



Beslutsunderlag för energianpassade gallringar i Västerbotten

*Development of decision support for energy-suited thinnings in
Västerbotten*

Nils Lindkvist

Arbetsrapport 310 2011
Examensarbete 30hp D
Jägmästarprogrammet

Handledare:
Dan Bergström

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för skoglig resurshushållning
901 83 UMEÅ
www.slu.se/srh
Tfn: 090-786 81 00



ISSN 1401-1204
ISRN SLU-SRG-AR-310-SE

Beslutsunderlag för energianpassade gallringar i Västerbotten

*Development of decision support for energy-suited thinnings in
Västerbotten*

Nils Lindkvist

Examensarbete i Skogshushållning vid inst för skoglig resurshushållning, 30 hp

Jägmästarprogrammet EX0628

Handledare: Dan Bergström, SLU, Institutionen för skoglig resurshushållning, teknologi

Bitr. handledare: Anders Lundström, SLU, institutionen för skoglig resurshushållning, skoglig statistik produktion

Examinator: Tomas Nordfjell, SLU, Institutionen för skoglig resurshushållning, teknologi

Extern handledare: Tomas Ladås, Skellefteå Kraft AB

Förord

Detta examensarbete omfattar 30 högskolepoäng på D-nivå och har utfört vid institutionen för skoglig resurshushållning vid Sveriges Lantbruksuniversitet i Umeå. Värd företag och uppdragsgivare av rapporten var Skellefteå Kraft AB.

Jag skulle vilja rikta ett stort tack till alla som hjälpt mig och gjort denna studie möjlig; handledare Dan Bergström vid institutionen för skoglig resurshushållning som alltid ställt upp och tagit sig tid. Även biträdande handledare Anders Lundström vid samma institution och Tomas Ladås, skogsproduktionschef på Skellefteå kraft, vill jag tacka för att ni ställt upp.

Vid intresse av beräkningsmodellen som utvecklats i studien, tag kontakt med mig.

Umeå, 9/2 2011

Nils Lindkvist

Sammanfattning

Efterfrågan på bioenergi ökar i Sverige vilket medför ökad betalningsvilja för skogsbränslen. En metod för att skörda skogsbränsle i energianpassade gallringar är ”långa toppar metoden” (LT-metod) där ett uttag av timmer och långa okvistade toppar sker. Timmerdelens kvistar lämnas kvar i skogen och den långa okvistade toppen förs ut och används som skogsbränsle.

Syftet med denna studie var att ta fram ett beslutsunderlag för gallring med LT-metoden i Västerbotten för prognostisering av utfall på beståndsnivå samt fördelning mellan stam-, gren- och barrbiomassa.

Fyra typskogar bildades (tallskog, granskog, barrskog och blandskog) för två västerbottniska regioner (lappmark och kustland). Skogsdata (provytedata med tillhörande provträd) insamlades från riksskogstaxeringens databas och bearbetades: gallringsskogar med gallringsbehov sorterades ut (medel dbh 19 cm); skogliga funktioner sammanställdes; en beräkningsmodell upprättades. Sedan beräknades utfall okvistade träddeklar regionvis för respektive typskog vid tre timmertoppdiametrar; 10, 12 och 14 cm. Gallringsuttaget var 35% av grundytan.

Resultaten visar att blandskogen ger det högsta utfallet i båda regionerna; i kustland mellan 25 och 29 tonTS/ha och i lappmark mellan 22 och 24 tonTS/ha beroende på timmertoppdiametern. Näst högsta utfall fick granskogarna och barrskogen i lappmarken, mellan 10 och 17 tonTS/ha. Störst procentuell skillnad mellan kustland och lappmark var i tallskog och barrskog där skogar belägna i kustlandet gav ungefärligen 30% lägre utfall. Detta arbete kan användas för prognostisering av biomassautfall under olika förhållanden i Västerbotten och således också för optimering av intäkter. Den framtagna beräkningsmodellen bör vidare utvecklas till att täcka och ge adekvata skattningar i samtliga regioner av Sverige.

Nyckelord: långa toppar, grot, skogsbränsle, bioenergi, kronbiomassa.

Summary

The demand for renewable energy is increasing in Sweden. This consequently increases the pressure for and willingness to pay for forest fuels. One method to extract forest fuel from suitable commercial thinnings is the "long top method" (LT-method). With this method saw logs and non-delimbed tops are recovered, i.e. no pulpwood is recovered. Branches from delimbed sawlogs are not recovered and only long top (with branches and needles still attached) is hauled the landing site. To optimize income from the LT-method knowledge about the share of recovery of respectively saw logs and fuel wood at different stand conditions and top diameters are needed.

The purpose of this study was to develop a decision support for the LT thinning method in Västerbotten and make an assumption of the outcome at stand level and the proportions of biomass in stem, branch and needles. Thinning outlet was 35% of basal area.

Four types of forests were formed for two regions in Västerbotten, Lapland and the coastal region. The forest types were pine, spruce, coniferous and mixed forests. Forest data (test area with associated sample tree) were retrieved from the national forest surveys database and then processed. Forests in need of commercial thinning were sorted out (average dbh 19 cm). Forest functions were compiled, a model was established and implemented to Microsoft Excel. The model estimates the outcome of non delimbed wooden parts per region and for each forest type at three different top diameters for saw logs; 10, 12 and 14 cm.

A decision support for energy-suited thinning has been developed. Among the forest types the mixed forest yield the highest outcome in this type of thinning in both regions, in the coastal region between 25 and 29 tonnes dry matter/ha and in Lapland between 22 and 24 tonnes/ha depending on the diameter of the top saw log. The second largest outcome at the theoretical thinning were spruce forests and the coniferous forests in Lapland, these were calculated to an outcome between 10 and 17 tonnes dry matter/ha. The largest difference in percent between the coastal region and Lapland was in pine and coniferous forests located in the coastal area which had approximately 30% lower outcome. This work can be used for prediction of biomass outcome under different conditions in Västerbotten, and consequently for optimization of income. The model should further be developed to cover, and be valid, in all regions of Sweden.

Keywords: Long tops, slash, bioenergy, fuel wood, crown biomass.

Innehållsförteckning

1 Inledning.....	2
Bakgrund	2
Skogens skafferier	2
Problemställning.....	3
Rekommendationer vid bibränsleuttag.....	3
Biomassans fördelning på trädet.....	4
Energianpassad gallring.....	4
Mål.....	5
2 Material och metoder.....	6
Arbetsgång.....	6
Definiering av typskogar	6
Sortering av typskogar.....	7
Beräkningsmodell för enskilda träd.....	11
Beräkningsvariabler.....	11
Funktioner och beräkningar.....	11
Beräkningar på beståndsnivå.....	12
Beräkningsvariabler.....	12
Beräkningar	12
3 Resultat	14
Biomassautfall trädvis	14
Biomassautfall beståndsviss.....	19
4 Diskussion	22
Kronbiomassans fördelning.....	22
Praktisk nytta av resultaten.....	22
Beräkningsverktyg i Excel.....	24
Studiens begränsningar.....	24
Utfall på bonitetsnivå	25
Kvarstående frågor/framtida studier.....	26
Slutsatser.....	27
5 Referenser.....	28
Bilaga 1: Funktioner	31
Bilaga 2: Definitioner	35
Bilaga 3: Flödesschema	36
Bilaga 4: Excelmodellen.....	37

1 Inledning

Bakgrund

Användningen av biobränslen i Sverige har sedan 70-talet fram till idag ökat med drygt 195%. Av de totalt 568 TWh som var den totala energimängd som tillfördes Sverige 2009 så stod biobränslen inkl. torv och avfall för ungefär 22%, d.v.s. 127 TWh (Anon. 2010f). En stor del av biobränslena eldas i fjärrvärmeverk; 2006 var drygt halva Sveriges värmeproduktion och ungefär 5% av elproduktionen biomassabaserad (Berndes & Magnusson 2006). Europeiska Unionens (EU) medlemsländer har tagit beslut om att minska utsläppen av växthusgaser samt att öka andelen förnyelsebara bränslen fram till år 2020. Målet är att andelen förnyelsebara bränslen då skall vara 20% av den totala tillförda energin inom EU (Anon. 2007). Detta medför troligt en fortsatt ökning av råvarubehovet. För Sverige, som är ett skogsland, innebär detta en ökad användning av skoglig biomassa.

Skogens skafferi

I Sverige finns drygt 23,2 miljoner ha produktiv skogsmark varav 3,2 miljoner ha i Västerbottens län; ung. 1,9 milj. ha i lappmarken och 1,3 milj. ha i kustlandet. Huggningsklasserna i den svenska skogsmarken fördelar sig enligt följande; 4,6 % kalmark, 6,7 % plantskog, 16,7 % ungskog, 35,0 % gallringsskog och 34,0 % slutavverkningsskog (Anon. 2010a). Virkesförrådet består av 3 miljarder m³sk i hela landet varav drygt 300 miljoner m³sk i Västerbottens län. År 2009 föryngringsavverkades i Sverige 140 000 ha, 308 000 ha gallrades och 330 000 ha röjdes (Anon. 2009).

Idag är det mesta av skogsbränslet rester från avverkning av timmer och massaved. Drygt hälften av skogsbränslet består av sekundära bränslen (bark, flis och spån) från sågverksindustrin och den andra hälften utgörs av primära bränslen; avverkningsrester som grenar och toppar (GROT) främst från föryngringsavverkningar men även från skogsskötselåtgärder. Man kan idag inte räkna med någon större ökning av de sekundära bränslena (Anon. 2008). Detta medför att primära skogsbränslen troligt kommer öka, främst från gallring och föryngringsavverkning. Efterfrågan och prisbilden på skogens produkter styr vad som är ekonomiskt försvarbart att plocka ut ur skogen; t.ex. prisförhållandet mellan timmer, massaved och skogsbränsle. D.v.s., om värdet på skogsbränslen är relativt högt kan en energianpassad gallring vara ett lönsamt alternativ till det konventionella rundvirkesuttaget. Energianpassad gallring beskrivs i fortsättningen som gallring med långa toppar metoden (LT-metod) och definieras som uttag av två eller tre sortiment; sågtimmer och/eller massaved samt skogsbränsle i form av långa okvistade toppar. Detta är en metod som funnits en tid och även prövats vid slutavverkning (Liss 2006).

GROT definieras som biomassan av avverkningsrester såsom grenar och toppar efter att industrivirke tillvaratagits (Anon. 1994). GROT-metoden är den traditionella metod som används vid föryngringsavverkning där GROT tas ut utöver timmer och massaved. Det ekonomiska resultatet vid GROT-anpassad skörd beror på aktuella priser, avverkade bestånd samt metoder för att utföra avverkningen (Danielsson & Liss 2004; Liss 2006; Salin 2008). Tidigare studier har visat olika resultat angående lönsamheten med LT-

metoden i föryngringsavverkning i jämförelse med GROT-metoden: Salin (2008) visar på att den gav ett sämre netto; medans Liss (2006) visar på ett bättre netto med denna metod. Utförandet i dessa försök är dock inte helt identiska. Undersökningar har visat att man med LT-metoden i slutavverkning får ut dubbelt så mycket skogsbränsle i jämförelse med GROT-metoden. Flisen från LT-metoden, jämfört med flisen från GROT, får en fraktionsstorlek bättre lämpad för förbränning men energiinnehållet är något sämre (Liss 2006). Den innehåller mindre andel finfraktioner (Liss 2005a) och större andel flis från stamved ("vitflis") (Liss 2004). Rå LT-flis har i försök även visat sig ha något lägre fukthalt än rå GROT-flis (Liss 2005b). Med ökad fukthalt i bränslet minskar värmevärdet och således också värdet då skogsbränslen ofta handlas i MWh. Betalningen för skogsbränsle från LT-metoden (benämns som okvistade träddeklar i prislistor) är betydligt bättre än för GROT i Västerbotten i dag, t.ex. betalar Skellefteå Kraft AB 350 kr per ton för okvistade träddeklar och 160 kr per ton för GROT (Anon. 2010b). Betalningsvilja och bränslekvalité är beroende av vilken panna bränslet skall eldas i och olika pannor är utvecklade för olika typer av bränslen (Söderström 2009).

Problemställning

Med LT-metoden i gallring kvistar man timret på traditionellt vis i skogen och apterar timret efter prislista. Den del ovan timret som traditionellt blivit massaved knäckkvistas med tillhörande topp, vilket får till följd att man kan ta ut långa toppar med kvistar som ett skogsbränslesortiment. De kvistar som fanns på timerstocken lämnas i skogen. Prognostiseringsverktyg för skattning av möjliga uttagsvolym skogsbränsle i energianpassade gallringar finns till viss del idag: Heureka, utvecklat vid Sveriges lantbruksuniversitet, har en icke testad funktion för detta (Wikberg 2010, pers. komm.); FLISavFLIS, utvecklat vid Skogforsk, har en funktion vilket beräknar biobränslemängder i specifika bestånd. Utfall från LT-metod kan dock i FLISavFLIS endast beräknas vid föryngringsavverkning, inte i gallringar (Anon. 2010g). Behov av en beräkningsmodell för LT-metoden i gallring finns därmed för att kunna bedöma vilka bestånd som kan vara lämplig för denna metod och hur stora volymer skogsbränsle som finns tillgängliga.

