



Utvärdering av en subjektiv metod för att skatta mängden trädbiomassa längs vägkanter

Evaluation of a method for subjective assessment of tree biomass quantities in road right-of-ways



Andreas Eriksson

Arbetsrapport 234 2008
Examensarbete 30hp D

Handledare:
Ola Lindroos

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för skoglig resurshushållning
S-901 83 UMEÅ
www.srh.slu.se
Tfn: 018-671000



ISSN 1401-1204
ISRN SLU-SRG-AR-234-SE

Utvärdering av en subjektiv metod för att skatta mängden trädbiomassa längs vägkanter

*Evaluation of a method for subjective assessment of tree biomass
quantities in road right-of-ways*

Andreas Eriksson

Förord

Detta examensarbete om 30 hp (20 veckors arbete) har gjorts på D-nivå som en avslutning på mina studier, vilka genomförts på Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) i Umeå. Arbetet har gjorts inom huvudämnet skogshushållning med inriktning mot skoglig planering och uppdragsgivare var SCA Norrbränslen.

Jag vill rikta ett stort tack till Ola Lindroos, min handledare på SLU, som gett mig handledning under hela arbetets gång och hjälpt mig med allt från praktiska detaljer till statistiska analyser.

Tack Mats och Göran på Mats Nyborg skog AB för att ni ställde upp i försöket och höll med maskin vid skörden.

Tack Lars-Åke Olofson m.fl. på Hallviken skog AB för att ni tog er tid med flisprover och allt annat som gjort denna studie genomförbar.

Till sist vill jag rikta ett stort tack till Tomas Johannesson som varit min kontaktperson på SCA Norrbränslen och som framförallt hjälpte mig att lyckas med fältarbetet.

Tack även till alla andra som hjälpt mig på ett eller annat sätt att lyckas med detta examensarbete.

Östersund, juni 2008

Andreas Eriksson

Sammanfattning

Skoglig biomassa blir en allt viktigare förnyelsebar energiresurs och därför är intresset stort för att tillgodose det ökande behovet. Genom att skörda skoglig biomassa efter skogsbilvägar görs dubbla vinster genom att vägstandarden underhålls samtidigt som man får ett fullvärdigt biobränsle. I Sverige finns 213 000 km skogsbilväg som är mer eller mindre lämplig för skörd av biomassa, så det potentiella biomassatillskottet är avsevärt. Beslutet om vägunderhåll skall genomföras i form av skörd eller traditionell röjning baseras dock enbart på erfarenheter utan stöd av någon form av inventeringsmetodik. Detta beror på att det inte finns någon metod för att skatta mängderna av detta skogliga biobränsle, utan dessa redovisas först efter skörd när materialet har flisats och vägts.

I denna studie utvärderas TJ-metoden för att skatta skoglig biomassa på stående rot. TJ-metoden är en subjektiv skattningsmetodik som i huvudsak är tänkt att användas från vägen för att snabbt bestämma torrsubstansmängder (TS). De olika variablerna som skattas är diameter, höjd och stamantal och dessa värden används sedan vid beräkningar av TS.

Syftet med studien var att utvärdera användandet av TJ-metoden vid prognostisering av mängd TS längs vägar och för egenuppföljning i samband med skörd. Studien avsåg att belysa metodens lämplighet vid olika beståndstyper (block) samt dess tillförlitlighet vid tillämpning av olika personer.

Studien genomfördes på tre block med avseende på väggkantsbeståndens medeldiameter. I varje block studerades fyra parceller. De sammanlagt 12 parcellerna inventerades objektivt och dessa resultat utgjorde referensvärden i studien.

Skattningarnas överensstämmande med de objektiva inventeringarna skiljde sig åt mellan blocken för de olika variablerna, även om skillnaderna endast var signifikanta för stamantal och medelhöjd. I genomsnitt överskattades mängden TS vid subjektiva skattningarna från vägen med 90, 362 respektive 27 procentenheter för bestånd med kläna, mellan respektive de grova diametrarna. Höjden var den ingångsvariabel som skattades bäst. Det fanns inga signifikanta skillnader mellan de två försökspersonernas skattningar. Skattningarna i samband med skörd, då även stamantalsräknare användes, gav bättre värden på skattad mängd TS och det var framförallt skattningarna av variablerna stamantal och diameter som förbättrades. Vid detta förfarande fanns det inte några signifikanta skillnader i skattningsförmåga mellan blocken.

Med en gedigen utbildning och framförallt med systematiska uppföljningar kan denna metod komma att fungera tillräckligt bra för att snabbt och därmed billigt visa vilka ungefärliga TS-mängder det finns att ta ut och metoden kan således utgöra ett välbehövligt underlag vid beslut om skörd är en lämplig åtgärd.

Summary

Forest biomass is becoming an increasingly important source of renewable energy, and thereby the demand is increasing. There is currently 213 000 km of forest roads in Sweden that could be suitable for biomass harvesting. Harvest of biomass along forest roads both provides biomass and maintains the quality of the roads. Currently, the volume of biomass along roads can only be assessed post harvest, chipping and industry deliverance.

As the decision of whether or not to harvest should preferably be based on more than experience, the TJ-method has been proposed. The TJ-method is a subjective method to quickly determine the dry matter quantity with the assessment being conducted from the roadside. The dry matter quantity is calculated by estimating diameter, height and number of trees. The objective of this study was to evaluate the suitability of using the TJ-method for estimating the dry matter quantity both before and during harvesting. The study evaluated the method in different types of stands and when being used by different people.

This study was performed on three blocks, based on the stands' mean diameter in breast height. Four study units of each block were studied. The in total 12 study units were objectively inventoried and those results were used as reference values.

There were differences in the estimation height and number of trees, mean diameter and dry matter quantity between the blocks in post-harvest estimations. However, the differences were statistically significant only for the former two variables. Estimations for the block with the largest mean diameter gave best results. There were no significant differences between the two trial persons' post-harvest estimations. The TJ-method was more accurate when estimations were made by the machine operator during harvesting than when estimations were made from the roadside before harvesting. There were no significant differences in estimations between different blocks when estimations were made during harvest.

With good training and most importantly, a systematic follow-up of estimations, this method can provide reliable, cost-efficient data that can be used when making decisions on whether to harvest along roads or not.

Innehållsförteckning

Förord	2
Sammanfattning.....	3
Summary.....	4
Innehållsförteckning	5
1 Introduktion	6
1.1 Bakgrund	6
1.2 Mål.....	7
2 Material och Metod	8
2.1 Bestånd och objektiv inventering	8
2.2 Subjektiv skattning	9
2.2.2 Skattning från maskinhytt vid direkt efter skörd.....	10
2.3 Skörd och invägning av biomassa	10
2.4 Biomassaberäkningar.....	11
2.5 Bearbetning av data	13
3 Resultat	15
3.1 Subjektiv skattning innan skörd	15
3.2 Subjektiv skattning från maskinhytt.....	18
3.3 Jämförelse av beräkningsfunktioner för TS samt invägd mängd TS	20
3.4 Den subjektiva skattningens avrundningsfel	21
4 Diskussion	24
4.1 Skattningar av de olika variablerna	24
4.2 Skattning från maskinhytten med hjälp av antalsräknare.....	25
4.3 Invägda värden	25
4.4 Biomassa- och ekonomipotentia l	26
4.5 Felkällor.....	26
4.6 Metodutvecklingsförslag	27
4.7 Slutsatser.....	27
Referenser.....	29
Litteraturkällor.....	29
Elektroniska källor.....	30
Muntliga referenser.....	30
Bilaga 1. Subjektivt skattade värden fördelat på parceller	31
Bilaga 2. Beräknade torrsubstansmängder (kg) fördelat på skattningsmetod och parcell... 31	
Bilaga 3. Variansanalyser.....	32

