. Detta urval gjordes utifrån resultat från Tahvanainen och Forss (2007) studie.

Regressionsanalyser

Datamaterialet bearbetades i Excel och regressionsanalyser utfördes i Minitab 16. Andel biomassa (torrvikt) av total biomassa (%) ansattes som responsvariabel. Som förklarande variabel ansattes trädhöjd, dbh och levande krona.

Skall man utföra en multipel regression får inte de förklarande variablerna korrelera, dvs. vid en regression med flera förklarande variabler, krävs det att de enskilda förklarande variablerna är oberoende av varandra (nationalencyklopedin 2013). Därför utfördes ett korrelationstest mellan ansatta förklarande variabler för att fastställa vilka/vilken som skall användas.

Separata regressioner utfördes för trädslagen. I dessa var alla olika trädkomponenterna inräknade; stamved, stambark, grenar inkl. barr. Även regressioner för andel av totala massan som varje enskild komponent utgjorde, i förhållande till relativ höjd utfördes. Detta för att kunna visa på hur mycket av varje komponent det finns vid olika höjder av träden.

För regressionsanalyserna ansattes en signifikansnivå på 0,05. Dvs. att man tillåter 5 % av variationen i resultatet utgörs av slumpen.

För att åskådliggöra funktionerna applicerades relativa höjder mellan 0 och 1 till regressionsekvationen och därefter skapades grafer med de olika funktionskurvorna.

RESULTAT

Korrelationstesterna visade att det råder en stark positiv korrelation mellan våra tänkta förklarande variabler (Tabell 3). Därför användes endast höjd som förklarande variabel vid vidare modellering.

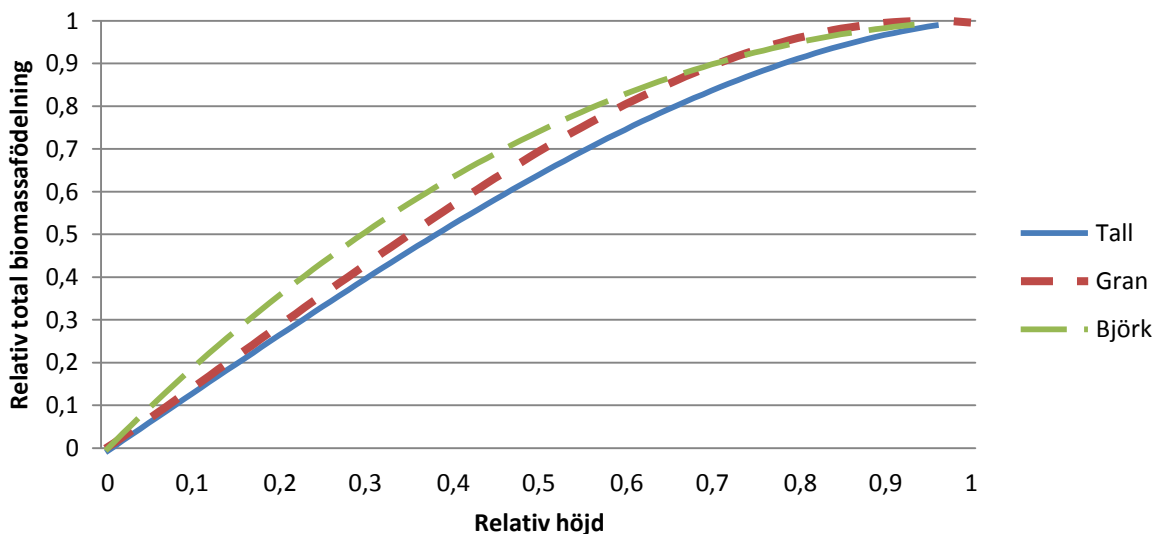
Tabell 3. Korrelation mellan förklarande variabler per trädslag

Table 3. Correlation between the explanatory variables

	TALL			GRAN			BJÖRK	
	Höjd	Dbh		Höjd	Dbh		Höjd	Dbh
Dbh	0,898		Dbh	0,952		Dbh	0,833	
Levande krona	0,870	0,910	Levande krona	0,996	0,955	Levande krona	0,966	0,907

Totala biomassan består av tre komponenter; stamved-, stambark- och gren inkl. barrbiomassa. Man kan se (Figur 3) att vid:

- 25 % av trädhöjden finns 34 % av massan för tall, 36 % för gran och 44 % för björk.
- 50 % av trädhöjden finns 65 % av massan för tall, 69 % för gran och 75 % för björk.
- 75 % av trädhöjden finns 86 % av massan för tall, 93 % för gran och 93 % för björk.