Rekommendationer vid biobränsleuttag

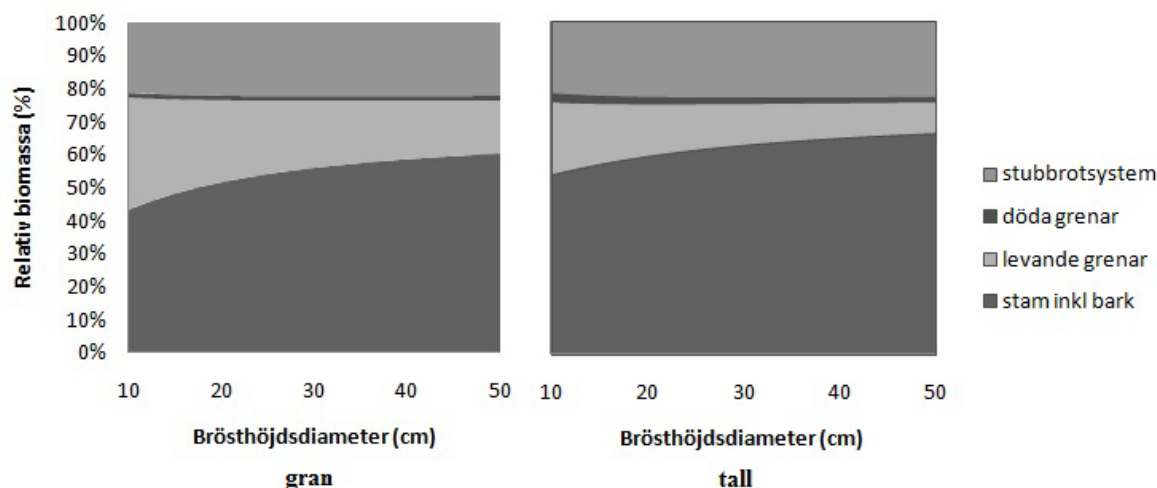
Idag finns rekommendationer från skogsstyrelsen om var bränsleuttag från skogsmark kan lämpa sig (Anon. 2010d):

- ta i första hand ut skogsbränsle från friska marker med blåbärsfältskikt eller bättre;
- undvik blöta och fuktiga marker eftersom stickvägarna där kan behöva risas för att undvika körskador;
- undvik även marker med dålig framkomlighet påverkar även det lämpligheten eftersom skotningen blir dyrare;
- välj bestånd som ej ger långa transporter;
- skörda inte bränsle på lavtyper samt undvik svaga marker på grund av risk för utarmning av näringsämnen.

Utarmning av näringsämnen samt försurning av skogsmarken, som t.ex. följd av stora och återkommande bränsleuttag från skogen, ger minskad biomassaproduktion. För ett långsiktigt uthålligt skogsbruk kan därför skogsgödsling eller askåterföring vara nödvändigt för dessa bestånd (Hellsten m.fl. 2008).

Biomassans fördelning på trädet

Ett träs totala mängd biomassa och biomassans fördelning mellan trädkomponenterna (t.ex. stubbrotsystem, stamved (inklusive bark), levande grenar och döda grenar) beror bland annat på trädslag, bonitet, klimat och beståndsålder (Lehtikangas 1999). Granbestånd (*Picea abies*) innehåller en större andel grenvolym än tallbestånd (*Pinus sylvestris*) och därav kan bestånd med hög granandel vara lämpligare för bränsleuttag. Den relativa grenbiomassan minskar med ökande brösthöjdsdiameter (dbh) för både tall och gran (Fig. 1) (Marklund 1988). Kronans längd och krongränshöjd beror på beståndets grundyta samt på om trädet är undertryckt. Hög grundyta samt om trädet är undertryckt påverkar trädets grenbiomassa negativt. Björk (*Betula pendula*, *B. pubescens*) och tall liknar varandra och desto högre trädet blir desto mindre blir kronan i jämförelse med den totala biomassan. I höga tallar sitter döda kvistar i den levande kronan medan granen inte har speciellt många döda kvistar i kronan. Granen har den längsta levande krona av dessa tre trädslag (Tahvanainen & Forss 2008).



Figur 1: Relativ biomassafördelning (%) mellan stubbrotsystem, döda grenar, levande grenar (inkl. barr) och stam (inkl. bark) hos gran och tall som funktion av brösthöjdsdiameter. Efter Marklund (1988) biomassfunktioner.

Figure 1: Relative distribution of biomass (%) between stump-root-system, dead branches, live branches (including needles) and stem (including bark) of Norway Spruce and Scots pine dependent on breast height diameter. After Marklund (1988) biomass functions.

Energianpassad gallring

I praktiska gallringar ligger gallringsstyrkan på 20-40% av grundytan. Man kan använda sig av olika gallringsformer; hög, låg och likformig gallring. Gallringsformen beskrivs som kvoten mellan medeldiametern på uttaget virke delat med kvarstående stammars medeldiameter. Höggallring har en kvot större än ett, låggallring mindre än ett och en likformig gallring ungefär ett. Den sistnämnde innebär att diametrarna på de utgallrade stammarna är ungefär lika som de kvarstående (Agestam 2009). Björktimmer är inget vanligt sortiment i Sverige (Anon. 2009) och därmed blir hela björkbiomassan energisortiment i energianpassad gallring. Vid denna typ av gallringar kan den långa toppen knäckkvistas. Knäckkvistning innebär att traddelen körs genom ett aggregat med t.ex. slöa kvistknivar (Iwarsson Wide 2009). Genomsnittliga utfall av gagnvirke i norra

norrland avverkningssäsongerna 2004/2005 - 2008/2009 var i slutavverkning 164 m³sk/ha och i gallring 57 m³sk/ha (Anon. 2010a).

Mål

Målet med detta arbete var att ta fram ett beslutsunderlag för energianpassade gallringar med långa toppar metoden i skogar belägna i Västerbottens lappmark och kustland. Underlaget skall kunna ge en prognos av hur stor biomassa som finns tillgänglig och hur respektive stam-, barr- och grendelar fördelar sig i specifika bestånd. Vanliga skogsvariabler, som t.ex. brösthöjdsdiameter, grönkrongräns och ståndortsindex, skall vara underlag för beslut med detta hjälpmedel. Detta skall gälla bestånd med klentimmeruttag (minst 10 cm toppdiameter under bark) och grövre.

2 Material och metoder

För framtagande av beslutsunderlag utvecklades en beräkningsmodell för Riksskogstaxeringens (RT) data. RT är en del av *Riksinventeringen för skog* (RIS) och utförs av institutionen för skoglig resurshushållning vid Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) i Umeå. Inventeringen av Sveriges skog och skogsmark sker årligen på permanenta samt tillfälliga provytor och har pågått sedan 1923 (Anon. 2010e). Detta medför att mycket data finns, allt samlat i en databas.

Arbetsgång

Arbetet med sortering av datamaterial, utveckling av beräkningsmodellen och beräkningar utfördes i följande ordning: 1) typskogar definierades och sorterades ur RT:s databas, 2) provytvariabler och provträdsvariabler valdes, 3) funktioner för beräkning av t.ex. stam-, gren och barrvolym samt avsmalningsfunktioner sammanställdes (se bilaga 1), 4) en beräkningsmodell utformades (och implementerades i Microsoft Excel), 5) beräkningar utfördes för typskogarna i beräkningsmodellen.

Definiering av typskogar

Detta arbete har behandlat skogar med huggningsklass C (C-skogar) från den senaste 5 års perioden, 2005-2009. C-skogar definieras av RT som medelåders skog där merparten av härskande och medhärskande träd har en dbh på bark över 10 cm. Skogens ålder skall vara lägre än skogsvårdslagens (SVL) lägsta slutavverkningsålder (LSÅ), men kan vara äldre än LSÅ och om den bedömts ha gallring som nästa åtgärdsförslag (Anon. 2010e). Vilken LSÅ som gäller i ett specifikt bestånd beror på ståndortsindex (SI). LSÅ är mellan 65 och 100 år i Västerbottens län (gäller bestånd bestående av virkesförråd med minst 50% tall och/eller gran) (Anon. 2010h). Data bestod av provytdata med tillhörande provträd. Provträd mäts av RT på alla provytor och antalet träd som väljs ut bestäms av provytans areal, inklavad grundytta samt ägoslag. För varje provträd registreras flertalet variabler som t.ex. höjd, diameter och grönkrongränshöjd. Området begränsades till Västerbottens kustland samt Västerbotten lappmark (Fig. 2).



Figur 2: Karta över norra Norrland med regionindelningen som RT använder sig av. Västerbotten delas i två regioner; kustland och lappmark (Anon. 2010e).

Figure 2: Map of Northern Norrland. Showing regionalization RT uses. Västerbotten is divided in two regions: the coast and Lapland (Anon. 2010e).

Sortering av typskogar

De variabler som användes för provytorna var arealfaktor, ”del av hel yta”, trädslagsvisa grundtytor, föreslagen åtgärd för beståndet, medeldiameter, medelhöjd, ståndortsindex (SI), markfuktighet och fältskikt. ”Del av hel yta” anger om ytan är hel eller delad. Till varje yta är provträd knutna med tillhörande data. Provträdsvariabler som använts var trädslag, höjd, dbh och grönkrongränshöjd. Grönkrongränshöjd definieras som höjden från marken till den nedersta grenen av den gröna kronan. En ensam frisk kvist med tre torra grenvarv ovan sig räknas dock inte tillhöra den gröna kronan (Anon. 1994).

Ett urval gjordes och följande ytor togs bort: delade ytor, fuktighetsklass blöt och fuktig, ytor med röjning som föreslagen åtgärd, samt ytor med medeldiameter < 12 cm.

Vidare beräknades grundtyteandelar ut för att kunna klassa de fyra valda typskogarna efter RT:s definitioner:

1. Tallskog: tallgrundtyta $\geq 65\%$
2. Granskog: grangrundtyta $\geq 65\%$
3. Barrskog: barrgrundtyta $\geq 65\%$; tallgrundtyta < 65%, grangrundtyta < 65%, contortgrundtyta < 65%
4. Blandskog: lövgrundtyta > 35%; lövgundtyta < 65%

Utifrån arealfaktorn beräknades sedan hur stor areal provytan motsvarar. Glasbjörk och vårtbjörk behandlas i denna rapport lika, d.v.s. som björk. Contortatall (*Pinus contorta*) behandlas inte alls. Detta eftersom endast få ytor i huggningsklass C med contorta finns i Västerbotten. Medelvärden för provträden är beräknades trädslagsvis för tall, gran och björk, detta för att se vilka egenskaper ett träd i en viss miljö har. Övriga provträd har utelämnats i denna studie.

De fyra typskogarna motsvarar tillsammans totalt 138002 ha i Västerbotten varav 70906 i kustlandet och 67096 i lappmarken. Materialet är räknat på 118 provtytor varav 73 av dessa belägna i kustlandet och 45 i lappmarken. Antal provträd på dessa ytor är 401 stycken varav 173 tallar, 150 granar samt 78 björkar. Medelgrundytan är 30 m².

Provytekaraktäristik finns redovisat för respektive typskog och är uppdelat på de två regionerna, kustland och lappmark (se tabell 1 och 2). Typskogarna delades därefter in i tre SI-klasser (låg, medel och hög), regionvis och typskogvis:

- Lågt SI ≤ 17 m;
- Medel SI 21 m > SI > 17 m;
- Högt SI ≥ 21 m.

SI motsvarar en bonitet vilken beskriver den årliga tillväxten. SI-klasserna benämns här efter som bonitetsklasser. Denna indelning finns redovisat i tabell 3-6. Flödesschema för hur RT data sorterades finns bifogat i bilaga 3.

Tabell 1: Provytevärden för de fyra typskogarna uppdelat på de två regionerna, Västerbottens kustland och lappmark*Table 1: Sample plot values of the four forest types divided into two regions, Västerbotten coast and Lapland*

Provytekaraktäristik	Västerbottens kustland				Västerbottens lappmark			
	tallskog	granskog	barrskog	blandskog	tallskog	granskog	barrskog	blandskog
Antal	26	11	21	15	26	6	9	12
Areal (ha)	26814	4238	19934	13883	26426	8718	13752	18200
SI (m)	21	20	19	18	19	17	17	18
Grundyta (m ²)	29	32	30	31	27	28	28	29
Tallandel av grundyta (%)	82	4	40	13	83	0	34	20
Granandel av grundyta (%)	13	80	35	39	5	87	30	31
Lövandel av grundyta (%)	5	16	17	47	11	13	26	49

Tabell 2: Medelvärden för provträd från de fyra typskogarna uppdelat på de två regionerna, Västerbottens kustland och lappmark*Table 2: Sample tree values of the four forest types divided into two regions, Västerbotten coast and Lapland*

Provytekaraktäristik	Västerbottens kustland				Västerbottens lappmark			
	tallskog	granskog	barrskog	blandskog	tallskog	granskog	barrskog	blandskog
Antal provträd, tall	69	4	28	9	48	-	8	7
Antal provträd, gran	11	36	36	17	3	25	5	17
Antal provträd, björk	4	7	11	24	6	4	5	17
Grönkrongräns, tall (cm)	7,6	7,1	8,8	7,6	5,5	-	6,1	6,7
Grönkrongräns, gran (cm)	1,7	3,4	3,6	3,3	1,5	3,0	2,4	2,5
Dbh, tall (cm)	20,4	32,5	23,2	21,7	17,9	-	21,1	18,8
Dbh, gran (cm)	15,6	21,0	17,3	17,4	16,1	17,1	20,7	19,8
Dbh, björk (cm)	11,6	13,2	17,0	19,2	14,7	11,3	18,0	14,3
Höjd, tall (m)	15,3	17,5	17,0	15,1	12,6	-	13,6	13,9
Höjd, gran (m)	11,7	12,9	14,6	14,3	11,3	12,0	15,6	14,6
Höjd, björk (m)	11,6	12,5	14,9	15,4	12,5	9,7	13,1	13,6
Volym medelstam (m ³ fub)	0,14	0,11	0,15	0,15	0,10	0,06	0,15	0,11