1 Introduktion

1.1 Bakgrund

I takt med att oljan börjar ta slut och den globala uppvärmningen blir allt mer påtaglig fortsätter vårt sökande efter alternativa energikällor. Nyttjande av skogligt biobränsle är därför högaktuellt. För att tillgodose detta behov undersöks ifall man kan ta tillvara på biobränsle där man tidigare lämnade kvar materialet för att förmultna. De inhemska trädslagen som björk, asp och al anses som intressanta p.g.a. deras höga produktion av biomassa i unga år (Bergkvist m.fl. 2006) och därför har ett antal studier av metoder för att ta tillvara på biomassan i samband med röjning initierats. I traditionellt skogsbruk fokuserar man på det enskilda trädets utveckling varför selektiv röjning utförs. Selektiv röjning görs normalt sett i bestånd med en medelhöjd på ca 3 m och det kvarvarande stamantalet efter åtgärden brukar ligga på mellan 2000 och 3000 stammar per hektar. Unga bestånd med ett högt stamantal kan vara ett tecken på att produktionen av biomassa är hög (Bergström m.fl. 2007). För att få lönsamhet på tillvaratagandet måste röjningsarbetet gå snabbt och därför används i de flesta fall helmekaniska metoder för skörd. Vid skörd i bestånd av klena stammar måste man fokusera på en viss area istället för enskilda träd om man ska göra någon vinst (Bergström m.fl. 2007).

Om inte buskar och unga träd i vägkanterna kontinuerligt tas bort växer vägen till slut igen. Förutom att vegetationen försvårar eller förhindrar framkomligheten gör den att fukt binds in i vägkroppen, vilket leder till att vägen så småningom förstörs. Undanhållande av biomassa i vägkanter ses därför idag främst som en vägunderhållsåtgärd och läggs som en utgift på vägsidan. Men eftersom priserna för skogligt biobränsle idag ligger på nästan samma nivå som massavedspriserna, kan man tjäna på att utnyttja denna resurs lite bättre.

Småträd och buskar i vägrenen har traditionellt sett inte tagits tillvara vid vägröjning, men denna biomassaresurs börjar nu dra till sig intresse. Tidigare studier om skörd av vägkanter i syfte att ta tillvara på biobränsle har fokuserats på det allmänna vägnätet och vägkanterna var bevuxna med framförallt gräs. För dessa vägar och med en skördebredd av 5 meter var mängden torrsbstans (TS) ca 1800 kg per km (Durling m.fl. 2000) och med ett energivärde på detta material på 2,1 kWh per kg TS (Durling & Jakobsson 2000) skulle det ge 3800 kWh per kilometer. I Sverige finns idag ungefär 213 000 km skogsbilvägar, det vill säga vägar utan statligt bidrag (Anon. 2004). Om man antar att tio procent av denna väglängd årligen är lämplig att skörda för ett eventuellt biomassauttag och att medelvikten TS vid 5 meter skördebredd på var sida vägen blir 40 ton/km (Johannesson 2007, pers. komm.) motsvarar det 852 000 ton TS per år. Med ett energivärde på 5,33 MWh per ton TS (Ringman 1995) blir det totala energitillskottet 4,5 TWh, vilket räcker till att försörja 227 000 villor under ett helt år, baserat på att en villa förbrukar ca 20 MWh/år (Katrineholm energi 2008).

För att kunna bedöma och planera vilka vägsträckor som är lämpliga att skörda behövs lämpliga planeringsunderlag. Även om faktorer som skörde- och flisningskostnader samt fliskvalitet och därmed intäktsnivå är viktiga, så är mängden biomassa längs vägarna den enskilt viktigaste faktorn. Jämfört med övriga faktorer saknas lämpliga metoder för uppskatta mängden biomassa, varför planering och beslut om givna vägar skall skördas eller bara slås på traditionellt sätt försvåras. Att inte kunna skatta biomassamängden

försvårar dessutom upphandlingarna med entreprenörer och därmed skapandet av en marknad där flera aktörer kan konkurrera med varandra.

En subjektiv och enkel metod för att skatta mängden TS efter vägkanter utan hjälpmedel utvecklades under 2007 av Tomas Johannesson i Strömsund, och metoden kommer i förstättningen att kallas TJ-metoden. TJ-metoden går ut på att beståndsbeskrivningen förenklas genom att diameterklasser används. För att beskriva beståndet delas stamantalet i femtedelar som sedan fördelas ut på fem stycken diameterklasser (Tabell 1). Detta görs på bedömningsenheter om 50 m på ena sidan av vägen. Utöver fördelningen av diameterklassen anges i tiondelar hur stor del inom varje diameterklass som utgörs av barrträd. En medelhöjd skattas för varje bedömningsenhet med en noggrannhet på 0,5 meter och antalet stammar i total. Med fem meters bedömningsdjup erhålls en bedömningsarea på 0,025 ha, vilket innebär att noggrannhet är 400 stammar/ha. Utifrån angivna uppgifter kan sedan biomassamängden beräknas med Marklunds (1988) alternativt Ulvcronas (2008, pers. komm.) biomassafunktioner.

Vid framtagande av TJ-metoden var förhoppningen att dess felmarginal skulle vara $\pm 20\%$ från faktisk mängd torrsubstans. Metoden är hittills oprövad, men om den fungerar som man tänkt sig kan man även tänka sig att den appliceras på andra klena bestånd som t.ex. eftersatta röjningsobjekt. Metoden behöver dock utvärderas med avseende på bl.a. lämplighet vid olika beståndstyper (t.ex. stamdiameter, antal träd per hektar och trädhöjd) samt dess tillförlitlighet vid tillämpning av olika personer.

Tabell 1. Protokoll för Tomas Johannessons metod (TJ-metoden) att skatta mängden torrsubstans längs vägkanter med ifyllt exempel (kursiva siffror)

Table 1. The protocol for Tomas Johannesson's method (TJ-method) to estimate the quantity of dry matter along the roadside filled in with an example (numbers in italic)

Variabler	Diameterklass				
	1 (3-4,9 cm)	2 (5 - 9,9cm)	3 (10 - 14,9cm)	4 (15 - 19,9cm)	5 (≥ 20 cm)
Andel av stammarna (1/5)	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>0</i>
Barrandel (1/10)	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
Antal stammar <i>7500</i>	Medelhöjd (m) <i>4,6</i>				

1.2 Mål

Syftet med detta examensarbete var att utvärdera en subjektiv bedömningsmetod för prognostisering och egenuppföljning av skörd på stående klen skog längs vägkanter.

Utvärderingen avsåg belysa metodens lämplighet vid olika beståndstyper (medeldiameter) samt dess tillförlitlighet vid tillämpning av olika personer.

2 Material och Metod

2.1 Bestånd och objektiv inventering

Studien genomfördes efter en vägsträcka norr om Strömsund i Jämtland, där tre block skapades med avseende på trädens medeldiameter i brösthöjd (1,3 m). Inom varje block ingick fyra parceller med liknande medeldiameter (tabell 2). I studien ingick följaktligen totalt 12 stycken parceller. Varje parcell lades ut efter en 50 meter lång sträcka på ena sidan av vägen och var fem meter bred med en början 1,5 meter in från ytterkanten av hjulspåren. Varje parcell var således 0,025 ha.

Parcellernas början och slut märktes upp med färgmarkerade käppar och snitslar. Dessutom markerades de stammar som var närmast yttergränsen så att de personer som sedan skulle göra den subjektiva bedömningen visste hur dessa försöksytor såg ut och att det i samband med skörden togs vare sig för lite eller för mycket i förhållande till parcellgränserna. Varje parcell bältestaxerades genom att 10 stycken en meter breda bälten lades ut vinkelrätt mot vägen. Startpunkten för det första bältet slumpades ut inom den första femmeterssträckan och därefter lades resterande nio bälten ut med konstant femmetersintervall mellan bältescentran. Den inventerade arealen var således 20 %. Samtliga träd med en diameter i brösthöjd på $\geq 3,0$ cm diameter- och höjdmättes med millimeter- respektive decimeterprecision. Trädslag noterades, fördelat på tall (*Pinus sylvestris*), gran (*Picea abies*), björk (*Betula ssp.*) och övrigt löv. Den objektiva inventeringen genomfördes under den senare hälften av september 2007 och tidsåtgången för varje parcell var cirka tre timmar. Parcellernas stamantal varierade mellan 2 200 och 7 800 träd/ha (tabell 2). De ytor som hade det tätaste förbandet hade också klenast medelstam.