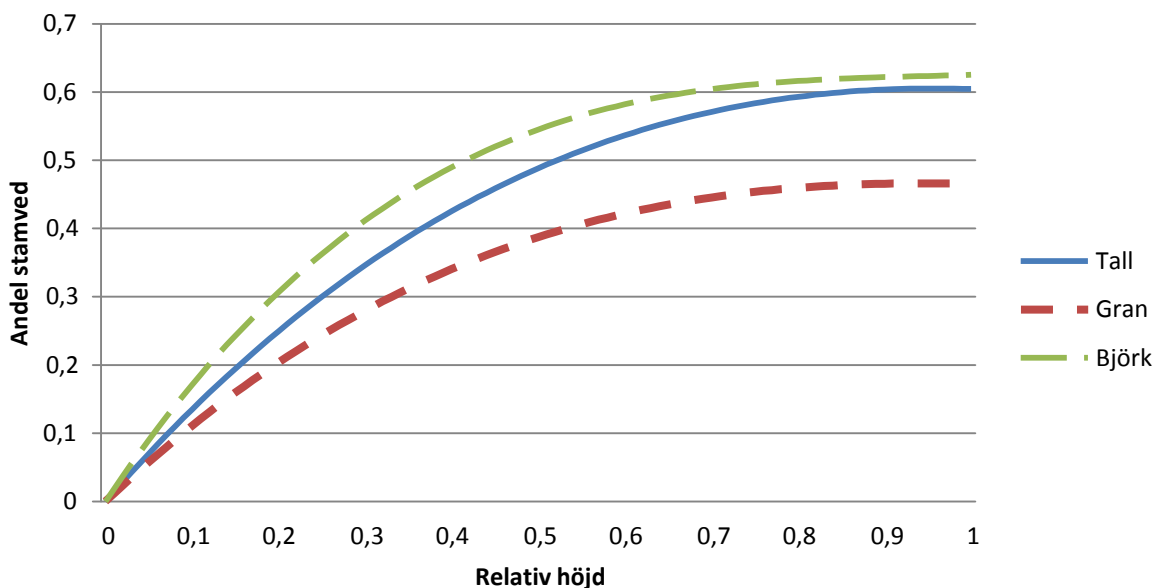


Figur 3. Graf för relativ biomassa i torrsvikt för tall, gran och björk i relation till den relativa höjden.

Figure 3. Graph of relative biomass dry weight of pine, spruce and birch in relation to the relative height.

Man kan se (Figur 4) att vid:

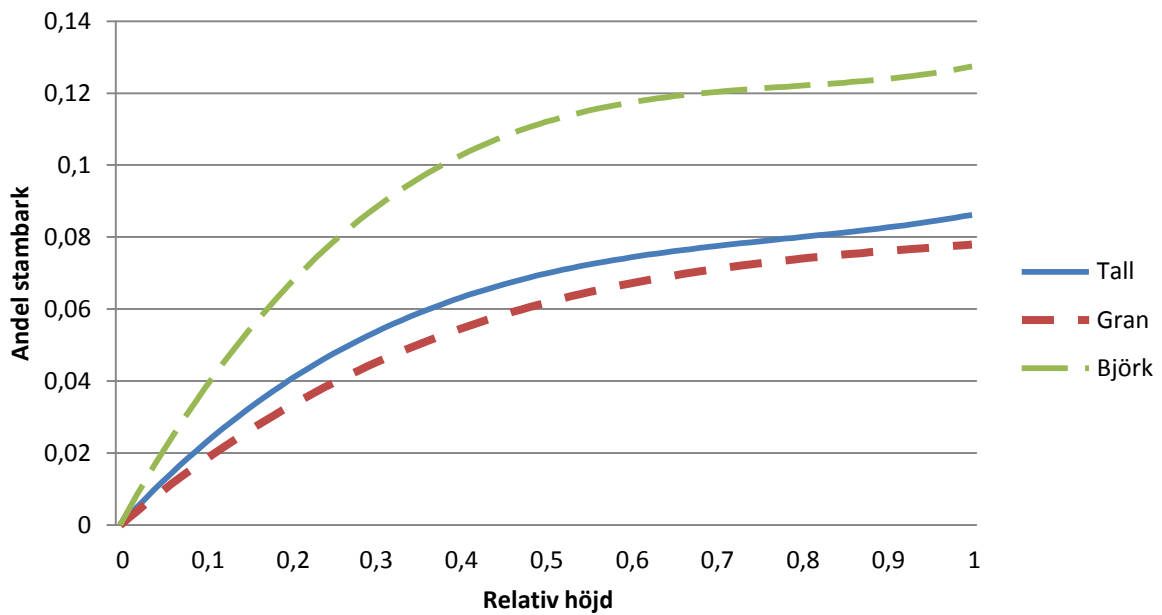
- 25 % av höjden utgör stamved 30 % av ackumulerad biomassa för tall, 24 % för gran och 36 % för björk.
- 50 % av höjden utgör stamved 49 % av ackumulerad biomassa för tall, 39 % för gran och 55 % för björk.
- 75 % av höjden utgör stamved 58 % av ackumulerad biomassa för tall, 45 % för gran och 61 % för björk.