Tabell 3: Provytevärden för de fyra typskogarna i Västerbottens kustland uppdelat på bonitetsklasser*Table 3: Sample plot values of the four forest types in Västerbotten coast divided into yield classes*

Provytekaraktäristik	Bonitetsklassuppdelning, kustland											
	tallskog			granskog			barrskog			blandskog		
	låg	medel	hög	låg	medel	hög	låg	medel	hög	låg	medel	hög
Antal provytor	1	7	18	2	4	5	4	9	8	8	4	3
Areal (ha)	1958	6666	18190	1734	3530	5012	3530	8311	8093	7398	3853	2632
SI (m)	13	19	21	17	19	23	15	19	21	16	19	22
Grundyta (m ²)	42	28	31	36	30	32	27	30	31	29	28	38
Tallandel av grundyta (%)	82	80	76	1	5	4	74	87	83	11	11	21
Granandel av grundyta (%)	13	15	8	70	71	91	43	40	38	38	44	35
Lövandel av grundyta (%)	5	5	15	29	24	5	26	13	17	50	46	44

Tabell 4: Medelvärden för provträd från de fyra typskogarna i Västerbottens kustland uppdelat på bonitetsklasser*Table 4: Sample tree values of the four forest types in Västerbotten coast divided into yield classes*

Provytekaraktäristik	Bonitetsklassuppdelning, kustland											
	tallskog			granskog			barrskog			Blandskog		
	låg	medel	hög	låg	medel	hög	låg	medel	hög	låg	medel	hög
Antal provträd, tall	3	19	47	1	1	2	8	12	30	3	2	4
Antal provträd, gran	-	2	9	4	12	20	10	14	8	6	5	6
Antal provträd, björk	-	1	3	2	4	1	1	2	12	15	3	6
Grönkrongräns, tall (cm)	8,6	7,6	7,5	12,5	5,1	5,4	7,5	9,1	5,9	7,4	9,0	7,1
Grönkrongräns, gran (cm)	-	1,6	1,7	5,5	3,2	3,1	4,8	3,7	9,6	3,0	2,2	4,6
Dbh, tall (cm)	13,0	20,9	20,7	22,5	20,6	43,5	21,2	24,2	17,1	24,3	23,4	19,0
Dbh, gran (cm)	-	21,1	14,4	16,2	15,3	25,8	17,6	20,3	23,8	17,8	16,6	17,6
Dbh, björk (cm)	-	6,2	13,4	11,5	12,8	18,4	19,9	16,5	13,6	21,1	17,9	15,1
Höjd, tall (m)	12,2	15,3	15,5	19,7	13,8	18,3	15,0	18,2	14,3	16,1	14,6	14,6
Höjd, gran (m)	-	13,9	11,1	15,4	11,2	13,4	15,5	16,1	17,5	14,2	12,5	15,8
Höjd, björk (m)	-	5,5	13,7	12,7	12,8	10,9	16,6	14,0	12,2	15,2	15,7	15,8

Tabell 5: Provytevärden för de fyra typskogarna i Västerbottens lappmark uppdelat på bonitetsklasser*Table 5: Sample plot values of the four forest types in Västerbotten Lapland divided into yield classes*

Provytekaraktäristik	Bonitetsklassuppdelning, lappmark											
	tallskog			granskog			barrskog			blandskog		
	låg	medel	hög	låg	medel	hög	låg	medel	hög	låg	medel	hög
Antal provytor	3	12	3	4	2	-	5	3	1	3	8	1
Areal (ha)	4359	17268	4799	5758	2960	-	7451	4940	1361	4065	12736	1399
SI (m)	16	19	21	16	18	-	15	19	21	14	19	21
Grundyta (m ²)	29	26	29	30	24	-	26	31	27	26	30	32
Tallandel av grundyta (%)	86	80	94	0	0	-	33	25	60	7	20	54
Granandel av grundyta (%)	9	5	3	86	89	-	38	21	14	51	27	4
Lövandel av grundyta (%)	5	15	3	14	11	-	29	20	26	42	52	42

Tabell 6: Medelvärden för provträd från de fyra typskogarna i Västerbottens lappmark uppdelat på bonitetsklasser*Table 6: Sample tree values of the four forest types in Västerbotten Lapland divided into yield classes*

Provytekaraktäristik	Bonitetsklassuppdelning, lappmark											
	tallskog			granskog			barrskog			blandskog		
	låg	medel	hög	låg	medel	hög	låg	medel	hög	låg	medel	hög
Antal provträd, tall	11	27	10	-	-	-	6	2	-	2	3	2
Antal provträd, gran	1	2	-	17	8	-	3	2	-	9	7	1
Antal provträd, björk	-	6	-	4	-	-	3	2	-	3	14	-
Grönkrongräns, tall (cm)	5,3	5,2	6,4	-	-	-	4,6	10,4	-	7,4	7,0	5,6
Grönkrongräns, gran (cm)	1,7	1,4	-	3,8	1,5	-	2,2	2,7	-	1,7	3,8	0,5
Dbh, tall (cm)	15,4	18,9	18,1	-	-	-	22,5	16,7	-	24,0	15,5	18,7
Dbh, gran (cm)	13,9	17,2	-	16,6	18,1	-	19,6	22,4	-	21,8	18,9	8,2
Dbh, björk (cm)	-	14,6	-	11,2	-	-	13,5	24,9	-	16,8	13,8	-
Höjd, tall (m)	11,2	12,7	14,1	-	-	-	12,8	16,3	-	15,5	13,5	12,9
Höjd, gran (m)	11,9	11,0	-	12,1	11,7	-	13,4	18,9	-	15,0	15,5	5,7
Höjd, björk (m)	-	12,5	-	9,7	-	-	11,8	15,0	-	13,4	13,6	-

Beräkningsmodell för enskilda träd

Beräkningsvariabler

De variabler som angavs för provträden var trädhöjd (h) i meter (m), diameter på bark (d_{pb}) i centimeter (cm), krongränshöjd (kr) i meter (m) och önskad apterad timmertoppdiameter (d_{tt}) (10, 12 och 14 cm) (för tall och gran) utifrån de provytedata som framtagits från RT:s databas. Med hjälp av dessa indata beräknas sedan torrsubstansmängden (TS) i kilogram (kg) för okvistade träddelar per träd och trädslag (tall, gran och björk).

Funktioner och beräkningar

För att slutligen komma fram till torrsubstansmängden okvistade träddelar per träd och art användes kända funktioner från litteraturen vilka återfinns i bilaga 1, funktion 1 till 75. T.ex. bilaga 1 och funktion 1 anges i text som (B1.F1). Se bilaga 2 för förteckning av definitioner med förkortningar. Nedan följande beskrivning av beräkningar (I – VIII):

I. Då avsmalningsfunktioner baseras på dbh under bark (ub) beräknades dbh pb om till dbh ub med Jonssons (1929) barkfunktioner (B1.F1-2). Därefter beräknades formtalet (f) med Näslunds (1940) funktioner (B1.F5-7).

II. Formkvoten (F) och den relativa rotansvällningenshöjden (iv) (%) beräknades enligt Edgren och Nylinder (1949) (iv har betydelse när formel för relativ diameter väljs). Relativ brösthöjd (h_{relbh}) beräknas genom att ta brösthöjden (bh) (1,3 m) dividerat med h ; om $h_{relbh} > iv$ används formel B1.F10 för relativ diameter i bh , om inte används formel B1.F11 från Edgren och Nylinder (1949). Variabel c , vilken beskriver förhållandet mellan dbh ub och h_{relbh} , framräknas genom att ta dbh ub dividerat med h_{relbh} (Edgren & Nylinder 1949). Variabel z beräknas som $1 / c$ (Edgren & Nylinder 1949).

III. Den relativa d_{tt} beräknas som $z \times d_{tt}$. Vilken höjd som den givna d_{tt} (h_{dtt}) motsvarar på trädet beräknas genom $h \times h_{reldtt}$. Relativ d_{tt} motsvarar en relativ höjd d_{tt} (h_{reldtt}) och beräknades enligt funktioner B1.F32-46 vilka är framtagna med regressionsanalyser av tabelldata från Edgren och Nylinder (1949); val av funktion bestäms av trädets F .

IV. Volymandel under d_{tt} beräknades enligt funktioner B1.F47-75 framtagna genom regressioner av Edgren och Nylinders (1949) tabelldata; trädets F och h_{dtt} bestämmer val av formel. För varje F finns två funktioner, detta p.g.a. att trädets form är svårt att beskriva i en funktion, vilket även har beskrivits av Edgren och Nylinder (1949). Funktion B1.F47-75:I används om $h_{reldtt} > 60\%$ och funktion B1.F47-75:II används om $h_{reldtt} \leq 60\%$.

V. Total stamvolym ub ($stamvol_{ub}$) ($m^3 f_{ub}$) beräknades enligt Näslunds (1940) volymformel (B1.F12-13). Stamvolymen ovan d_{tt} beräknades som ($stamvol_{ub} - (stamvol_{ub} \times volym\ andel\ nedan\ d_{tt})$). $stamvol_{ub}$ ovan d_{tt} omvandlades sedan med hjälp av omföringstal från $m^3 f_{ub}$ till $m^3 f_{pb}$ (Sehlberg-Samuelsson m.fl. 2009) (B1.F27-28).

VI. Mängden barrbiomassa och grenbiomassa för tall och gran beräknades med Marklunds (1988) biomassafunktioner (B1.F15-20). Ingående variabler utöver träddata i funktionerna var nord-koordinat i rikets nät och SI. Biomassan ges som $kgTS$. För samtliga beräkningar

har 64 breddgraden använts vilket motsvarar en nord-koordinat av 7120 km. Total grenbiomassa beräknades som biomassan för levande grenar (B1.F15, B1.F18 och B1.F21) minus biomassafunktionen för barr (B1.F16 och B1.F19). Biomassa för döda grenar beräknades även det (Marklund 1988; B1.F17, B1.F20 och B1.F22) men används ej för fortsatta beräkningar utan angavs som ett konstant värde vid sidan om uträkningarna.

VII. Kronlängd (kl) beräknas som $h - k_{rg}$. Topplängd (tl) ovan d_{tt} beräknades genom $h - h_{dtt}$. Relativ höjd i krona för d_{tt} behövdes sedan när den relativa biomassa andelen ovan d_{tt} skulle beräknas. Relativ höjd i krona beräknades som $(kl - tl) / kl$. Relativ biomassaandel för levande grenar (m_{rel}) (B1.F23-24) och barr (mb_{rel}) beräknades sedan enl. Tahvanainen och Forss (2008) formel (B1.F25-26).

VIII. Den totala biomassan ovan d_{tt} (m_t) beräknades sedan genom att addera biomassa för levande grenar (m_{lg}) ovan d_{tt} och barrbiomassa (m_b) ovan d_{tt} . Ett villkor sattes här in i modellen för att det inte skulle bli fel om d_{tt} var lägre ner efter stammen än k_{rg} : om $k_{rg} > h_{dtt}$ så används värdet för m_t , om inte, så beräknas biomassan ovan d_{tt} som $(m_{lg} - (m_{lg} \times m_{rel})) + (m_b - (m_b \times mb_{rel}))$. Stamvolym beräknades sedan om från m^3 fpb till kgTS enligt Hakkilas (1989) omräkningstal (B1.F29-31). Slutligen lades toppvikten pb ihop med vikten grenbiomassa (inkl barr) per träd, trädslagsvis för tall, gran och björk. Resultaten anges i TS, eftersom vikten då är oberoende av fukthalt.

Den totala biomassan per träd, uppdelat på levande och döda grenar, barr och stam, har beräknats med hjälp av Marklunds (1988) biomassafunktioner (B1.F15, B1.F18, B1.F21, B1.F17, B1.F16, B1.F19, B1.F20 och B1.F22), Näslunds (1940) volymformel (B1.F12-13) och Hakkilas (1989) omräkningstal (B1.F29-31).

Beräkningar på beståndsnivå

Beräkningsvariabler

Teoretiska gallringar vilka är utförda i denna studie är likformiga och har gallrats med en gallringsstyrka på 35 % av grundytan. Timmerdelen har helt uteslutits i dessa beräkningar eftersom den är konstant när man jämför denna skötselåtgärd med traditionell gallring med massavedsuttag. I beräkningarna räknas hela biomassan från björken med. Att den långa toppen möjligen knäckkvistas, och därmed förlorar en del av grenmassan tas inte hänsyn till i detta examensarbete.

Beräkningar

Biomassaberäkningarna för enskilda träd användes sedan för beräkningar på beståndsnivå. Beräkningar utfördes enligt följande:

I modellen angavs trädslagsfördelning (%), grundyta (m^2) och gallringsstyrka (% av grundyta) för det givna beståndet. Grundyta per träd beräknas utifrån provträdsmedelvärdena trädslagsvis ($r^2\pi$). Därefter beräknades ett teoretiskt antal utgallrade stammar per ha (grundytevägt) enligt följande beräkning: (gallringsuttags grundyta / grundyta per träd) \times trädslagsandel = stamantal per trädslag. Grundytan på gallringsuttaget beräknades genom grundyta \times gallringsstyrkan. Därefter multiplicerades stamantalet per trädslag med kgTS per träd (enligt tidigare beräkningar) och beräknades om till tonTS per ha. Detta genomfördes för tall, gran och björk separat på trädnivå och på

beståndsnivå. Slutligen adderades biomassamängden (tonTS) per ha för de tre trädslagen ihop vilket gav tonTS okvistade träddelar per ha.