Tabell 2 Parcellernas egenskaper enligt objektiv bältesinventering**Table 2** The study units' characteristics according to the objective line inventory

Block	Parcell	Diameter (cm, pb dbh) ^a		Höjd (dm)		Antal träd (n/ha)	Torrsubstansmängd (kg)		Lövandel (%) ^c	
		Medel ^b	SD	Medel ^b	SD		Marklunds funktion	Ulvronas funktion	Av stam- antal	Av TS ^d
1	1	4,9	1,3	59,6	15,9	7800	968	1002	92	94
1	2	5,8	1,6	71,7	20,4	6000	1211	1312	100	100
1	3	6,8	2,3	76,5	22,8	7000	1935	2089	86	95
1	10	5,8	1,8	75,5	13,9	6600	1355	1450	100	100
2	4	7,9	2,9	78,5	27,8	2000	912	1005	80	95
2	5	7,5	4,1	77,4	40,2	1800	983	1309	89	94
2	6	8,9	4,2	82,7	33,7	5200	3619	4345	85	79
2	11	8,7	6,5	84,4	32,4	3800	3180	3977	95	65
3	7	10,6	8,1	88,0	29,0	4200	4750	5454	67	11
3	8	13,4	8,4	94,1	31,7	3000	4848	5441	40	8
3	9	10,5	8,3	83,9	38,0	4000	4821	5695	60	12
3	12	10,4	7,6	95,4	50,0	2200	3166	5457 ^e	73	87

^a) cm, diameter på bark i brösthöjd (1,3 m).

^b) Aritmetiskt medel.

^c) Barrandel = 100 – lövandel

^d) Beräknat med Marklunds (1988) funktion.

^e) Två grova lövträd (det ena 24 cm i brösthöjdsdiameter och ca 18 m högt) drog upp biomassavolymen beräknad med Ulvronas funktion, vilken är framtagen för riktigt kläna träd. Uppräknat för hela parcellen innebar enbart de två träden en skillnad på två ton torrsubstans mellan de två beräkningarna.

2.2 Subjektiv skattning

Den subjektiva skattningen genomfördes med TJ-metoden vid två tillfällen, dels innan skörd och dels direkt efter skörden.

2.2.1 Markbaserad subjektiv skattning innan skörd

Efter att parcellerna märkts upp och inventerats objektivt genomfördes en utbildning av de två testpersonerna. Den ena personen (person A) var maskinförare med stor erfarenhet av skörd av biomassa i vägdiken. Den andra personen (person B) ägde företaget som utförde vägkantsskörden, men hade begränsad praktisk erfarenhet av själva arbetet.

Utbildningen utgjordes av att TJ-metoden förklarades och hur de ingående variablerna skulle bedömas utan hjälpmedel. Därefter gjorde de båda personerna individuellt sina bedömningar på parcellerna 1-9 enligt TJ-metoden. Skattningarna gjordes från vägen efter att de bildat sig en uppfattning av beståndet genom att gå en godtycklig sträcka på ca 25 m mitt på parcellen. För parcellen bedömdes en medelhöjd, antal träd per hektar samt trädens diameterfördelning i femtedelar av stamantalet uppdelat på fem stycken diameterklasser (Tabell 1). Andelen lövträd och barrträd bedömdes, och för barrträdsandelen noterades även om den främst utgjordes av tall eller gran. Skattningen gjordes under första delen av oktober 2007, med lövträden helt utan löv. Ungefärlig tidsåtgång för varje parcell var mellan fem och tio minuter per person.

2.2.2 Skattning från maskinhytt vid direkt efter skörd

I den aktuella maskinen installerades en antalsräknare som registrerade antal skördade träd. Vid klippning av flera stammar samtidigt kompletterade föraren antalsräkningen manuellt. För nio parceller gjorde förarna från maskinhytten dessutom direkt efter skörden en ny indelning av stamantalets fördelning på diameterklasserna och för varje diameterklass bedömdes en medelhöjd. Skörden och den nya skattningen gjordes av samma personer som vid den första subjektiva skattningen samt av metoduppfinnaren. Av de nio parcellerna skattades fyra av person A, en av person B och fyra av metoduppfinnaren.

2.3 Skörd och invägning av biomassa

Under första delen av oktober 2007 skördades parcellerna. Vid skörden användes en skotare av modell Valmet 860.1. Ett klippande aggregat av typen Naarva-grip1500-25 användes, vilken hade en klippkapacitet på diametrar upp till 25 cm.

I samband med skörden lades det klippta materialet i högar för att underlätta den efterföljande flisningen. Samtliga stammar med en brösthöjdsdiameter på ≥ 3 cm skördades och i de parceller där det fanns grövre stammar än vad aggregatet klarade av gjordes högstubbar alternativt att hela träd lämnades kvar. Kvarlämnade träd och högstubbar inventerades efter skörden (tabell 3).

Andra veckan i november, d.v.s. ca. fyra veckor efter skörden, flisades 11 av parcellerna (tabell 3). Parcell 10 blev pga av praktiska omständigheter förbisedd och flisades följaktligen inte. Det hade fallit lite snö, så en del snö kom troligen med i flisningen. Flisningen utfördes av en skotarburen brukshugg och vikten av det flisade materialet från respektive parcell noterades med hjälp av skotarens lastvåg. Innan flisningen började gjordes en kontrollvägning av ekipaget på en lastbilsvåg. Maskinen vägdes tom och därefter vägdes den med full balja, ca 6 ton, och då visade skotarens våg 160 kilo för mycket (Olofsson 2007, pers. komm.) varför varje parcell flisades i en tom balja. Efter att hela parcellen hade flisats tog föraren ett flisprov med en femliters hink som han tillslöt med ett lock så att så lite fukt som möjligt lämnade provet. Flisproverna vägdes och torkades i 105°C, tills konstant vikt uppnåddes (standard SS 18 7170 (Anon. 1997)). Konstant vikt indikerade att torrsubstansvikten (TS) hade nåtts, d.v.s. att fukthalten var 0 %. Medelfukthalten på det flisade materialet var 53,1 % med en standardavvikelse på 4,4 procentenheter. Flisprovernas askhalt analyserades av Bränslelaboratoriet Umeå AB enligt standard SS 18 7171:1 (Anon. 1984) och medelaskhalten var 1,1 % med en standardavvikelse på 0,7 procentenheter.

Tabell 3. Mängden biomassa i parcellerna baserat på flisningsvägningen och fukthaltsprover. För de hela stammar som lämnades har biomassan beräknats med Marklunds (1988) funktion. För de lövhögstubbar som lämnades har biomassan beräknats för en cylinder med mittmått diameter och med en torrdensitet på 500 kg/m³fpb (Skogssverige 2008)

Table 3. The quantity of biomass in the study units based on chip weighing and humidity content. Biomass of remaining trees has been calculated with Marklunds (1988) function and for remaining high stumps biomass was calculated as cylinders with a dry density of 500 kg/m³

Parcell	Flisat material			Biomassa (kg TS)		Noteringar
	Råvikt (kg)	Fukthalt (%)	Askhalt (%)	Kvarlämnat	Totalt	
1	2260	54,9	1,0		1019	
2	2335	54,4	0,9		1065	
3	3810	53,5	1,0		1772	
4	3040	51,5	1,0		1474	
5	3720	46,8	0,8	49	2026	Två högstubbar av lövträd kvarlämnade
6	6020	53,8	2,8		2784	
7	5095	57,2	0,5	214	2394	En tall kvarlämnad
8	5645	58,7	0,7	394	2724	Två tallar kvarlämnade
9	4920	58,3	0,5	513	2565	Tre tallar kvarlämnade
11	6050	47,5	0,9	360	3534	En tall och tre högstubbar av lövträd kvarlämnades
12	3180	47,1	1,8	1084	2768	Tre granar och fyra högstubbar av lövträd kvarlämnades

2.4 Biomassaberäkningar

I studien användes Marklunds (1988) funktion för beräkning av träds biomassa som huvudfunktion. Dessutom gjordes parallella beräkningar med funktioner framtagna av Kristina Ulvcrone vid SLU i Vindeln. Om inget annat nämns avses dock biomassan enligt Marklund. Valet av två funktioner berodde på att Marklunds (1988) funktioner är begränsad i användandet på klena diametrar medan Ulvcronas funktioner är framtagna för detta ändamål. Ulvcronas funktioner var dock ännu inte publicerade då denna studie genomfördes. De två funktionerna har gemensamt att de omfattar tall, gran och björk. Eftersom varken Marklund eller Ulvcrone har gjort funktioner för andra lövträd än björk har den funktionen använts vid beräkningarna för övrigt löv.