Figur 4. Graf för andel stamvedbiomassa av total biomassa för tall, gran och björk, uttryckt i torrsvikt. *Figure 4. Graph of wood biomass proportion of the total biomass of pine, spruce and birch, in terms of dry weight.*

Man kan se (Figur 5) att vid:

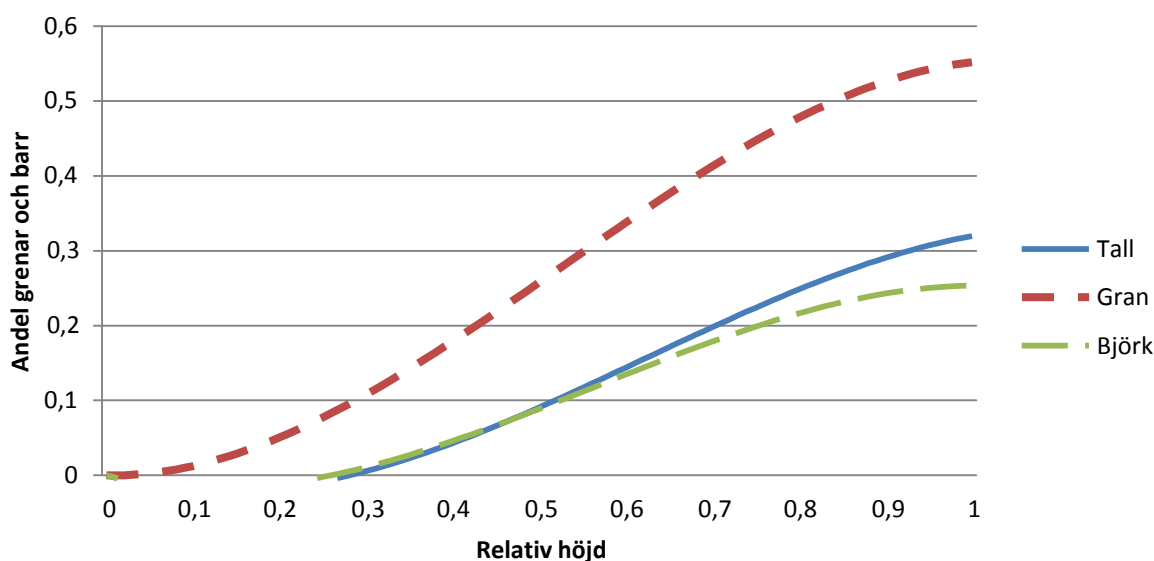
- 25 % av trädhöjden utgör stambarkbiomassa 5 % av ackumulerad biomassa för tall, 4 % för gran och 8 % för björk.
- 50 % av trädhöjden utgör stambarkbiomassa 7 % av ackumulerad biomassa för tall, 6 % för gran och 11 % för björk.
- 75 % av trädhöjden utgör stambarkbiomassa 8 % av ackumulerad biomassa för tall, 7 % för gran och 12 % för björk.



Figur 5. Graf för andel stambarkbiomassa av total biomassa för tall, gran och björk, uttryckt i torrsvikt.
 Figure 5. Graph of stem bark biomass proportion of the total biomass of pine, spruce and birch, in terms of dry weight.