Totala utgallrade biomassamängder (ton TS per ha) beräknades genom att ta utgallrat stamantal multiplicerat med vikten (kg TS) biomassa per del och trädslag.

3 Resultat

Biomassautfall trädvis

Torrsubstansvikten biomassa ovan d_{tt} varierar beroende på trädslag, vilken typskog trädet står i, geografiskt läge samt vilken toppdiameter för timret man väljer (jämför tabell 11-14). Gran innehåller större biomassamängd okvistade träddelar än tall ovan timret vid alla tre kapdiametrar som räknats med i detta arbete. Ovan timmertoppdiameter 12 cm beräknas en tall bestå av mellan 11 och 13 kg TS okvistade träddelar i kustlandet och mellan 12 och 15 kg TS i lappmarken beroende på vilken typskog den vuxit i. I kustlandet har tallen mest okvistade träddelar i tallskogen medan i lappmarken har den största biomassan om den står i en granskog. En gran beräknas innehålla 20 till 24 kg TS okvistade träddelar i kustlandet och mellan 18 och 22 kg TS i lappmarken. Högsta vikten för gran i kustlandet och lappmark är om den stått i tallskogen. Dock marginellt i lappmarken då det inte skiljer mycket mot om den stått i en granskog. Variabler för träden som använts i beräkningarna för de olika skogarna finns redovisade i tabell 2. Vikten (kg TS/träd) okvistade träddelar för tall och gran i respektive typskog och region redovisas i tabell 11-14. Björkens volymfördelning skiljer sig mellan typskogarna vilket även det redovisas i tabell 11-14. I tabell 7-10 redovisas den totala biomassan för träden i de fyra typskogarna. Biomassan per träd är lägst i en granskog i lappland medan den är högst i en blandskog i kustlandet.

Tabell 7: Total avverkningsbar mängd biomassa (TS), fördelat på trädkomponenter ovan mark, per träd och ha vid ett gallringsuttag av 35% av grundytan fördelat på tall, gran och björk stående i tallskog och granskog belägna i Västerbottens kustland

Table 7: Total harvestable biomass (dry matter), divided into components above ground, per tree and hectare (thinning strength 35% of basal area) divided into pine, spruce and birch standing in pine and spruce forest located in the Västerbotten coast

Region	Västerbottens kustland											
	tallskog						granskog					
Typskog	tall		gran		björk		tall		gran		björk	
Trädslag	kg/träd	ton/ha	kg/träd	ton/ha	kg/träd	ton/ha	kg/träd	ton/ha	kg/träd	ton/ha	kg/träd	ton/ha
Levande grenbiomassa	18,85	4,80	17,49	1,21	8,65	0,42	64,94	0,35	33,63	8,70	12,01	1,57
Stamved	67,91	17,29	19,22	1,33	28,38	1,36	209,21	1,13	44,08	11,40	39,07	5,12
Barrbiomassa	6,16	1,57	13,05	0,90	-	-	15,40	0,08	18,97	4,91	-	-
Död grenbiomassa	3,31	0,84	1,05	0,07	0,62	0,03	6,75	0,04	2,28	0,59	0,78	0,10
Total biomassa	96,22	24,50	50,82	3,51	37,65	1,81	296,29	1,60	98,96	25,60	51,86	6,79

Tabell 8: Total avverkningsbar mängd biomassa (TS), fördelat på trädkomponenter ovan mark, per träd och ha vid ett gallringsuttag av 35% av grundytan fördelat på tall, gran och björk stående i barrskog och blandskog belägna i Västerbottens kustland

Table 8: Total harvestable biomass (dry matter), divided into components above ground, per tree and hectare (thinning strength 35% of basal area) divided into pine, spruce and birch standing in coniferous and mixed forest located in the Västerbotten coast

Region	Västerbottens kustland											
	barrskog						blandskog					
Typskog	tall		gran		björk		tall		gran		björk	
Trädslag	kg/träd	ton/ha	kg/träd	ton/ha	kg/träd	ton/ha	kg/träd	ton/ha	kg/träd	ton/ha	kg/träd	ton/ha
Levande grenbiomassa	23,97	2,38	17,65	2,76	22,41	1,76	22,16	0,85	18,16	3,23	29,86	5,26
Stamved	99,42	9,88	32,84	5,13	75,50	5,94	76,68	2,92	32,41	5,77	98,28	17,31
Barrbiomassa	7,28	0,72	13,05	2,04	-	-	6,83	0,26	13,64	2,43	-	-
Död grenbiomassa	4,18	0,42	1,90	0,30	1,12	0,09	3,62	0,14	1,81	0,32	1,45	0,26
Total biomassa	134,86	13,40	65,44	10,23	99,03	7,79	109,29	4,17	66,02	11,75	129,59	22,82

Tabell 9: Total avverkningsbar mängd biomassa (TS), fördelat på trädkomponenter ovan mark, per träd och ha vid ett gallringsuttag av 35% av grundytan fördelat på tall, gran och björk stående i tallskog och granskog belägna i Västerbottens lappmark

Table 9: Total harvestable biomass (dry matter), divided into components above ground, per tree and hectare (thinning strength 35% of basal area) divided into pine, spruce and birch standing in pine and spruce forest located in the Västerbotten Lapland

Region	Västerbottens lappmark											
	tallskog						granskog					
Typskog	tall		gran		björk		tall		gran		björk	
Trädslag	kg/träd	ton/ha	kg/träd	ton/ha	kg/träd	ton/ha	kg/träd	ton/ha	kg/träd	ton/ha	kg/träd	ton/ha
TS	16,31	5,08	19,19	0,45	15,72	0,96	-	-	18,96	7,04	8,09	1,03
Levande grenbiomassa	42,24	13,17	20,00	0,46	47,82	2,93	-	-	24,98	9,27	22,47	2,85
Stamved	5,67	1,77	14,30	0,33	-	-	-	-	13,07	4,85	-	-
Barrbiomassa	2,45	0,76	1,03	0,02	1,01	0,06	-	-	1,54	0,57	0,65	0,08
Död grenbiomassa	66,67	20,78	54,52	1,27	64,55	3,95	-	-	58,54	21,73	31,21	3,97
Total biomassa												

Tabell 10: Total avverkningsbar mängd biomassa (TS), fördelat på trädkomponenter ovan mark, per träd och ha vid ett gallringsuttag av 35% av grundytan fördelat på tall, gran och björk stående i barrskog och blandskog belägna i Västerbottens lappmark

Table 10: Total harvestable biomass (dry matter), divided into components above ground, per tree and hectare (thinning strength 35% of basal area) divided into pine, spruce and birch standing in coniferous and mixed forest located in the Västerbotten Lapland

Region	Västerbottens lappmark											
	barrskog						blandskog					
Typskog	tall		gran		björk		tall		gran		björk	
Trädslag	kg/träd	ton/ha	kg/träd	ton/ha	kg/träd	ton/ha	kg/träd	ton/ha	kg/träd	ton/ha	kg/träd	ton/ha
TS	24,15	2,30	29,67	2,59	25,68	2,57	16,34	1,19	27,54	2,81	14,68	4,55
Levande grenbiomassa	65,24	6,22	53,87	4,71	73,59	7,37	51,74	3,78	44,86	4,58	49,59	15,36
Stamved	7,43	0,71	21,75	1,90	-	-	5,56	0,41	19,56	2,00	-	-
Barrbiomassa	3,31	0,32	2,14	0,19	1,60	0,16	2,79	0,20	1,95	0,20	0,84	0,26
Död grenbiomassa	100,12	9,54	107,42	9,38	100,87	10,10	76,42	5,59	93,91	9,60	65,12	20,16
Total biomassa												

Tabell 11: Beräknat kg TS okvistade träddelar per träd för tall, gran och björk stående i tallskog och granskog belägna i Västerbottens kustland
Table 11: Estimated kg dry matter non delimbed tree parts per tree for pine, spruce and birch standing in pine and spruce forest located in the Västerbotten coast

Region	Västerbottens kustland													
	tallskog							granskog						
	tall			gran			björk	tall			gran			björk
Typskog														
Trädslag														
d _{tt} (cm)	10	12	14	10	12	14	-	10	12	14	10	12	14	-
Barrbiomassa (kgTS/träd)	3,13	3,08	4,27	6,38	9,32	12,00	-	1,89	2,48	3,17	5,78	7,79	10,16	-
Lev. grenbiomassa (kgTS/träd)	4,52	6,86	10,21	6,54	10,20	14,74	8,65	5,16	6,83	8,88	7,53	10,36	13,92	12,01
Stamved (kgTS/träd)	1,62	3,20	5,66	2,10	4,04	8,75	28,38	0,95	1,63	2,79	0,08	2,04	3,49	39,07
Totalt (kgTS/träd)	9,27	13,14	20,14	15,02	23,92	35,49	37,03	8,00	10,94	14,84	13,39	20,19	27,57	51,08

Tabell 12: Beräknat kg TS okvistade träddelar per träd för tall, gran och björk stående i barrskog och blandskog belägna i Västerbottens kustland
Table 12: Estimated kg dry matter non delimbed tree parts per tree for pine, spruce and birch standing in coniferous and mixed forest located in the Västerbotten coast

Region	Västerbottens kustland													
	barrskog							blandskog						
	tall			gran			björk	tall			gran			björk
Typskog														
Trädslag														
d _{tt} (cm)	10	12	14	10	12	14	-	10	12	14	10	12	14	-
Barrbiomassa (kgTS/träd)	2,1	2,97	4,08	5,87	8,41	11,15	-	2,11	3,01	4,16	5,85	8,39	11,25	-
Lev. grenbiomassa (kgTS/träd)	4,72	6,90	9,97	6,01	9,07	13,13	22,41	4,69	6,96	10,20	5,87	8,83	12,84	29,86
Stamved (kgTS/träd)	1,46	2,88	5,13	2,31	4,71	8,63	75,50	1,41	2,78	4,93	2,19	4,50	8,11	98,28
Totalt (kgTS/träd)	8,28	12,75	19,18	14,19	22,19	32,91	97,91	8,21	12,75	19,29	13,91	21,72	32,2	128,14

Tabell 13 Beräknat kgTS okvistade träddelar per träd för tall, gran och björk stående i tallskog och granskog belägna i Västerbottens lappmark
Table 13: Estimated kg dry matter non delimbed tree parts per tree for pine, spruce and birch standing in pine and spruce forest located in the Västerbotten Lapland

Region	Västerbottens lappmark													
	tallskog							granskog						
	tall			gran			björk	tall			gran			björk
Trädslag	10	12	14	10	12	14	-	10	12	14	10	12	14	-
d_{tt} (cm)	10	12	14	10	12	14	-	10	12	14	10	12	14	-
Barrbiomassa (kgTS/träd)	2,12	3,14	4,37	6,41	8,92	11,57	-	2,46	3,36	3,67	6,13	8,43	10,78	-
Lev. grenbiomassa (kgTS/träd)	4,26	6,69	10,2	6,51	9,48	13,21	15,72	5,39	8,35	10,12	6,76	9,75	13,4	8,09
Stamved (kgTS/träd)	1,60	3,15	5,52	1,67	3,24	5,74	47,82	1,64	3,21	5,61	1,59	3,26	5,28	22,47
Totalt (kgTS/träd)	7,98	12,98	20,09	14,59	21,64	30,52	63,54	9,49	14,92	19,4	14,48	21,44	29,46	30,56

Tabell 14: Beräknat kgTS okvistade träddelar per träd för tall, gran och björk stående i barrskog och blandskog belägna i Västerbottens lappmark
Table 14: Estimated kg dry matter non delimbed tree parts per tree for pine, spruce and birch standing in coniferous and mixed forest located in the Västerbotten Lapland

Region	Västerbottens lappmark													
	barrskog							blandskog						
	tall			gran			björk	tall			gran			björk
Trädslag	10	12	14	10	12	14	-	10	12	14	10	12	14	-
d_{tt} (cm)	10	12	14	10	12	14	-	10	12	14	10	12	14	-
Barrbiomassa (kgTS/träd)	2,04	2,91	4,05	5,54	7,58	10,20	-	2,16	3,17	4,36	5,57	7,70	10,46	-
Lev. grenbiomassa (kgTS/träd)	4,49	6,64	9,71	5,51	7,67	10,59	25,68	4,45	6,93	10,43	5,74	8,11	11,39	14,68
Stamved (kgTS/träd)	1,28	2,53	4,49	1,59	3,08	5,35	73,59	1,67	3,29	5,78	1,59	3,09	5,35	49,59
Totalt (kgTS/träd)	7,81	12,08	18,25	12,64	18,33	26,14	99,27	8,28	13,39	20,57	12,9	18,90	27,2	64,27

Biomassautfall beståndsvis

Tabell 15 och 16 beskriver beräknat utfall (tonTS/ha) från de fyra typskogarna (beskrivna i tabell 3 och 4) i de två regionerna aptrat med tre timmertoppdiametrar (d_{tt}); 10, 12 och 14 cm. Döda grenvikten är högst i tallskogen i bägge regionerna och redovisas i tabell 17. Den totala utgallrade biomassan finns redovisade i tabell 7-10. Björkandelen för varje typskog redovisas i tabell 15 och 16.