Marklunds (1988) funktioner använder variablerna diameter (D) i centimeter, höjd (H) i decimeter och biomassan (M) beräknas ut som kg TS genom att de olika trädslagarnas biomassa summeras. I detta fall utgörs relevanta trädslag av allt ovan stubbe exklusive barr/löv. Biomassan för ett träd av ett givet trädslag (M_Y) beräknas som summan av biomassan för alla ingående trädslag, där biomassan för en kategori av trädslag (M_{Yd}) beräknas enligt.

$$M_{Yd} = e^{a+b_1 \times D + b_2 \times H + b_3 \times \ln H} \quad [1]$$

där a är funktionens konstant medan b₁, b₂, och b₃ är koefficienter. Konstanter och koefficienter varierar mellan olika trädslag och framgår av tabell 4.

Ulvcronas (2008, pers. komm.) funktion använder samma variabler (D och H) och enheter, men biomassan för ett träd av ett givet trädslag (M_Y) beräknas direkt för alla träddeklar ovan stubbe inklusive barr/löv, enligt

$$M_Y = 10^{a+b_1 \times \ln D \times \ln H} \quad [2]$$

där a och b_1 är funktionens konstant respektive koefficient. Konstanter och koefficienter varierar mellan olika trädslag och framgår av tabell 4.

Tabell 4 Konstanter och koefficienter i Marklunds (1988) och Ulvcronas (2008, pers. komm.) biomassafunktioner

Table 4. Constants and coefficients in Marklunds (1988) and Ulvcronas (2008, pers. comm.) biomass functions

Funktion	Trädslag	Träddeklar	Koefficienter ¹			
			Konstant a	b_1	b_2	B_3
Marklund	Tall	Stam p. b. ²	-2,6768	7,5939	0,0151	0,8799
		Levande grenar	-2,5413	13,3955	-	-1,1955
		Döda grenar	-5,8926	7,1270	-0,0465	1,1060
	Gran	Stam p. b.	-2,1702	7,4690	0,0289	0,6828
		Levande grenar	-1,2063	10,9708	-0,0124	-0,4923
		Döda grenar	-4,6351	3,6518	0,0493	1,0129
	Björk	Stam p. b.	-3,5686	8,2827	0,0393	0,5772
		Levande grenar	-3,3633	10,2806	-	-
		Döda grenar	-5,9507	7,9266	-	-
Ulvcrona	Tall	Samtliga	-0,57818	0,183768		
	Gran	Samtliga	-0,38808	0,171658		
	Björk	Samtliga	-0,68633	0,204499		

¹) Beroende på vilken träddeklar och trädslag beräkningarna avser nyttjas olika kombinationer av variabler i funktionerna.

²) p.b. = på bark.

För den objektiva inventeringen beräknades biomassan för varje enskilt inmätt träd. Summan TS för alla inmätta träd i parcellen multiplicerades sedan med fem eftersom en femtedel av parcellens areal inventerades objektivt.

Vid den subjektiva skattningen beräknades mängden biomassa i parcellen (M_p , kg TS) som

$$M_p = \sum_1^x (N_T \times M_T) + \sum_1^x (N_G \times M_G) + \sum_1^x (N_B \times M_B) \quad [3]$$

där N_T är antalet tallstammar i diameterklass x och M_T är biomassan för en tall i diameterklass x . Suffixen G och B indikerar gran respektive björk. Inom respektive trädslags diameterklass beräknades biomassan för ett enskilt träd enligt ekvation [1] och [2], där diametern utgjordes av diameterklassmitten och som höjd användes den medelhöjd som skattades för hela parcellen oavsett trädslag och diameterklass.

2.5 Bearbetning av data

Vid analyser av skillnader mellan block och personerna användes relativa jämförelser. För beräkning av den relativa skattningsnoggrannheten (felprocenten (FP)) dividerades det subjektiva skattade värdet (M_S) med det objektivt skattade värdet (M_O) enligt ekvation [4]. I de fall de relativa jämförelserna avsåg jämförelser mellan de två biomassafunktionernas utfall samt jämförelser mellan invägd och beräknad TS-mängd utgjorde Marklunds (1988) funktioner referensvärdet (M_O).

$$FP = \left(\frac{M_S}{M_O} - 1 \right) \times 100 \quad [4]$$

Eftersom TJ-metoden tillämpar klassindelning av diametrar samt att höjden skattas med en noggrannhet av 0,5 meter så finns det en noggrannhetsbegränsning p.g.a. avrundningar. Stamantal angavs med en noggrannhet av 10 stammar per parcell. Eftersom dessa parceller utgjorde en yta om 0,025 ha motsvarade denna noggrannhet 400 stammar per hektar. Denna begränsning innebär att skattningarna automatiskt avviker från den verkliga mängden TS p.g.a. beräkningstekniken. Avvikelseernas relativa storlek (FP) varierar dock slumpmässigt inom givna intervall och för att ta reda på hur stor den maximalt är, har klassgränsvärde för diameter jämförts med klassmittvärden vid beräkning av TS med Marklunds (1988) funktion för en björk. För höjd och stamantal jämfördes avrundningsgränsvärde med avrundade värden. Beräkningen har gjorts enligt ekvation [4] där klassmitten eller det avrundade värdet har motsvarat M_S medan dess max- eller mingränsvärde har motsvarat M_O .

För de subjektivt skattade värdena beräknades varje parcells medeldiameter (D_m) enligt ekvation [5] genom att multiplicera respektive klassmittvärde (se tabell 1) med den femtedelsfördelning (z) som vid skattningen hade tilldelats varje diameterklass x ($1 \leq z_x \leq 5$), och därefter dividera summan med 5 (ekvation [5]). Eftersom aggregatets maximala kapacitet var 25 cm i diameter fick klass 5 en klassbredd på 5 centimeter och dess klassmitt blev därmed 22,5 centimeter.

$$D_m = \frac{(4z_1 + 7,5z_2 + 12,5z_3 + 17,5z_4 + 22,5z_5)}{5} \quad [5]$$

För att bestämma stamantalsavrundningens felprocent (FP) användes ekvation [6] där A anger avrundat stamantal och noggrannhetsintervallet anges som Q . Q var i denna studie 400 stammar/ha.

$$FP = \frac{A}{A \pm \frac{Q - 0,00001}{2}} \times 100 \quad [6]$$

Data sammanställdes i Microsoft Excel och analyserades genom variansanalys (ANOVA) i Minitab 14 baserat på modellen:

$$y_{ijr} = \mu + a_i + b_j + (ab)_{ij} + c_{r(j)} + e_{ir(j)} \quad [7]$$

där y är den beroende variabeln (medeldiameter, stamantal, medelhöjd respektive TS), μ är "grand mean" (totalmedelvärde), a är huvudeffekten av person, b är huvudeffekten av blockningen och c är den slumpvisa huvudeffekten av replikat vilken är nestad inom block. c analyserar om medelvärdet för personernas bedömning av olika parcellvariabler skiljer sig åt inom blocken. Dessutom innehåller modellen den parvisa samspelseffekter mellan personer och block samt de slumpvisa avvikelserna (e). Samtliga variabler i modellen är satta som stokastiska, vilket innebär att analyserna har gjorts utifrån att de observerade värdena är ett slumpvis stickprov av de totala populationerna av personer, block (bestånd) och replikat inom block (parceller). Alternativet hade varit att sätta en eller flera variabler som fixa i modellen, vilket hade gjort att resultaten enbart hade gällt just de studerade personerna, blocken och replikaten.