Man kan se (Figur 6) att vid:

- 25 % av trädhöjden utgör gren- och barrbiomassa 0 % av ackumulerad biomassa för tall, 8 % för gran och 0 % för björk.
- 50 % av trädhöjden utgör gren- och barrbiomassa 9 % av ackumulerad biomassa för tall, 25 % för gran och 9 % för björk.
- 75 % av trädhöjden utgör gren- och barrbiomassa 22 % av ackumulerad biomassa för tall, 45 % för gran och 20 % för björk.



Figur 6. Graf för andel gren- och barrbiomassa av total biomassa för tall, gran och björk, uttryckt i torrviikt.
 Figure 6. Graph of branch- and needle biomass proportion of the total biomass of pine, spruce and birch, in terms of dry weight.

Samtliga funktioner har samma övergripande utformning. $Y = ax + bx^2 + cx^3$ där y är den relativa massan och x är den relativa höjden. Variablerna a , b , c är konstanter vilka skiljer sig åt beroende på trädslag och vilken komponent man syftar till att räkna ut dvs. hela trädet eller enskilda komponenter (tabell 4).

Tabell 4. Funktioner och vilka konstanta variabler som ska användas. Samt p-värde och förklaringsgrad (R^2)
 Table 4. Function and the constant variables to be used. Included p-value and degree of explanation (R^2)

Funktion	Konstant						R^2 %
	a		b		c		
	Värde	p-värde	Värde	p-värde	Värde	p-värde	
Relativ biomassa för tall	1,3652	<0,001	0,0842	0,512	-0,4398	<0,001	99,8
Relativ biomassa för gran	1,3844	<0,001	0,4055	0,003	-0,7926	<0,001	99,9
Relativ biomassa för björk	2,0357	<0,001	-1,1464	<0,001	0,1160	0,261	99,9
Andel stamved för tall	1,4496	<0,001	-1,0480	<0,001	0,2024	0,116	98,8
Andel stamved för gran	1,2059	<0,001	-0,9842	0,006	0,2434	0,315	97,4
Andel stamved för björk	1,8966	<0,001	-1,9554	<0,001	0,6831	<0,001	99,8
Andel stambark för tall	0,2566	<0,001	-0,2966	<0,001	0,1263	<0,001	96,4
Andel stambark för gran	0,1999	<0,001	-0,1832	<0,001	0,0613	0,023	98,8
Andel stambark för björk	0,4327	<0,001	-0,5294	<0,001	0,2241	0,003	97,5
Andel grenar inkl. barr för tall	-0,3409	<0,001	1,4288	<0,001	-0,7685	<0,001	91,7
Andel grenar inkl. barr för gran	-0,0214	0,882	1,5729	<0,001	-1,0974	<0,001	95,1
Andel grenar inkl. barr för björk	-0,2936	<0,001	1,3384	<0,001	-0,7912	<0,001	97,5

DISKUSSION

Resultat

Syftet var att ta fram funktioner för att skatta den vertikala biomassa-fördelningen för klana träd i röjningsgallringar. Funktionerna har alla samma uppbyggnad för de olika trädslagen samt för de olika komponenterna, där den relativa massan förklaras av den relativa höjden. Tahvanainen och Forss (2007) har gjort modeller för den levande kronans vertikala fördelning vilket skiljer sig från våra, då vi behandlar hela trädets vertikala biomassa-fördelning. Funktionerna har samma grund med höjd som huvudsaklig förklarande variabel. Dock är en direkt jämförelse inte möjlig då våra modeller skattar den relativa kronbiomassan av total biomassa och Tahvanainen och Forss (2007) funktioner skattar relativ kronbiomassa av total kronbiomassa.

Våra modellframställningar har möjliggjort att man kan dra slutsatser om trädens vertikala biomassa-fördelning. När man tittar på trädets relativa biomassa (figur 3) ser man att redan vid låg höjd har vi mycket av biomassan, detta beror på att stamveden utgör en stor del av totala biomassan och har därför stor inverkan. För björk har vi vid 50 % av trädets höjd nästan 75 % av trädets biomassa. För gran och tall har vi 69 % respektive 65 % vid 50 % höjd. Vi har alltså stor del av biomassan långt ner i trädet, detta skulle i förlängningen kunna innebära att man fokuserar på uttag av denna del av trädet och att man kan lämna topparna som näring för framtida bestånd. Om man tittar på gran i figur 3 ser man att denna, rent objektivt, verkar vara nästan linjär upp till 60 % av relativa höjden, till skillnad mot björk och tall. Detta beror troligen på att granens krona sträcker sig längre ner på stammen och därför bidrar till en linjäritet.