Tabell 15: Beräknat antal ton TS okvistade träddeklar per ha vid tre olika timmertoppdiametrar; 10,12 och 14 cm för fyra typskogar; tallskog, granskog, barrskog och blandskog belägna i Västerbottens kustland

Table 15: Calculated tonnes dry matter non delimbed tree parts per hectare in the four forest types; pine, spruce, coniferous and mixed forests located in the Västerbotten coast. Valid for three different top diameters for sawlogs, 10, 12 and 14 cm

Region	Västerbotten kustland											
	tallskog			granskog			barrskog			blandskog		
Timmertoppdiameter (cm)	10	12	14	10	12	14	10	12	14	10	12	14
Barrbiomassa (tonTS/ha)	0,98	1,43	1,92	1,51	2,03	2,65	0,71	1,02	1,36	1,12	1,61	2,16
Lev. grenbiomassa (tonTS/ha)	2,02	2,87	4,03	3,55	4,29	6,00	2,01	2,45	3,04	6,48	7,10	7,93
Stamved (tonTS/ha)	1,92	2,48	4,41	5,40	5,65	6,04	4,08	4,41	4,94	17,75	18,22	18,94
Total biomassa (tonTS/ha)	4,92	6,78	10,36	10,46	11,97	14,69	6,8	7,88	9,34	25,35	26,93	29,03
Björkandel (tonTS/ha)	1,78	1,78	1,78	6,69	6,69	6,69	4,88	4,88	4,88	22,57	22,57	22,57
Björkandel (% av biomassa)	36	26	17	64	56	46	72	62	52	89	84	78

Tabell 16: Beräknat antal ton TS okvistade träddeklar per ha vid tre olika timmertoppdiametrar; 10,12 och 14 cm för fyra typskogar; tallskog, granskog, barrskog och blandskog belägna i Västerbottens lappmark

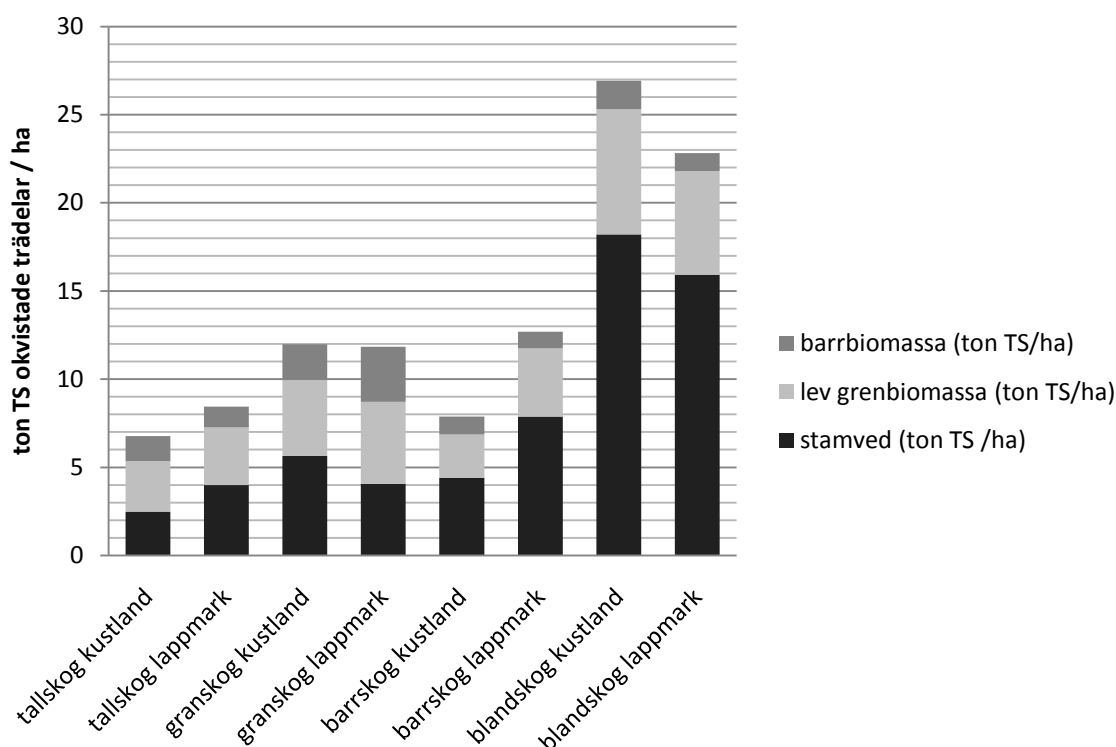
Table 16: Calculated tonnes dry matter non delimbed tree parts per hectare in the four forest types; pine, spruce, coniferous and mixed forests located in the Västerbotten Lapland. Valid for three different top diameters for sawlogs, 10, 12 and 14 cm

Region	Västerbotten lappmark											
	tallskog			granskog			barrskog			blandskog		
Timmertoppdiameter (cm)	10	12	14	10	12	14	10	12	14	10	12	14
Barrbiomassa (tonTS/ha)	0,81	1,19	1,63	2,27	3,13	4,00	0,68	0,94	1,28	0,73	1,02	1,39
Lev. grenbiomassa (tonTS/ha)	2,44	3,27	4,45	3,54	4,65	5,22	3,48	3,87	4,42	5,46	5,88	6,47
Stamved (tonTS/ha)	3,47	3,99	4,78	4,45	4,07	4,82	7,63	7,88	8,26	15,6	15,91	16,33
Total biomassa (tonTS/ha)	6,72	8,45	10,86	10,26	11,85	14,04	11,8	12,7	14,00	21,79	22,81	24,19
Björkandel (tonTS/ha)	3,89	3,89	3,89	3,88	3,88	3,88	9,94	9,94	9,94	19,90	19,90	19,90
Björkandel (% av biomassa)	58	46	36	38	33	28	84	78	71	91	87	82

Tabell 17: Ton TS döda grenar per ha
Table 17: Tonnes dry matter dead branches per hectare

	Västerbottens kustland	Västerbottens lappmark
Tallskog	0,94	0,85
Granskog	0,73	0,65
Barrskog	0,51	0,66
Blandskog	0,71	0,66

I figur 3 visas en jämförelse mellan de fyra skogstyperna apterat med d_{tt} 12 cm.



Figur 3: Jämförelse mellan de fyra typskogarna vid d_{tt} 12 cm. Utfall av okvistade träddelar (ton TS per ha) vid energianpassad gallring.

Figure 3: Comparison between the four forest types at d_{tt} 12 cm. Outcome of non delimited tree parts (t dry matter/hectare) at the energy-suited thinning.

Blandskogen i kustlandet ger vid aptering d_{tt} 12 cm det största uttaget av dessa typskogar, 26,9 ton TS/ha vilket är ungefär dubbelt så mycket som barrskog i lappmarken och granskog som ger det näst största uttaget. Näst bäst lämpad är blandskogen i lappmarken som ger ett något lägre utfall än i kustlandet, 22,8 ton TS/ha. Granskogen i kustland och lappmark skiljer sig obetydligt vad gäller mängd vid aptering av 12 cm toppdiameter för timret. Betydligt mer skiljer dem åt vid 10 och 14 cm toppdiameter för timret; ungefär 1 ton TS/ha. Träddelarna i granskogen i kustlandet består dock till en större del stamved. Barrskogen skiljer sig mellan kust och lappmark. I lappmarken är den 61 % högre än i kustlandet när skogen apterats till d_{tt} 12 cm. Lägst utfall har tallskog i bägge regionerna och barrskog i kustlandet. Det finns ett klart samband mellan hög björkandel och högt uttag vid energianpassad gallring utan massaved (se tabell 15 och 16).

4 Diskussion

Kronbiomassans fördelning

Denna studie visar att den vertikala fördelningen av biomassa och stamform skiljer sig mellan trädslag och inom trädslag. Växtplats samt hur slutet beståndet är verkar påverka hur stor biomassa som finns ovan toppskäret för timret hos tall och gran i Västerbotten, och med största sannolikhet även i resten av Sverige. Larson (1963) beskriver att stamformens olika form beror på ärvda tillväxtmönster men även på miljöfaktorer samt skogsbruksåtgärder. Störst inverkan menar Larson att storlek och fördelning av grön krona har på stamformen. Detta går i samma linje som denna studie. Även Lehtikangas (1999) beskriver att trädets biomassa beror av bland annat bonitet och klimat samt Tahvanainen och Forss (2008) beskriver hur kronans längd och krongränshöjden beror av beståndets grundtyta. Xu och Harrington (1998) beskriver att barrbiomassan hos loblollytall (*Pinus taeda*) flyttas uppåt och utåt i trädets krona när konkurrensen om ljuset ökar och trädet blir undertryckt. Mäkelä och Vanninen (2001) beskriver att tallens krona endast lite beror av förhållandet mellan träden. Undertryckta träd tenderar att ha en större del av barrbiomassan på de övre delarna men skillnaderna mot dominerande träd är små.

Detta styrker att två träd av samma trädslag med identiska mått, och endast varierad krongränshöjd, i denna studie visat att en högre krongränshöjd ger en mer sammansatt krona vilket leder till större biomassa ovan timmertoppskäret. En lägre krongränshöjd kan därmed innebära att kronan är utglesad vilket skulle medföra att man får med sig mindre del av grenar och barr ur skogen vid energianpassad gallring. Detta är resultatet av de befintliga formler och funktioner som använts och finns redovisade i bilaga 1 och kan således även vara så att funktionerna ger en felaktig bild av verkligheten.

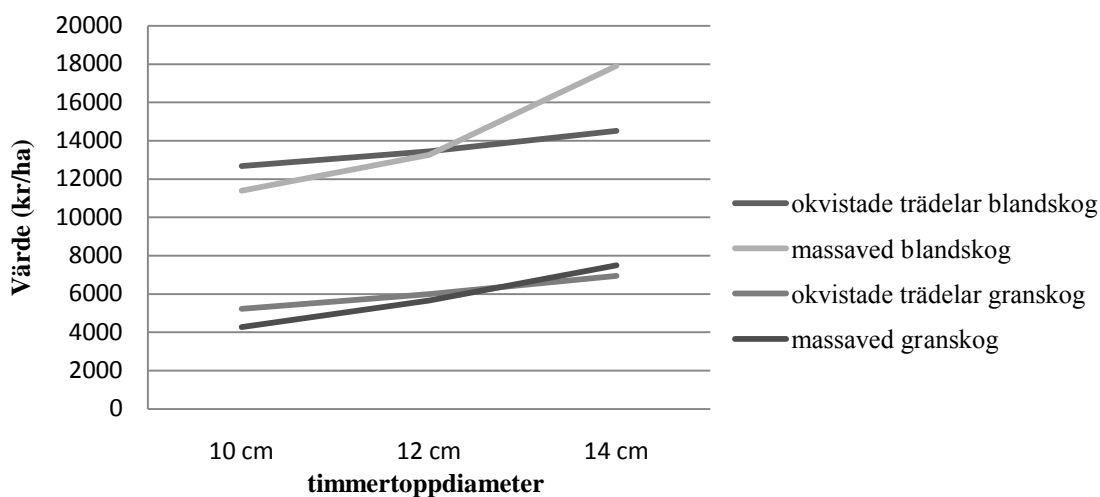
Praktisk nytta av resultaten

Vilka bestånd som är lämpliga att gallra energianpassat styrs av priset på okvistade träddeklar och massaved, dvs. förhållandet dem emellan. Även timmerpriser påverkar och hur krent timmer som efterfrågas. Framtida maskinutveckling och andra användningsområden för skogen kan även det påverka lönsamhet och lämplighet för denna metod. Med dessa uppgifter kan beslutsfattare räkna vidare med dagsaktuella priser, jämföra med andra gallringsmetoder och ta beslut.

Vid beräkning av utfallet vid en energianpassad gallring efter denna modell ger björkandelen stort utslag. Detta eftersom ingen massaved har valts att apteras går hela björkvolymen till bibränslesortimentet okvistade träddeklar. Skulle man istället valt att kunna aptera rundvedssortiment även av björken efter valfri toppdiameter hade variationerna med beräkningsmodellen ökat och betydligt förbättras samt att resultaten i rapporten hade blivit mer allmängiltigt. På grund av detta redovisas björkandelen i de beståndsvisa resultaten (tabell 15-16). Björkandelen sjunker i resultaten, desto lägre ner på stammen som timret apteras, eftersom björkbiomassan är konstant för de tre kapdiametrar medans biomassan från tall och gran ökar.

Kan tänkas att framtida prisbilder tillåter ett visst lövmassauttag i energianpassad gallring vid ekonomiskt optimal aptering. Prisförhållandet mellan löv och barrmassaved samt dessa gentemot biobränsle kan tänkas påverka utfall, samt även eventuella prisskillnader inom bioenergisortimenten. Idag framhålls kvalitetsskillnader inom biobränslen (Lehtikangas 1999) vilket kan leda till bättre betalningsförmåga för vissa bränslen framöver. Kvalitet beror av bl.a. olika värmevärde i olika delar av träden och olika träslag (Lehtikangas 1999). Detta gör att fördelningen mellan stamved, grenar och barr är intressant. Kanske kan det styra framtida prissättning på bränsle. Barken tillhör i denna studie stamveden men hade varit bar att kunna utskilja för vidare beräkningar.