Vid analys av skattningar från skogsmaskinen användes en envägs-ANOVA för b (dvs. a , ab och c exkluderades ur ekvation [7]) eftersom två personer inte kunde utföra samma behandling på samma parcell. Trots att olika personer gjorde skattningarna betraktades de som oberoende observationer. Även vid jämförelser av olika sätt att skatta mängden TS har den förenklade ANOVA-modellen använts. ANOVA-modellerna analyserades genom en general linear model (GLM).

Samband mellan olika variabler har analyserats med linjär regression. Till skillnad från de övriga analyserna användes vid regressionsanalyserna variablernas faktiska värden och inte relativa värden. Som gräns för signifikanta skillnader har 5 % använts.

3 Resultat

3.1 Subjektiv skattning innan skörd

Det fanns inga signifikanta skillnader mellan försökspersonernas förmåga att skatta vare sig medeldiameter, höjd, stamantal ($p \geq 0,720$) eller den framräknade mängden TS enligt Marklund (1988) ($p = 0,473$) (bilaga 3). Det fanns inte heller någon samspelseffekt mellan försöksperson och block för någon av de fyra variablerna ($p \geq 0,122$). För stamantal, medelhöjd och TS skiljde sig medelvärdet av försökspersonernas skattningsförmåga mellan parcellerna signifikant inom blocken ($p \leq 0,056$). För medeldiameter fanns nästan en sådan signifikant effekt ($p = 0,058$).

Det fanns en signifikant huvudeffekt av blockindelningen för stamantal och medelhöjd ($p \leq 0,044$) medan bedömningsförmågan inte skilde sig mellan blocken för medeldiameter och beräknad TD ($p \geq 0,132$). För diameter skilde sig skattningsförmågan för block 1 från skattningsförmågan i 2 och 3 (tabell 5, figur 1). För höjd, stamantal och TS skilde sig block 3 åt från block 1 och 2.

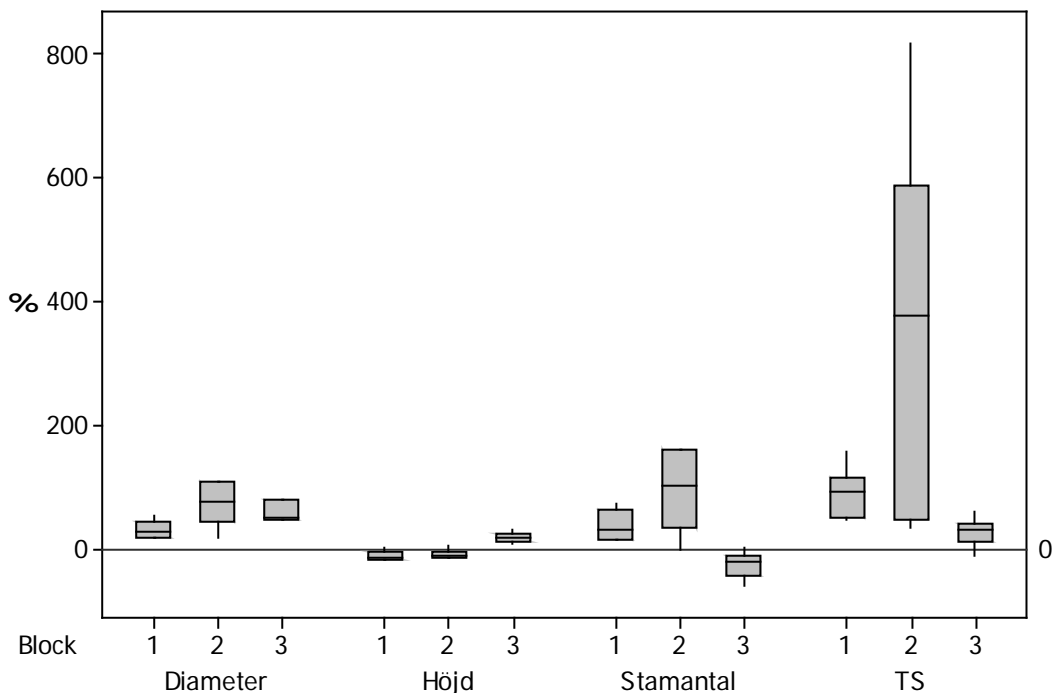
Tabell 5. Relativ skattningsnoggrannhet (medelvärden och standardavvikelse (SD) för de båda försökspersonerna, dvs $N=6$ per block) för samtliga subjektivt inventerade variabler och den beräknade mängden torrsubstans (TS) fördelat på de olika blocken. Positiva värden anger överskattning medan negativa värden anger underskattning (%)

Table 5. Relative estimation accuracy (mean and standard deviation for both test persons, i.e. $N=6$ per block) for all subjectively assessed variables and the calculated quantity of dry matter distributed over blocks. Positive values represent overestimations whilst negative values represent underestimation (%)

Variabel	Block					
	1		2		3	
	Medelvärde	SD	Medelvärde	SD	Medelvärde	SD
Diameter	29,5	14,7	72,5	34,4	57,2	16,6
Höjd	-12,2	7,3	-9,8	6,7	16,8	8,2
Stamantal	36,8	24,6	94,0	65,2	-26,3	21,3
TS	89,6	39,8	362	296	26,6	23,4

I förhållande till de objektivt skattade värdena har diameter överskattats i samtliga block vid den subjektiva skattningen, men var störst i block 2 där överskattning gjordes med hela 72,5 procentenheter (Tabell 5). Diameter var den enda skattade variabel med en konsekvent felbedömning (överskattning) i samtliga block. Höjden var den variabel som avvek minst från de objektivt skattade värdena. Noterbart är dock underskattningarna i både block 1 och 2. Stamantal överskattades i block 1 och 2, mest i block 2 där denna variabel överskattades med 94 procentenheter. I block 3 underskattades däremot stamantalet med 26 procentenheter. Den beräknade mängden TS överskattades i samtliga block men var störst i block 2 där överskattningen var hela 362 procentenheter (Tabell 5). För de skattade variablerna var spridningen störst för stamantal.

Den relativa skattningsnoggrannheten inom och mellan variabler åskådliggörs tydligt i boxploten i figur 1. Övre och undre kvartil representeras av boxens ytterkant medan strecket i boxen visar medianen. Max- och minvärdena visas av ytterkanterna på de vertikala strecken. Medianen är det mellersta värdet, medan den undre kvartilen visar att 25 % av alla värden ligger under det värdet och den övre kvartilen visar att 25 % av alla värden ligger över det värdet och därmed ligger 50 % av alla skattade värdena inom boxen. Boxen visar således värdenas spridning, men utelämnar extremvärden.



Figur 1. Relativ skattningsnoggrannhet för båda försökspersonerna (dvs N=6 per block) fördelat på block (1 – 3). Övre och undre kvartil representeras av boxens ytterkant medan strecket i boxen visar medianen. Max- och minvärdena visas av ytterkanterna på de vertikala strecken. Positiva värden anger överskattning medan negativa värden anger underskattning.

Figure 1. The relative estimation accuracy for both test persons (i.e. N=6 per block) distributed over blocks (1-3). Upper and lower quartiles are represented by the box. The line within the box represents the median (second quartile). The max- and minimum values are depicted by the vertical lines from each box. Positive values represent overestimation whilst negative values represent underestimation (%).