Av figur 4 kan man se att stamved utgör en stor del av biomassan tidigt i trädet. Denna andel ökar snabbt för att sedan avta, troligen för att stammen smalnar av och andra komponenter tar vid högre upp i trädet. Denna tendens är tydligast för björk där man kan se att stamved utgör en större andel av totala biomassan än för gran och tall. För gran gäller det motsatta, stamved utgör här mindre del av totala biomassan. Anledningen till detta är säkerligen att gran har en avsevärt större andel av biomassan i form av grenar inkl. barr.

Andelen stambarkbiomassa i figur 5 har liknande utformning som andelen stamved. Detta för att barken förstås följer stamveden. Man kan dock se en skillnad väldigt högt upp i trädet där andel bark ökar i jämförelse med andel stamved som är oförändrad. Detta på grund av att barkens tjocklek är relativt oförändrad och utgör således större andel av stammen.

För gran är det tydligt att grenar inkl. barr utgör en stor del av totala biomassan. I figur 6 ser man att gran har grenar inkl. barr längs i princip hela trädets längd. För tall och björk finns det inte grenar inkl. barr förrän c:a 25 % - 30 % av trädets höjd. De utgör därför inte lika stor del av totala biomassan.

Metoddiskussion

Från början var tanken att vi skulle använda oss av flera förklarande variabler. Enligt Tahvanainen och Forss (2007) var dessa dbh, trädhöjd och levande krona. I vårt fall hade dessa en starkt positiv korrelation, vilket gjorde att vi bestämde oss för att bara använda en förklarande variabel. Då höjd för varje träd fanns samt att flera mätpunkter längs med alla träd fanns var detta den variabel som kändes mest lämplig att använda, samt att avsikten med arbetet var att undersöka biomassafördelningen i vertikal ledd gjorde att höjd var lämplig som förklarande variabel. Vi fick också en väldigt hög förklaringsgrad med höjd som förklarande variabel.

Resultatet av vår första regressionsanalys var en linjär funktion vilket då visade att relativ biomassa och relativ höjd hade ett linjärt samband. Detta kändes orimligt då vi vet att biomassan inte är vertikalt linjärt fördelad i trädet, samt styrker liknande studier som Tahvanainen och Forss (2007) på att ett linjärt samband inte är fallet. För att öka precisionen i funktionerna valde vi därför att ta fram fler variabler genom att kvadrera och kubera den relativa höjden och på så sätt få tre förklarande variabler. Vi fick då fram regressionslinjer som bättre stämde överens med våra egna teorier och tidigare studier. Genom kvadrering och kubering av höjden ökade vi också förklaringsgraderna för våra funktioner.

Vi har i detta arbete gjort en del förenklingar vid uträkningen av vissa data. Vid våra uträkningar av stamved och stambark antog vi att biomassan mellan två trissor var jämt fördelat. Alltså att varje cm mellan två mätpunkter innehöll lika stor massa. Detta är en förenkling som gör att vi får en underskattning av både stambarksvikt och stamvedsvikt. För att få en ungefärlig uppfattning om underskattningens storlek har vi jämfört våra resultat för total vikt med Ulvcronas uppmätta värden. Vi ser då att våra värden ligger ca: 6 % under de uppmätta. En tanke är att underskattningen ökar ju större träden är, då stammens biomassa utgör större del av total biomassa. För att undvika dessa underskattningar skulle man kunna använda sig av trissornas diametrar och avsmalningsfunktioner, vilket vi valt att inte göra i detta arbete. I kronan har det gjorts för få mätningar för att vara helt tillfredställande. Detta har lett till att vi i detta arbete har gjort antagande om att varje cm av ett stratum i kronan innehåller lika mycket biomassa likt fördelningen mellan trissor i stammen, vilket är en grov förenkling. Det hade behövts fler mätningar för att kunna öka precisionen.

I figur 4 kan man se att granens kurva avtar något på slutet. Då det hela tiden handlar om ackumulerad biomassa känns detta som en orimlighet, men ingenting vi kan förklara. Det är möjligt att en korrigering av funktionen bör göras för att rätta till detta problem.

En del av våra funktioner har konstanter med höga p-värden. Dessa konstanter bidrar alltså inte till precisionen i skattningen och skulle kunna uteslutas, detta har vi valt att bortse ifrån, till största del för att få liknande utformning på alla grafer. Vi har också höga förklaringsgrader trots något höga p-värden. Om man tittar på de konstanter som har högt p-värde kan man inte se något mönster.