För att belysa hur priset på respektive massaved, okvistade träddelar och hur grovt timmer som apteras påverkar det ekonomiska resultatet utfördes följande räkneexempel: för två typskogar; granskog och blandskog i Västerbottens kustland; med dagens priser, 250 kr/råton okvistade träddelar (Anon. 2010b) och 350 kr/m³ fub massaved (Anon. 2010c). Omräkningstal för ”träddelar, obearbetad, färsk”: 1 ton TS = 2 råton (ca. 50% fukthalt) (Larsson & Nylinder 2010). Massavedutbytet är beräknat med utbytestabeller för rotstående skog i norra Sverige (Cernhold 1981). Räkneexemplen visar att lönsamheten i gallring med LT-metod i jämförelse med traditionellt massavedsuttag beror på timmertoppdiametern. Apteras timret ned till 10 eller 12 cm toppdiameter ger utfallet från gallring med LT-metod ett högre värde vid dagens prisbild i dessa två typskogar (Fig. 4). Vid 14 cm timmertopp ger massaveden ett större värde i dessa två exempel. Brytningspunkten i dessa två exempel går vid 12 respektive 13 cm timmertoppdiameter (Fig. 4).



Figur 4: Värde (kr/ha) på utfall från gallring i blandskog och granskog, Västerbottens kustland, vid dagens priser. Jämförelse mellan två gallringsmetoder; konventionell metod med massaved och LT-metod med okvistade träddelar, vid olika timmertoppdiametrar.

Figure 4: Value (SEK/ha) of the outcome of thinning of mixed forest and spruce forest, Västerbotten coast, at today prices. Comparison of two thinning methods: conventional method of pulpwood and the LT-method with non delimbed tree parts, at different timber diameters.

Skulle priset på okvistade träddelar öka med t.ex. 15 % skulle det bli lönsammare med energianpassad gallring oavsett vilken toppdiameter som apteras på timret. Motsatt effekt skulle råda om massavedspriserna istället skulle höjas.

Räkneexemplen gäller om hela den tillgängliga mängden okvistade träddelar tas ut ur skogen inkl. barr och alla grenar. Samtliga resultat i denna studie visar den tillgängliga biomassan i ett specifikt bestånd.

Beräkningsmodellen skulle kunna ökas med flertalet indata och resultat. Bland annat skulle man kunna ange hur stor biomassaandel (%) som blir kvar i skogen, vilket skulle vara intressant bland annat vid fråga om utarmning av skogsmark. Man skulle även kunna fylla i beräknat bortfall (%) av de olika träddelarna. Hur stor del av barren som faller av om träddelarna ligger på avlägg en tid, hur stor del av grenarna som faller bort vid eventuell knäckkvistning o.s.v. Även en direkt jämförelse mellan energi och massavedsuttag i ett specifikt bestånd skulle utöka den direkta användningen av modellen.

Beräkningsverktyg i Excel

I detta arbete implementerades beräkningsmodellen i Microsoft Excel (Microsoft Office Excel 2007). I bilaga 4 visas en ”skärmdump” av ett ”kalkylark” från verktyget. Beräkningsverktyget användes för alla resultatberäkningar.

Studiens begränsningar

Resultaten i rapporten är giltiga för de typskogar som är beskrivna. Det är medelvärden av verkliga skogar som resultaten beräknats på men vid beslutsfattande bör man göra en uträkning med de bestandsvariabler som gäller i rådande bestånd. Resultat som redovisas är beräknade med ett gallringuttag på 35 % av grundytan. Detta påverkar naturligtvis resultatet, tar man ut större del av grundytan så ökar även uttaget okvistade träddelar o.s.v. De simulerade gallringarna är även likformiga, d.v.s. att de träd som tagits ut är lik de som står kvar. Skulle man istället utföra hög eller låggallring skulle resultatet bli annorlunda.

Vid urvalsprocessen togs ett för litet material ut från RTs databas. Den senaste femårsperiodens ytor blev för få efter det urval som gjordes. Tanken var att kunna redovisa beräknade utfall från energianpassade gallringar vid tre bonitetsklasser för varje typskog regionvis. Men ytornas knappa antal (tabell 3-6) resulterade i alltför få provträd vilket medförde att dessa beräkningar inte utfördes. Endast ett exempel (Fig. 5) beräknades där förhållandevis många ytor fanns. Hade ett större urval gjorts ur RTs databas hade denna studie fått en större tyngd och beräkningarna på bonitetsnivå hade kunnat utföras. Nu användes endast data från de senaste fem åren. Desto fler års inventerade uppgifter som använts hade styrkt rapportens slutsatser och resultat. De provytor vilka inte lämpade sig utifrån skogsstyrelsens rekommendationer (Anon. 2010d) eller av andra anledningar sorterades i ett tidigt stadium bort, t.ex. delade ytor, eftersom variabler tillhörande dessa kan bli missvisande i denna typ av studie (Lundström 2010, pers. komm.). Ytor med röjning som nästa föreslagna åtgärd togs även de bort eftersom de ansågs vara för klena. Studien var begränsad till att omfatta klentimmerbestånd och grövre och därav beräknades vilken medel dbh som behövs för att aptera fram en klentimmerstock. Minsta toppdiameter på klentimmer är idag 10 cm (Törnqvist 2006). Enligt Cernhold (1981) krävs minst 12 cm i dbh för att få ut en stock med toppdiameter 10 cm ub och därmed togs klenare bestånd bort.

När ytor med gallringsbehov sorterades ut bland riksskogstaxeringens data användes ytornas medelhöjd i stället för övre höjd. Detta eftersom övre höjden inte fanns tillgänglig.

Resultatet av det blev att fler ytor sorterades ut, några som traditionellt sett inte skulle anses ha gallringsbehov följde med. Detta kan ha påverkat resultaten på så vis att utfallet (tonTS/ha) vid de simulerade gallringarna blivit lägre eftersom bestånd med lägre höjd och grundyta (och därmed lägre volymer) kommit med. Anledningen till att inte det av RT föreslagna åtgärdsförslaget användes för att sortera ut ytor med gallringsbehov var att dessa förslag gällde hela beståndet provytan tillhörde. I den här studien var det intressant att känna till trädens utseende vid rådande förhållanden på provytan.

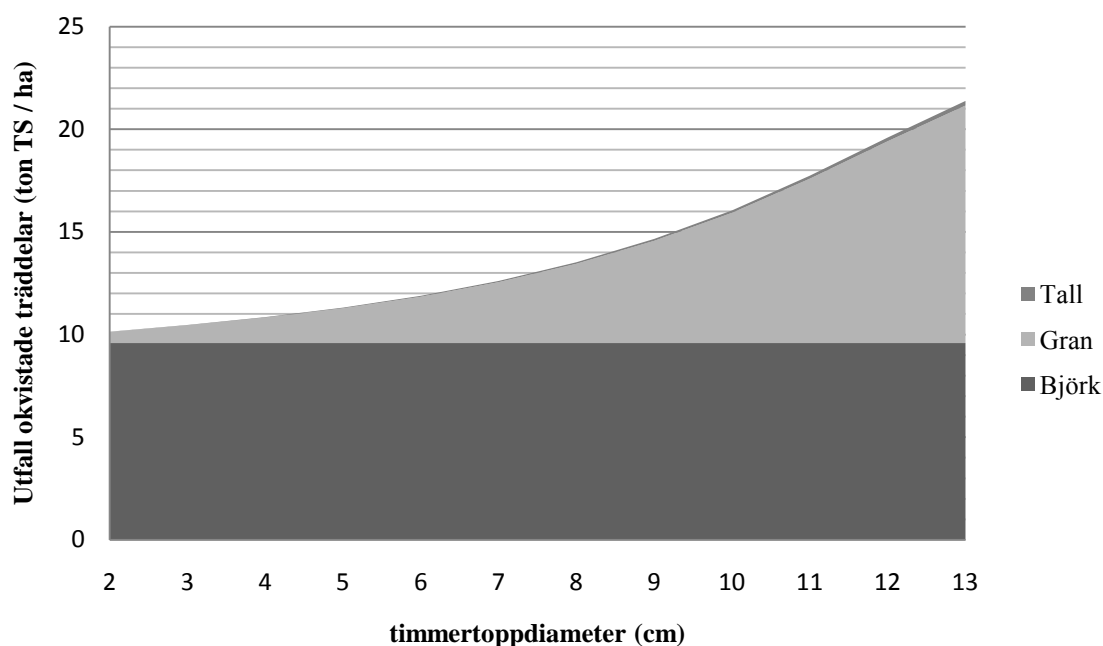
Funktionerna som beskriver den vertikala biomassa fördelningen för tall, gran och björk är utformad för södra Finland (Tahvanainen & Forss 2008) men är dock de bästa som finns i dagsläget. I Sverige finns idag inga insamlade träddata som beskriver hur grenar och barr fördelar sig vertikalt inom kronan. Därmed finns inget material att tillverka formler av vilket efterfrågas. Funktioner som beskriver den vertikala biomassa fördelningen efterfrågas även för contortatall (Gardmo 2007) där det idag inte finns någon funktion alls för dessa skattningar.

Torrkvisten räknas inte med i denna modell men redovisas separat. Anledningen är att en torrkvistgräns skulle behövas. Vanligtvis mäts inte den i det svenska skogsbruket. De torra kvistarna kan dessutom tänkas falla av vid avverkning och eventuell knäckkvistning av de långa topparna. Men de är likafullt intressanta då de blir kvar i skogen vid kalkyler rörande hur stor biomassa man kan ta ut och samtidigt bruka skogen långsiktigt. Finländsk formel finns som även beräknar den vertikala fördelningen av torra kvistar för tall, gran och björk (Tahvanainen & Forss 2008).

När man beräknar med flertalet funktioner och omvandlar mellan enheter finns hela tiden risken att man tappar noggrannhet i beräkningarna. Risk för avvikelser från verkliga värden finns i alla funktioner. Rangordningen typskogarna emellan borde dock stämma bättre än de exakta värdena.

Utfall på bonitetsnivå

Figur 5 visar mängden okvistade träddeklar som faller ut för tall, gran och björk i en granskog av medelbonitet i kustlandet vid olika timmertoppdiametrar, 2-13 cm. I grunden (det mörka fältet) finns en viss mängd björk som är oberoende av vilka dimensioner som apteras på timret. Sedan läggs de okvistade topparnas massa på. Endast en liten del av beståndet bestod av tall och därav det näst intill obefintliga tallfältet i figuren. Kurvan är svagt exponentiell.



Figur 5: Utfall av okvistade träddelar i granskog i kustland med medelbonitet med LT-metoden som funktion av timmertoppdiametern.

Figure 5: Outcome of non delimited tree parts in Spruce forest in the coastal country with a medium site productivity class. Given as a function of top diameters of round wood.

Kvarstående frågor/framtida studier

Troligen finns skillnader mellan Västerbottens län och andra delar av Sverige som skulle vara intressanta att studera. RT har skogsdata för alla regioner och med hjälp av Excel-modellen eller liknande modell skulle även övriga län kunna studeras.

En funktion gällande den vertikala fördelningen av gren och barrbiomassa, lik den finska funktionen (Tahvanainen & Forss 2008), för svenska förhållanden efterfrågas och skulle behövas för att kunna skatta utfallen från energianpassade gallringar på ett bättre sätt.

En sekundär funktion skulle vara möjlig att tillverka som förlängning av detta arbete. Detta skulle vara en bra tillämpning och göra det möjligt att använda resultatet av rapporten i det dagliga arbetet på ett smidigare sätt. För framtagande av den sekundära funktionen kan beräkningsverktyget i Excel användas. Flertalet (minst hundratals) beräkningar måste göras, variabler ändras efter uppsatt system. Varje serie av beräkningar innehåller ett konstant värde. Sedan analyseras värdena genom regression för att skapa funktioner (Holm 2010 pers. komm.).

Slutsatser

- Det framtagna beslutsunderlaget visar rangordningen för denna gallringsmetod i fyra typskogar. Högsta utfallet först; 1) blandskog, 2) granskog, 3) barrskog, 4) tallskog.
- Vid energianpassad gallring kan man i Västerbotten räkna med ett utfall på mellan 4,9 och 29 ton TS okvistade trädelar/ha utöver timmeruttag beroende på bl.a. trädslagsblandning, typskog, timmertoppdiamter samt geografiskt läge. I blandskogen i kustlandet är utfallet mellan 25 och 29 tonTS/ha och i lappmark mellan 22 och 24 tonTS/ha beroende på timmertoppdiameter.
- Hög björkandel ger stort utslag. Blandskogen har en björkandel på mellan 78-91% beroende på timmertoppdiametern. De flesta andra typskogarna har betydligt lägre björkandel.
- Vissa typskogar uppvisar skillnader mellan kustland och lappmark. Störst procentuell skillnad mellan regionerna finnes i tall och barrskog vilka ger ungefär 30% lägre utfall okvistade träddelar om de är belägna i kustlandet. Blandskogen ger ett högre utfall i kustlandet medan granskogens utfall inte skiljer sig mycket mellan de två regionerna.
- Gran har en större mängd okvistade träddelar per träd än tall. Cirka 40% mer för i princip alla typskogar i bägge regionerna oberoende av timmertoppdiameter. Undantaget är de fyra typskogarna i lappmark när timret apteras med 14 cm toppdiameter. Dessa granar innehåller knappt 30% mer okvistade träddelar.
- För ytterligare noggrannhet i rådande uträkningar på bonitetsnivå måste ett större material användas.
- Denna rapport kan användas som ett beslutsunderlag vid gallring med LT-metoden. Den visar vilka bestånd som är mest lämpliga för denna metod av gallring samt ungefär hur stort utfall per ha man kan räkna med för ett specifikt bestånd.