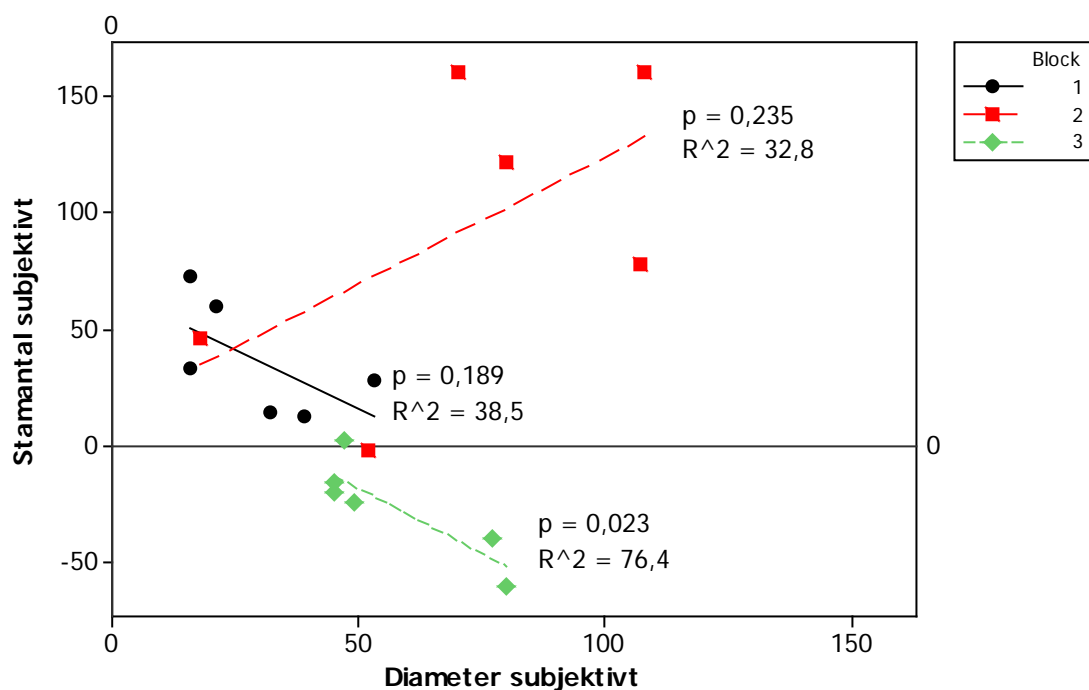
Inom blocken (dvs N=6) fanns det inget linjärt samband mellan subjektivt och objektivt skattade värden, med undantag för TS i block 1 (tabell 6). I tabellen innebär lågt p-värde ($p \leq 0,05$) att det fanns en signifikant korrelation, medan R^2 -värdet anger i procent hur stor andel av variationen som korrelationen förklarar. Det fanns signifikanta ($p \leq 0,035$) korrelationer för samtliga variabler om analyserna gjordes över samtliga block (N=18).

Tabell 6. Regressionsparametrar för test av samband mellan objektivt skattad (y, kg) och subjektivt skattade (x, kg) värden enligt den linjära funktionen $y = a + bx$

Table 6. Linear regression variables for the test of relation between objectively estimated (y) and subjectively estimated (x) values according to the function $y = a + bx$

Variabel	Block	Konstant (a)	Koefficient (b)	p-värde	R^2 (%)
Diameter	1	1,802	0,532	0,263	29,7
	2	10,794	-0,194	0,188	38,6
	3	1,888	0,535	0,167	41,5
	Samtliga	2,057	0,489	0,000	78,3
Höjd	1	-48,910	1,973	0,178	39,9
	2	97,490	-0,251	0,413	17,3
	3	83,540	0,050	0,917	0,3
	Samtliga	45,545	0,424	0,000	70,4
Stamantal	1	6510,000	0,045	0,889	0,6
	2	-1080,000	0,807	0,118	49,6
	3	3109,900	0,228	0,481	13,1
	Samtliga	1585,800	0,518	0,000	60,3
TS	1	35,700	0,530	0,047	66,7
	2	3314,000	-0,263	0,604	7,3
	3	4899,000	-0,015	0,469	13,8
	Samtliga	529,000	0,452	0,035	24,8

Regressionsanalyser för samtliga block (N=18) visar att det fanns en signifikant korrelation ($p = 0,001$, $r^2 = 50,1$ %) mellan subjektiv skattat stamantal och subjektiv skattad diameter. Korrelationen har en negativ trend som visar på att minskat antal stammar försvårar skattningen av variabeln diameter. När analyserna gjordes blockvis återfanns en signifikant korrelation ($p = 0,023$) endast i block 3. Detta tydliggörs i figur 2 där observationerna är mer koncentrerad runt regressionslinjen för block 3 än för block 1 och 2. För block 1 och 3 var tendensen att ju mindre man överskattade stamantal desto mer överskattade man diameter. För block 2 fanns inget signifikant samband mellan skattningarna ($p = 0,235$) men tendensen som skönjdes var att ju mer stamantalet överskattades desto mer överskattades också diametern, dvs det omvända förhållande jämfört med block 1 och 3.



Figur 2. Korrelationen mellan subjektivt skattat stamantal och diameter (relativa värden).
Figure 2. Correlation between subjectively estimated no. of trees and diameter (relative values).

3.2 Subjektiv skattning från maskinhytt

Det fanns inga signifikanta skillnader ($p \geq 0,251$) i förmågan att bedöma diametrar eller höjd mellan blocken (tabell 7). Det fanns nästan signifikanta skillnader ($p = 0,063$) i förmågan att bedöma stamantal mellan blocken, och den skillnaden var störst mellan block 2 och 3. Vid jämförelser av den framräknade mängden TS fanns det ingen signifikant skillnad ($p=0,229$) mellan blocken. Noterbart var överskattningen på 108 procentenheter i block 2.

Tabell 7. Relativ skattningsnoggrannhet (medelvärden och standardavvikelse (SD)) för samtliga maskinhyttsskattade variabler och den beräknade mängden TS fördelat på de olika blocken.

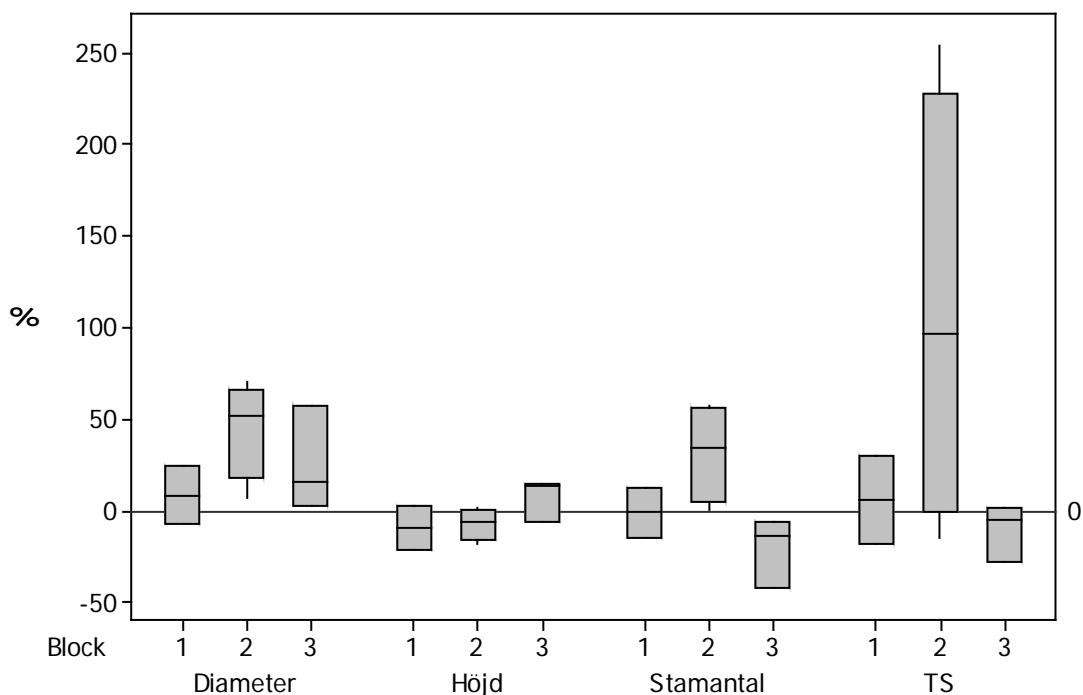
Positiva värden anger överskattning medan negativa värden anger underskattning (%)