Vi har avgränsningar för våra funktioner vilka bör belysas. Funktionerna är baserade på data från specifika lokaler med specifika beståndsegenskaper. Följaktligen ska funktionerna bara ses som användbara i dessa bestånd eller bestånd med samma egenskaper och förutsättningar. Dessutom bygger funktionerna på relativt få individer, speciellt för gran och björk.

Praktisk användning

Med hjälp av funktionerna skapade i detta arbete kan man uppskatta hur stor andel (%) av biomassan som finns vid olika relativa höjder av trädet, detta i torrsvikt. Man kan alltså inte säga exakt hur mycket biomassa (i kilogram) det finns vid olika höjder. Dock skulle detta kunna göras genom att man kombinerar funktionerna framtagna i detta arbete med andra biomassafunktioner t.ex. de funktioner som Ulvcrona (2011) tagit fram i sin avhandling. Tillvägagångssättet för detta skulle kunna vara att man mäter dbh och med hjälp av detta uppskattar trädets höjd (höjd har hög korrelation med dbh) och i sin tur trädets totala biomassa. Eftersom man vet trädets höjd och trädets biomassa kan man med hjälp av våra funktioner uppskatta hur mycket av biomassan som finns vid olika höjder av trädet. Funktionerna är tänkta att kunna integreras i en skördardator. Detta anser vi är möjligt och skulle kunna förenkla arbetet när man kommer till ett objekt som lämpar sig för skogsbränsleuttag. I en sådan skog kan det vara så att man inte vill ta ut hela trädet utan bara, som exempel, 75 % av trädets biomassa. Detta kan vara i syfte att lämna näringsämnen för kvarvarande bestånd. När skördaraggregatet greppar ett träd skickas information om trädets dbh till en dator, datorn skattar trädets höjd och kan med hjälp av våra funktioner räkna ut vid vilken relativ höjd 75 % av biomassa finns. Detta kan då göras för varje enskilt träd.

Vi har åskådliggjort två scenarion med två olika träd vid en implementering av våra funktioner tillsammans med biomassafunktioner från Ulvcrona (2011). I exemplet nedan (tabell 5) har vi använt biomassafunktionerna för att skatta torrsvikt för hela trädet, stam inkl. bark samt grenar inkl. barr. Vi har sedan antagit att man tar ut träddeklar som är exakt 350 cm långa. För tall innebär detta att man tar ut två stycken träddeklar á 350 cm dvs. 700 cm av totalt 936 cm, vilket är c:a 74,8 % av trädhöjden. För granen tar man ut 350 cm av 689 cm, vilket är c:a 50,8 % av trädhöjden. Med hjälp av våra funktioner har vi sedan räknat ut hur stor andel biomassa, totalt och per komponent, som tas ut vid respektive uttagen trädslängd. För att sedan kunna räkna ut uttagen torrsvikt i kilogram.

Tabell 5. Exempel på utfall vid implementering av vår modell för två provträd vid en aptering av träddeklar á 350 cm

Table 5. Examples of outcomes in the implementation of our model for two sample trees at a bucking of tree parts á 350 cm

	Tall			Gran		
Trädhöjd (cm)	936			689		
Dbh (mm)	109,5			79,5		
	Hela trädet	Stam	Grenar inkl. barr	Hela trädet	Stam	Grenar inkl. barr
Total torrsvikt (kg)	25,788	17,403	6,822	13,987	7,248	6,322
Uttagen torrsvikt (kg)	22,799	17,058	5,744	9,847	6,333	3,739
Relativ uttagen torrsvikt (% av total)	0,884	0,661	0,223	0,704	0,453	0,267

För att funktionerna ska vara praktiskt tillämpbara måste de förbättras dels genom göra fler fältmätningar på bestånd utspridda i olika delar av landet och med olika egenskaper. Med ett bredare datamaterial kan man utveckla funktioner som är generella och skulle kunna användas

var som helst i landet, eller funktioner som är olika beroende på det grunddata man matar in. Exempel på data skulle kunna vara vilken breddgrad man är på, ståndort, stamtäthet, höjd över havet etc.