5 Referenser

- Agestam, E. 2009. Gallring. Skogsskötselserien nr. 7. Skogsstyrelsen, Skogsindustrierna, SLU, LRF Skogsägarna. Skogsstyrelsens förlag 2009.
- Anon. 1994. Skogsordlista. Tekniska nomenklaturcentralen och Sveriges Skogsvåringsförbund, Solna. TNC 96.
- Anon. 2007. EU-kommissionen 2007; Hemsida. [online] (2007) Tillgänglig: http://ec.europa.eu/environment/climat/climate_action.htm [2010-09-01]
- Anon. 2008. Skogliga konsekvensanalyser 2008. SKA-VB 08. Rapport 25. Skogsstyrelsen. ISSN 1100-0295.
- Anon. 2009. Skogsstatistisk årsbok 2009. Sveriges officiella statistik. Skogsstyrelsen. Tabergs Tryckeri AB 2009. ISSN-0491-7847.
- Anon. 2010a. Skogsdata 2010. Sveriges officiella statistik. Institutionen för skoglig resurshushållning, SLU. Umeå 2010. ISSN 0280-0543.
- Anon 2010b. Prislista 2010-04-05. Skellefteå Kraft AB, 2010.
- Anon. 2010c. Virkesprislista Skellefteå Virkespriser fr.o.m. 2010-09-01. Prislista 158-12. Norra Skogsägarna 2010.
- Anon. 2010d. Kunskap Direkt. Skogforsk, LRF Skogsägarna, Skogsstyrelsen. Hemsida.[online](2010-05-28) Tillgänglig: <http://www.skogforsk.se/sv/KunskapDirekt/skogsbransle/> [2010-09-10]
- Anon. 2010e. Fältinstruktion 2010. Riksinventeringen av skog. Institutionen för skoglig resurshushållning, Umeå och institutionen för mark och miljö, Uppsala.
- Anon. 2010f. Energiläget 2010. Statens energimyndighet. ET 2010:45. CM Gruppen AB 2010.
- Anon. 2010g. FLISavFLIS. Dataprogram. Version 1.1.1.0. Skogforsk 2010.
- Anon. 2010h. Skogsvårdslagstiftningen Gällande regler 1 september 2010. Skogsstyrelsen. ISBN 978-91-88462-88-6.
- Berndes, G & Magnusson, L. 2006. The future of bioenergy in Sweden – Background and summary of outstanding issues. Energimyndigheten. Rapport 30. ER 2006:30.
- Cernold, Å. 1981. Utbytstabeller för rotstående skog Norra Sverige. 5:e upplagan. Centrala Sägverkeriföreningen. Falun.

- Danielsson, B-O & Liss J-E. 2004. Långa toppar. Institutionen för Matematik, naturvetenskap och teknik, Högskolan Dalarna. Projekt Biovärme-UWX Delrapport nr 5. Arbetsdokument 2, 2005. Garpenberg.
- Edgren, V & Nylinder, P. 1949. Funktioner och tabeller för bestämning av avsmalning och formkvot under bark. Tall och gran i norra och södra Sverige. Meddelande från statens skogsforskningsinstitut. Band 38, nr 5.
- Gardmo, F. 2007. Uttag av energisortiment vid gallring av contorta, ett komplement till konventionellgallring? Examensarbeten 2007:14 Institutionen för skogens ekologi och skötsel, Sveriges Lantbruksuniversitet. Umeå. ISSN 1654-1898.
- Hakkila, P. 1989. Utilization of residual forest biomass. Springer Series in Wood Science. Springer-Verlag Berlin 1989. ISBN 3-540-50299-8.
- Hellsten, S., Akselsson, S., Olsson, B., Belyazid, S. & Zetterberg, T. 2008. Göteborg. Effekter av skogsbränsleuttag på markförurning, näringsbalanser och tillväxt. IVL Svenska Miljöinstitutet. IVL rapport B1798.
- Holm, S. 2010. Institutionen för skoglig resurshushållning, Sveriges Lantbruksuniversitet, Umeå. Pers. komm. December 2010.
- Iwarsson Wide, M. 2009. ”Knäckkvistning” – en intressant metod för uttag av skogsbränsle i klen skog. Skogforsk resultat nr 8, 2009. Skogforsk. Uppsala.
- Jonson, T. 1912. Afsmalnings- och Tillväxt- Tabeller för träduppskattning. Stockholm. Zetterlund & Thelanders Boktryckeri-Aktiebolag.
- Jonson, T. 1929. Massatabeller för träduppskattning. 5:e upplagan. Stockholm.
- Larson, P R. 1963. Stem Form Development Of Forest Trees. A publication of the society of American foresters. Forest Science. Monograph 5.
- Larsson, F & Nylinder, M. 2010. WeCalc, Wood Energy Calculations. SLU Uppsala, Skogforsk. Hemsida.[online] Tillgänglig: <http://woodenergy.sites.djangoeurope.com/> [2010-11-19].
- Lehtikangas, P. 1999. Lagringshandbok för trädbränslen. 2:a upplagan. Inst. för virkeslära, SLU. Kista Snabbtryck AB, Kista 1999. ISBN 91-576-5564-2.
- Liss, J-E. 2004. Avverkningsvolym och netton i tidig gallring vid alternativen skogsbränsle eller massaved. Institutionen för Matematik, naturvetenskap och teknik, Högskolan Dalarna. Arbetsdokument 4, 2004. Garpenberg.
- Liss, J-E. 2005a. Okvistade långa toppar: studie av ny metod för uttag av skogsbränsle från slutavverkningar. Institutionen för Matematik, naturvetenskap och teknik, Högskolan Dalarna. Arbetsdokument 2, 2005. Garpenberg.

- Liss, J-E. 2005b. Långa toppar eller GROT vid uttag av skogsbränsle från slutavverkningar? Institutionen för Matematik, naturvetenskap och teknik, Högskolan Dalarna. Arbetsdokument 3, 2005. Garpenberg.
- Liss, J-E. 2006. Långa toppar – metod för uttag av skogsbränsle i slutavverkningar. Institutionen för Matematik, naturvetenskap och teknik, Högskolan Dalarna. Slutrapport STEM-projekt 21937-1. Arbetsdokument 4, 2006. Garpenberg.
- Lundström, A. 2010. Institutionen för skoglig resurshushållning, Sveriges Lantbruksuniversitet, Umeå. Pers. komm. Oktober 2010.
- Marklund, L G. 1988. Biomassafunktioner för tall, gran och björk i Sverige. Umeå. Sveriges lantbruksuniversitet, inst. för skogstaxering. Rapport 45. ISSN 0348-0496.
- Mäkelä, A. & Vanninen, P. 2001. Vertical structure of Scots pine crowns in different age and size classes. *Trees* 15(7): 385-392.
- Näslund, M. 1940. Funktioner och tabeller för kubering av stående träd. Tall, gran och björk i norra Sverige. Meddelande från statens skogsförsöksanstalt 32:4 1940-1941 s.87-142. Centraltryckeriet, Esselte, Stockholm 1941.
- Salin, S. 2008. Ekonomi vid uttag av långa toppar som skogsbränsle i slutavverkning. Institutionen för skoglig resurshushållning, SLU. Arbetsrapport 217, 2008. ISSN 1401– 1204.
- Sehlberg-Samuelsson U, Vilklund E, Palmér C-H & Tornéus P. 2009. Praktisk skogshandbok. 15 upplagan. Stockholm, Föreningen Skogen, 2009. Lettland.
- Söderström, J. 2009. Grot ur bränslekvalitetsynpunkt. Efokus. Delrapport inom GROT II.
- Tahvanainen, T & Forss, E. 2008. Individual tree models for the crown biomass distribution of Scots pine, Norway spruce and birch in Finland. *Forest Ecology and Management* 255: 455-467.
- Törnqvist, S-A. 2006. Klentimmer och sågkubb. Slöjd&Data. Hemsida. [online] (2006-08-28) Tillgänglig: <http://slojd-data.se/virke/sortiment/klentimmerstart.htm> [2010-12-21].
- Wikberg, P-E. 2010. Institutionen för skoglig resurshushållning, Sveriges Lantbruksuniversitet, Umeå. Pers. komm. November 2010.
- Xu, M & Harrington, T.B. 1998. Foliage biomass distribution of loblolly pine as affected by tree dominance, crown size, and stand characteristics. *Canadian Journal of Forest Research*. 28: 887–892.

Bilaga 1: Funktioner

Barkfunktion (Jonsson 1929)

$$\text{Tall} \quad \text{dbtj} = 2\text{mm} + 0,1d \quad (1)$$

"stora delar av norrland och övre dalarna"

$$\text{Gran} \quad \text{dbtj} = 5\text{mm} + 0,05d \quad (2)$$

Serie B; medel: "Vanligt medeltal å stora trakter i mell. Norra Sverige"

Relativ rotansvällnings höjd (Edgren & Nylinder 1949);

$$\text{Tall} \quad iv = 0,0527 / ((1-F)^{0,9}) \quad (3)$$

$$\text{Gran} \quad iv = 0,08631 / ((1-F)^{0,5}) \quad (4)$$

Formtal under bark (Näslund 1940);

$$\text{Tall} \quad fub = (463,55 + 699,14(1/h) + 34,36(h/d)) / 1000 \quad (5)$$

$$\text{Gran} \quad fub = (193,84 + 1467,46(1/h) + 276,26(h/d) - 700,45(h/d^2)) / 1000 \quad (6)$$

$$\text{Björk} \quad fub = (384,88 + 344,14(1/h) + 55,34(h/d)) / 1000 \quad (7)$$

Formkvot (Edgren & Nylinder 1949)

$$\text{Tall} \quad F = 0,293 + 0,00669 * h - 0,001384dub + 0,6348fub \quad (8)$$

$$\text{Gran} \quad F = 0,239 + 0,01046 * h - 0,004407dub + 0,6532fub \quad (9)$$

Relativ diameter (Edgren & Nylinder 1949)

$$\text{II} \quad D_{rel} = Q \log(1 + 1 - bh)^y \quad (10)$$

$$\text{III} \quad D_{rel} = 100 - q \log(1 + 10000 * bh) \quad (11)$$

Olika konstanter (Q, y, q) för tall och gran samt olika formkvoter.

Volymfunktioner under bark (Näslund 1940)

$$\text{Tall} \quad v = 0,05491 * d^2 + 0,03641 * d^2 * h + 0,002699 * d * h^2 \quad (12)$$

$$\text{Gran} \quad v = 0,1153d^2 + 0,01522 * d^2 * h + 0,02170 * d * h^2 - 0,05501 * h^2 \quad (13)$$

Volymfunktioner på bark (Näslund 1940)

$$\text{Björk} \quad v = 0,03715d^2 + 0,02892d^2h + 0,004983dh^2 \quad (14)$$

Biomassfunktioner (Marklund 1988)

Tall

$$\text{levande grenar inkl barr} = \text{EXP}(-0,9137 + d/(d+10) * 11,4337 + \text{LN}(d) * -1,4815 + \text{LN}(kl) * 0,9825 + (\text{NKO}) * -0,0235) \quad (15)$$

$$\text{barr} = \text{EXP}(2,6024 + d/(d+7) * 9,8471 + h * 0,026 + \text{LN}(h) * 1,6717 + \text{LN}(kl) * 1,0419 + (\text{NKO}) * -0,0123) \quad (16)$$

$$\text{döda grenar} = \text{EXP}(-5,8926 + 7,127 * (d/(d+10)) - 0,0465 * h + 1,106 * \text{LN}(h)) \quad (17)$$

Gran

$$\text{levande grenar inkl barr} = \text{EXP}(-1,1209 + d/(d+13) * 10,4621 + \text{LN}(h) * -1,5211 + \text{LN}(kl) * 1,0179 + \text{SI} * 0,011) \quad (18)$$

$$\text{barr} = \text{EXP}(-1,5732 + d/(d+12) * 8,4127 + \text{LN}(h) * -1,5628 + \text{LN}(\text{SI}) * 1,4032) \quad (19)$$

$$\text{döda grenar} = \text{EXP}(-5,3924 + 5,6333 * (d/(d+18)) + 2,7826 * \text{LN}(h) - 1,746 * \text{LN}(kl)) \quad (20)$$

Björk

$$\text{levande grenar} = \text{EXP}(-3,3633+(d/(d+10))*10,2806) \quad (21)$$

$$\text{döda grenar} = \text{EXP}(-6,6237+11,2872*(d/(d+30))-0,3081*h+2,6821*\text{LN}(h)) \quad (22)$$

Relativ biomassa inom kronan (Tahvanainen & Forss 2008)

Levande grenar

$$\text{Tall} \quad \text{rel andel biomassa levande grenar (\%)} = 0,07881+1,03037*((1-\text{EXP}(-3,59557*h_{\text{rel}}))^3,66652)*0,99071 \quad (23)$$

$$\text{Gran} \quad \text{rel andel biomassa (\%)} = 0,05892+1,18495*((1-\text{EXP}(-2,58915*h_{\text{rel}}))^2,76521)*0,98635 \quad (24)$$

Barr

$$\text{Tall} \quad \text{rel andel biomassa barr (\%)} = 0,04276+1,1365*((1-\text{EXP}(-3,43024*h_{\text{rel}}))^4,98748)*0,99285 \quad (25)$$

$$\text{Gran} \quad \text{rel andel biomassa barr (\%)} = 0,04166+1,31352*((1-\text{EXP}(-2,62216*h_{\text{rel}}))^3,96188)*0,98435 \quad (26)$$

Omräkningstal från m³fub till m³fpb (Sehlberg-Samuelsson m.fl. 2009)

Gäller för klana stockdimensioner. Genomsnitt för landet.