Table 7. Relative estimations accuracy (mean and standard deviation for all three trial persons) for all subjectively inventoried variables and the calculated volume of dry matter for each stand. Positive values represent overestimations whilst negative values represent underestimation (%)

Variabel	Block					
	1 (n = 2)		2 (n = 4)		3 (n = 3)	
	Medel	SD	Medel	SD	Medel	SD
Diameter	8,4	22,6	45,2	27,1	25,1	29,0
Höjd	-9,7	17,1	-7,3	9,0	7,2	11,9
Stamantal	-1,1	19,5	31,6	26,8	-21,0	18,6
TS	6,2	34,3	107,9	119,4	-10,8	15,7

Jämfört med subjektiv markbaserad skattning var spridningen mellan den relativa skattningsnoggrannhetens övre och undre kvartil för de olika variablerna mindre vid skattning från maskinhytten (figur 3). Variabeln höjd hade även här den minsta spridningen och låg närmast referenslinjen (noll) för samtliga block. Noterbart var även här den extrema spridningen mellan övre och undre kvartil för TS i block 2, som ändå bara var hälften så stor som vid skattning från vägen (figur 1).

Jämfört med markbaserad skattning var skattningarna av diameter bättre i alla blocken vid skattning från maskinhytten (tabell 8). Höjden var även vid skattning från maskinhytten nära de objektivt skattade värdena. Skattningen av stamantal förbättrades i både block 1 och 2, med 38 respektive 62 procentenheter. Noterbart var även den stora förbättringen med 254 procentenheter för beräkningen av TS i block 2.



Figur 3 Relativ noggrannhet för skattningen från maskinhytten fördelat på block (1 – 3). Övre och undre kvartil representeras av boxens ytterkant medan strecket i boxen visar medianen. Max- och minvärdena visas av ytterkanterna på de vertikala strecken. Positiva värden anger överskattning medan negativa värden anger underskattning.

Figure 3. The relative accuracy from estimations during harvest distributed over blocks (1-3). Upper and lower quartiles are represented by the box. The line within the box represents the median (second quartile). The max- and minimum values are depicted by the vertical lines. Positive values represent overestimations whilst negative values represent underestimations.

Tabell 8 Skillnad i relativ skattningsnoggrannhet (medel och standardavvikelse (SD)) mellan subjektivt skattade värden från maskinhytt och från marken. Positiva och negativa värden anger att noggrannheten var bättre respektive sämre från marken jämfört med från maskinhytt (procentenheter)

Table 8. The difference in relative estimations accuracy (mean and standard deviation) between subjectively estimated values from the machine and from the ground. Positive and negative values indicate that the accuracy was better and worse, respectively, from the ground compared to the machine estimation

Variabel	Block					
	1		2		3	
	Medel	SD	Medel	SD	Medel	SD
Diameter	-21,1	7,9	-27,3	7,3	-32,1	12,4
Höjd	+2,5	9,8	+2,5	2,3	-9,6	3,7
Stamantal	-37,9	5,1	-62,4	38,4	+5,3	2,7
TS	-83,4	5,5	-254,1	176,6	-37,36	7,7

3.3 Jämförelse av beräkningsfunktioner för TS samt invägd mängd TS

Mellan blocken fanns det signifikanta skillnader ($p=0,041$) mellan invägda och objektivt skattade TS-mängder (Bilaga 1), och skillnad var störst mellan block 2 och 3. Det fanns ingen signifikant skillnad ($p= 0,322$) mellan blocken vid jämförelse av objektivt skattad mängd TS beräknat med Marklunds (1988) respektive Ulvcronas (2008. pers. komm.) funktion (tabell 9).

Tabell 9. Mängd TS (medelvärde och standardavvikelse (SD)) vid invägning samt objektiv skattad mängd TS beräknad med Ulvcronas (2008, pers. komm.) funktion jämfört med objektiv skattning beräknad med Marklunds (1988) funktion (%). Positiva värden innebär att invägningen respektive beräkning enligt Ulvcrona gav större mängder TS än beräkning enligt Marklund

Table 9. Dry matter quantities (mean and standard deviation (SD)) from chipping weights and objectively estimated dry matter volume calculated with Ulvcronas (2008, pers. comm.) function compared to objective estimations calculated with Marklunds (1988) function (%). Positive values mean that chipping weight and calculations with Ulvcrona's function, respectively, gave larger quantities of dry matter than calculation using Marklund's function

Jämförelse	Block					
	1		2		3	
	Medel	SD	Medel	SD	Medel	SD
Invägt mot Marklund ¹	12,1	11,8	60,6	64,1	-29,6	16,2
Ulvcrona mot Marklund	6,7	2,2	22,1	9,6	29,4	28,7

¹) Medelvärdet i block 1 baseras på tre parceller (N = 3), i övriga block baseras medelvärden på fyra parceller (N = 4)

Regressionsanalyser med samtliga block inkluderade (N=11) visade att signifikanta samband ($p=0,008$) fanns mellan den markbaserade objektiva skattningens mängd TS beräknad med Marklunds (1988) funktioner och TS invägd efter flisning (tabell 10). Vid analyser inom blocken (N=4 i block 2 och 3, N=3 i block 1) fanns dock inga signifikanta samband ($p \geq 0,102$).

Tabell 10. Regressionsparametrar för test av samband mellan invägda mängd torrsbstans (y, kg) och objektiv skattade mängd torrsbstans enligt Marklund (1988) (x, kg) enligt den linjära funktionen $y = a + bx$

Table 10. Linear regression variables for the test of relation between chipping weight-based assessment of dry matter (y, kg) and subjectively estimated dry matter volume using Marklund's (1988) function (x, kg) according to the function $y = a + bx$

Block	Konstant (a)	Koefficient (b)	p-värde	R ² (%)
1	135,900	1,010	0,128	96,0
2	1447,400	0,6434	0,102	80,6
3	2912,600	0,019	0,900	1,0
Samtliga	1393,300	0,415	0,008	56,5

Det fanns en signifikant korrelation ($p=0,000$, $R^2=93,0$ %) mellan objektivt skattad mängd TS beräknad enligt Marklund (1988) och enligt Ulvcrona (2008, pers. komm.) då samtliga block inkluderades (N=12).

3.4 Den subjektiva skattningens avrundningsfel

Avrundningsfelet blir större ju lägre diameter och höjd som bedöms, vilket även gäller för antalet träd (tabell 11, 12 och fig. 4). För diameter uppgår det potentiella relativa avrundningsfelet som mest till en överskattning av 87,4 % och en underskattning av 58,1 % av mängden TS. Höjdavrundningens inverkan är endast marginell ($\leq \pm 2,7$ %). Då diameter och höjdavrundningar kombinerades uppgick överskattningen som mest till 91,7% och underskattningen till 59,1 %. Noterbart är att då diameters min- eller maxvärden används så blir det relativa avrundningsfelet i diameterklass 2 högre än i både klass 1 och 3. Detta beror på att klass 1 endast har en klassbredd på tre centimeter medan resterande klasser har fem centimeter i klassbredd.