Slutsats

- Trädvariabler som påverkar den vertikala biomassa-fördelningen är; trädhöjd, dbh och levande kronans längd.
- Korrelationen mellan dessa variabler var $>0,8$. Höjd valdes därför som förklarande variabel. Detta för att vi hade tillgång till fler mätpunkter jämfört med de andra två variablerna. Dessutom var syftet att skatta biomassan i vertikal ledd.
- Precisionen i skattningarna var hög. Förklaringsgraden för gran och björk var högst ($R^2=99,9\%$), för tall var förklaringsgraden ($R^2=99,8\%$). Dock var vissa konstanter ej signifikanta, vi ser inget mönster som visar att något trädslag skulle vara nämnvärt svårare att modellera.

REFERENSER

Anon. (2010). Skogen- En växande energikälla. Sammanfattande rapport från Effektivare skogsbränslesystem 2007-2010. Skogforsk. Uppsala.

Bergström, D., Ulvcrona, T., Nordfjell, T., Egnell, G., & Lundmark, T. (2010). Skörd av skogsbränsle i förstagallringar. Arbetsrapport 281 2010. SLU, Umeå, ISSN 1401–1204.

Europaparlamentet (2008). 20-20-20-paketet: Hur EU ska möta klimatförändringarna. (Online) Tillgänglig:
<http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+IM-PRESS+20080121STO19278+0+DOC+XML+V0//SV> (2013-03-12)

Iwarsson Wide, M (2009): ”Knäckkvistning” – en intressant metod för uttag av skogsbränsle i klen skog. Skogforsk resultat nr 8 2009. Skogforsk, Uppsala.

Lingé, D. (2004). New technical and alternative silvicultural approaches to pre-commercial thinning. Doctoral Thesis. SLU. ISSN 1401-6230, ISBN 91-576-6715-2.

Lindkvist, N. (2011). Beslutsunderlag för energianpassade gallringar i Västerbotten. Arbetsrapport 310 2011. SLU, Umeå, ISSN 1401–1204.

Marklund, L-G. (1988). Biomassafunktioner för tall, gran och björk i Sverige. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet. ISSN: 0348-0496. Rapport 45

Nationalencyklopedin (2013). Regressionsanalys. (Online) Tillgänglig:
<http://www.ne.se/regressionsanalys> (2013-04-17)

Skogforsk (2009a) Skogsbränsle – klenträäd (online) Tillgänglig:
<http://www.skogforsk.se/sv/KunskapDirekt/skogsbransle/Klentrad/> (2013-04-16)

Skogforsk (2009b) Tekniker för uttag av skogsbränsle i klena bestånd. (Online) Tillgänglig:
<http://www.skogforsk.se/sv/KunskapDirekt/skogsbransle/Klentrad/Metoder/Tekniker-for-klentradsuttag-utskrift/> (2013-03-14)

Skogsstyrelsen (2010). Skogseko 2/2010 (Online) Tillgänglig:
<http://www.skogsstyrelsen.se/Aga-och-bruka/Skogsbruk/Skogseko/Artikelregister/SkogsEko-22010/Att-roja-ar-att-investera/> (2013-04-01)

Skogsstyrelsen (2011). Skogseko 2- Ta ut skogsbränsle ur orörd skog. (Online) Tillgänglig:
<http://www.skogsstyrelsen.se/Aga-och-bruka/Skogsbruk/Skogseko/Artikelregister/SkogsEko-2-2011/Sa-far-du-ut-skogsbransle-ur-oroid-skog/> (2013-03-12)

Tahvanainen, T. & Forss, E. (2007). Individual tree models for the crown biomass distribution of Scots pine, Norway spruce and birch in Finland. The Finnish Forest Research Institute & University of Joensuu, Faculty of Forestry.

Ulvcrona, K. (2011) Effects of silvicultural treatments in young scots pine-dominated stands on the potential for early biofuel harvests. Doctoral Thesis No. 2011:79. Faculty of forest sciences department of forest ecology and management, Umeå, ISSN 1652-6880, ISBN 978-91-576-7623-8

Ulvcrona, K., Ulvcrona, T. & Lundmark, T. (2010). Skog & Trä 2010:1 -Skador efter tidig gallring i täta tallbestånd. SLU, ISSN 1403-6398, ISBN 978-91-977896-1-5

Skogforsk (2009) Skogsbränsle – klenträ (online) Tillgänglig:
<http://www.skogforsk.se/sv/KunskapDirekt/skogsbransle/Klentrad/> (2013-04-16)

Personlig kommunikation

Kristina, Ulvcrona, (2013-02-27). Personlig kommunikation.