$$\text{Tall} \quad 1,17 \quad (27)$$

$$\text{Gran} \quad 1,16 \quad (28)$$

Omräkningstal från m³fpb till kg TS (Hakkila 1989)

$$\text{Tall} \quad 390 \text{ kg TS / m}^3 \text{fpb} \quad (29)$$

$$\text{Gran} \quad 385 \text{ kg TS / m}^3 \text{fpb} \quad (30)$$

$$\text{Björk} \quad 490 \text{ kg TS / m}^3 \text{fpb} \quad (31)$$

Funktioner (relativ höjd) utifrån Edgren och Nylinders (1949) tabeller: (32-46)

x = relativ diameter timmertopp

y = relativ höjd för timmertoppdiameter

Tall

F 0,500 $y = 0,000119x^3 - 0,010386x^2 - 1,366947x + 100,561504$

$R^2 = 0,999711$

F 0,550 $y = 0,000028x^3 - 0,008372x^2 - 1,099807x + 100,114368$

$R^2 = 0,999973$

F 0,600 $y = -0,000052x^3 - 0,005373x^2 - 0,921541x + 100,008677$

$R^2 = 0,999997$

F 0,650 $y = -0,000121x^3 - 0,002663x^2 - 0,763155x + 100,040310$

$R^2 = 0,999970$

F 0,700 $y = -0,000212x^3 + 0,001975x^2 - 0,658554x + 100,171320$

$R^2 = 0,999866$

F 0,750 $y = -0,000363x^3 + 0,012538x^2 - 0,711921x + 100,434553$

$R^2 = 0,999435$

F 0,800 $y = -0,000007x^4 + 0,000327x^3 - 0,008316x^2 - 0,444183x + 100,210958$

$R^2 = 0,997907$

Gran

F 0,500 $y = 0,000190x^3 - 0,014852x^2 - 1,481720x + 100,552220$

$R^2 = 0,999684$

F 0,550 $y = 0,000059x^3 - 0,011706x^2 - 1,162829x + 100,122708$

$R^2 = 0,999961$

F 0,600 $y = -0,000019x^3 - 0,009931x^2 - 0,890073x + 99,958568$

$R^2 = 0,999991$

F 0,650 $y = -0,000116x^3 - 0,004926x^2 - 0,741372x + 100,015972$

$R^2 = 0,999948$

F 0,700 $y = -0,000242x^3 + 0,004532x^2 - 0,735990x + 100,215729$

$R^2 = 0,999838$

F 0,750 $y = -0,000399x^3 + 0,019080x^2 - 0,909229x + 100,767953$

$R^2 = 0,999213$

F 0,800 $y = -0,000010x^4 + 0,000820x^3 - 0,024959x^2 - 0,343854x + 100,063932$

$R^2 = 0,998439$

Funktioner (relativ volym) utifrån Edgren och Nylinders (1949) tabeller: (47-75)

x = relativ diameter timmertopp

y = relativ volym nedan timmertoppdiameter

Om relativa höjden för den relativa diametern > 60% använd formel I.

Om relativa höjden för den relativa diametern < 60% använd formel II.

Tall

F 0,500 I. $y = -0,000556x^3 + 0,003737x^2 - 0,016708x + 100,006638$

$R^2 = 0,999986$

II. $y = -0,050x^2 + 2,146x + 69,89$

$R^2 = 0,999$

F 0,550 I. $y = -0,000398x^3 + 0,003270x^2 - 0,019109x + 100,011342$

$R^2 = 0,999978$

II. $y = -0,058x^2 + 3,089x + 50,55$

$R^2 = 0,999$

F 0,600 I. $y = -0,000329x^3 + 0,003766x^2 - 0,026451x + 100,017948$

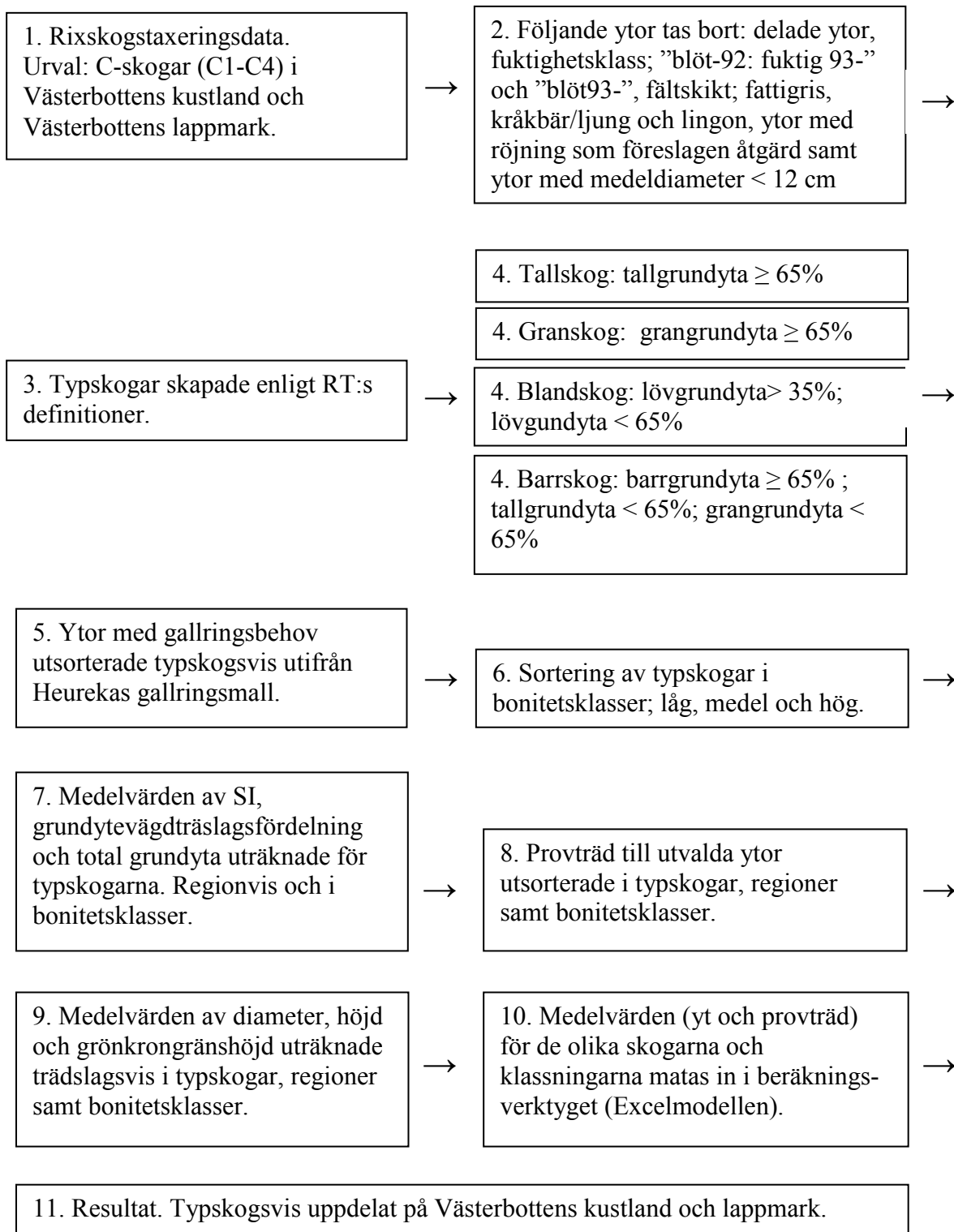
	$R^2 = 0,999944$
	II. $y = -0,069x^2 + 4,295x + 23,05$
	$R^2 = 0,999$
F 0,650	I. $y = -0,000312x^3 + 0,005452x^2 - 0,045941x + 100,036624$
	$R^2 = 0,999766$
	II. $y = -0,081x^2 + 5,692x - 11,08$
	$R^2 = 0,999$
F 0,700	I. $y = -0,000317x^3 + 0,007430x^2 - 0,067232x + 100,048332$
	$R^2 = 0,999708$
	II. $y = -0,096x^2 + 7,251x - 48,77$
	$R^2 = 0,999$
F 0,750	I. $y = -0,000320x^3 + 0,009292x^2 - 0,092996x + 100,061066$
	$R^2 = 0,999516$
	II. $y = -0,108x^2 + 8,424x - 72,88$
	$R^2 = 0,998$
F 0,800	I. $y = -0,000298x^3 + 0,009498x^2 - 0,101524x + 100,063387$
	$R^2 = 0,999510$
	II. $y = -0,092x^2 + 6,034x + 11,11$
	$R^2 = 0,996$
Gran	
F 0,500	I. $y = -0,000839x^3 + 0,006947x^2 - 0,033794x + 100,016535$
	$R^2 = 0,999923$
	II. $y = -0,000347x^3 - 0,019624x^2 + 0,686771x + 91,341807$
	$R^2 = 0,999978$
F 0,550	I. $y = -0,000514x^3 + 0,003952x^2 - 0,020675x + 100,011587$
	$R^2 = 0,999973$
	II. $y = -0,000494x^3 - 0,003734x^2 + 0,521975x + 90,115994$
	$R^2 = 0,999946$
F 0,600	I. $y = -0,000416x^3 + 0,005059x^2 - 0,033704x + 100,021761$
	$R^2 = 0,999925$
	II. $y = -0,074655x^2 + 4,260306x + 28,965869$
	$R^2 = 0,999832$
F 0,650	I. $y = -0,000354x^3 + 0,005858x^2 - 0,044482x + 100,029499$
	$R^2 = 0,999890$
	II. $y = -0,084549x^2 + 5,548805x - 2,343983$
	$R^2 = 0,999779$
F 0,700	I. $y = -0,000308x^3 + 0,006812x^2 - 0,062008x + 100,047962$
	$R^2 = 0,999675$
	II. $y = -0,096700x^2 + 7,119530x - 42,688928$
	$R^2 = 0,999686$
F 0,750	I. $y = -0,000247x^3 + 0,006182x^2 - 0,061923x + 100,049755$
	$R^2 = 0,999733$
	II. $y = -0,114487x^2 + 9,358784x - 102,294635$
	$R^2 = 0,999053$
F 0,800	I. $y = -0,000186x^3 + 0,004813x^2 - 0,051959x + 100,045821$
	$R^2 = 0,999843$
	II. $y = -0,120419x^2 + 10,212532x - 119,996697$
	$R^2 = 0,998018$

Bilaga 2: Definitioner

dbh	diameter i bröst höjd
ub	under bark
pb	på bark
F	Formkvot
iv	relativa rotansvällningshöjd
dbtj	dubbel barktjocklek
f	formtal
h	höjd
h_{rel}	relativ höjd
d_{rel}	relativ diameter
d_{tt}	toppdiameter timmer
v	volym
krgr	grönkrongräns
kl	kronlängd
h_{dtt}	höjd vid timmertoppdiameter
tl	topplängd
m_{rel}	relativ biomassaandel (levande grenar)
m_{brel}	relativ biomassaandel (barr)
m_t	Total levande biomassa (barr och levande grenar)
m_g	Biomassa levande grenar
m_b	Biomassa barr
NKO	Nord-koordinat i Rikets nät ($km \cdot 10^2$)
TS	Torrsubstans
SI	Ståndortsindex
Låg bonitet	$SI > 18$ m
Medel bonitet	$SI \geq 18$ m, $SI < 21$
Hög bonitet	$SI \geq 21$

Bilaga 3: Flödesschema

Flödesschema för riksskogstaxeringens data (se Anon. (2010e) för RT:s definitioner).



Bilaga 4: Excelmodellen

Exempel (skärmdump) på ett beräkningsfall.

Modell för volymutfall vid energianpassad gallring i Västerbotten									
Fyll i gula celler med beståndsdata									
ståndortsindex	18	nordlig breddgrad	64	ger NKO	71,2				
grundyta	29	m ²							
gallringsuttag (%)	35	% av grundytan	ger gallringsuttag			10,15	m ²		
	träslagsfördelning (%)	diameter bh pb (cm)	toppdiameter (dtt) (cm)	Höjd (m)	grönkrongränshöjd (m)	Omföringstal		Ändras vid behov	
						kgTS/m3fub	m3fub till m3fub		
Tall	20	18,8	12	13,9	6,7	390	1,17		
Gran	31	19,8	12	14,6	2,5	385	1,16		
Björk	49	14,3		13,6		490			
RESULTAT									
trädis	okvistade träddelar (kg TS/träd)	stamved (kg TS/träd)	lev grenbiomassa (kg TS/träd)	barrbiomassa (kg TS/träd)	% stamved	% grenbiomassa	% barrbiomassa	död grenbiomassa (kg TS/träd)	
Tall	13,38	3,29	6,93	3,17	25	52	24	3	
Gran	18,91	3,09	8,11	7,70	16	43	41	2	
Björk	64,27	49,59	14,68		77	23		1	
beståndsvis	okvistade träddelar (ton TS/ha)	stamved (ton TS/ha)	lev grenbiomassa (ton TS/ha)	barrbiomassa (ton TS/ha)	% stamved	% grenbiomassa	% barrbiomassa	död grenbiomassa (ton TS/ha)	
Tall	0,98	0,24	0,51	0,23	25	52	24	0,20	
Gran	1,93	0,32	0,83	0,79	16	43	41	0,20	
Björk	19,90	15,36	4,55		77	23		0,26	
Summa	22,81	15,91	5,88	1,02	70	26	4	0,66	
okvistade träddelar (ton/ha) stamved (ton/ha) lev grenbiomassa (ton/ha) barrbiomassa (kg/träd)									
andel barrskog (%)	13	3	23	100					
andel björk (%)	87	97	77	0					