Tabell 11. Relativt avrundningsfel (FP) för de skattade variablerna diameter och höjd för fem diameterklasser med fem olika höjder. Varje rad representerar ett träd (en björk). Positiva värden anger överskattning medan negativa värden anger underskattning

Table 11. Relative rounding error of the estimated variables height and diameter for five diameter classes with five different heights. Each row represents one tree (birch). Positive values indicate overestimation whilst negative values indicate underestimations

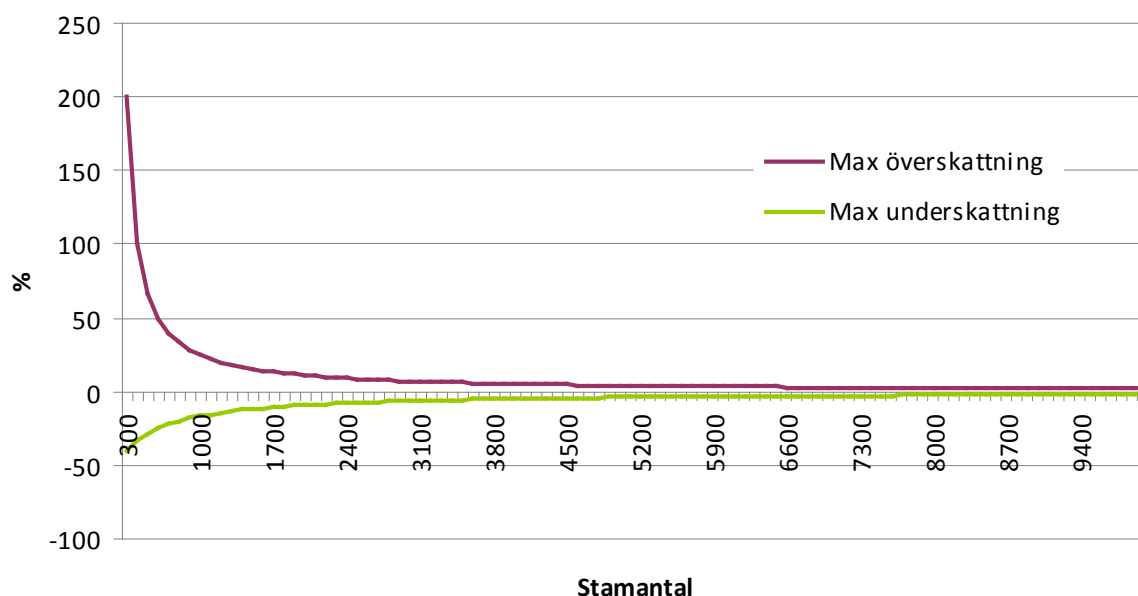
Klass	Diameter		Höjd		FP (%)
	Mått (cm)	Klassläge	Mått (dm)	Klassläge	
1	3,000	Min	50,000	Mitt	-41,1
2	5,000	Min	60,000	Mitt	-58,1
3	10,000	Min	80,000	Mitt	-37,6
4	15,000	Min	100,000	Mitt	-25,7
5	20,000	Min	120,000	Mitt	-18,5
1	4,999	Max	50,000	Mitt	57,4
2	9,999	Max	60,000	Mitt	87,4
3	14,999	Max	80,000	Mitt	45,0
4	19,999	Max	100,000	Mitt	27,9
5	24,999	Max	120,000	Mitt	19,1
1	4,000	Mitt	47,500	Min	-2,7
2	7,500	Mitt	57,500	Min	-2,4
3	12,500	Mitt	77,500	Min	-1,9
4	17,500	Mitt	97,500	Min	-1,7
5	22,500	Mitt	117,500	Min	-1,5
1	4,000	Mitt	52,499	Max	2,7
2	7,500	Mitt	62,499	Max	2,4
3	12,500	Mitt	82,499	Max	2,0
4	17,500	Mitt	102,499	Max	1,7
5	22,500	Mitt	122,499	Max	1,5
1	3,000	Min	47,500	Min	-43,2
2	5,000	Min	57,500	Min	-59,1
3	10,000	Min	77,500	Min	-38,9
4	15,000	Min	97,500	Min	-27,0
5	20,000	Min	117,500	Min	-19,7
1	4,999	Max	52,499	Max	61,4
2	9,999	Max	62,499	Max	91,7
3	14,999	Max	82,499	Max	47,8
4	19,999	Max	102,499	Max	30,0
5	24,999	Max	122,499	Max	20,8

För stamantal blir det relativa avrundningsfelet som störst vid lågt antal stammar och vid högre stamantal minskar noggrannhetsfelet exponentiellt (figur 5). I tabell 12 visas hur det relativa avrundningsfelet förändras med olika stamantal som återfanns i studien.

Tabell 12. Tre exempel för det relativa avrundningsfelet vid en mätnoggrannhet av 400 stammar/ha. Tabellens lägsta och högsta stamantal är det lägsta respektive det högsta skattade stamantalet i studien.

Table 12. Three examples of the relative rounding error with a measuring accuracy of 400 trees/ha. The table's lowest and highest number of trees are the lowest and highest, respectively, tree numbers estimated in the study

Skattat antal per parcell	Uppräknat antal per ha			Maximalt relativt avrundningsfel (%)	
	Mitt	Min	Max	Överskattning	Underskattning
40	1600	1400	1800	14,3	-11,1
140	5600	5400	5800	3,7	-3,4
280	11200	11000	11400	1,8	-1,8



Figur 4. Stamantalets inverkan på det relativa avrundningsfelet vid en mätnoggrannhet på 400 stammar per hektar. Positiva värden anger överskattning medan negativa värden anger underskattning.

Figure 4. The stand density's impact on the rounding error at a measuring accuracy of 400 trees per hectare. Positive values indicate overestimations whilst negative values indicate underestimations.

4 Diskussion

4.1 Skattningar av de olika variablerna

Analysen visade på att det inte fanns någon signifikant skillnad mellan person A och B:s förmåga att skatta de efterfrågade variablerna, utan att de skillnader som fanns dem emellan var slumpmässiga. Jämfört med den objektiva inventeringen har dock skattningarna av de olika variablerna varierat ganska kraftigt.

Förmågan att skatta höjd var bäst, då alla skattningar utom en hamnade inom målsättningen på $\pm 20\%$. Ett enda värde översteg målsättningen, nämligen en överskattning med 31 % i block 3. Eftersom också standardavvikelsen var störst i block 3 kan man tänka sig att svårigheten att skatta höjd ökar med ökande höjd på beståndet. Trots att höjden skattades som ett medel för hela parcellen och inte för varje diameterklass låg värdena väldigt nära den objektivt skattade medelhöjden, fastän det fanns en ganska stor höjdspridning inom varje parcell (tabell 2). Anledningen till att de subjektiva och objektiva skattningsvärdena ändå ligger relativt nära varandra kan bero på att de avvikande höjder som finns är underrepresenterad och därmed "försvinner" i det stora antalet stammar och man vid den subjektiva skattningen av höjden ser "ett" krontak. Dessutom skattas höjden från en väg så man får ett sidoperspektiv, vilket borde underlätta bedömningen. Om höjden ökar övergår dock detta perspektiv mot ett underifrån-perspektiv.

Stamantal var den variabel som var svårast att skatta och hade största avvikelsen i bedömningen på en enskild parcell (160 procentenheter) och svårast att skatta var block 2. Parcell 4 och 5 som ingick i block 2 hade det lägsta stamantalet (tabell 2) och det kan vara så att dessa parceller hade en luckigare karaktär som personerna inte tog hänsyn till i bedömningarna. Till denna studie finns inga dokumenterade uppgifter om luckigheten i parcellerna men det kan vara bra att ta med detta i eventuellt fortsatta studier av TJ-metoden.

Lövträdsandelen i parcell 7, 8 och 9 skilde sig kraftigt från övriga parceller (tabell 2). Den höga andelen barrträd i block 3 kan ha påverkat försökspersonernas förmåga att skatta stamantal och skulle kunna vara en bidragande orsak till att stamantalet underskattades i block 3 och överskattades i övriga block (tabell 5). Detta skulle kunna bero på att barrträden tog mest uppmärksamhet på grund av att de var grova och till utseende skilde sig markant från klena lövstammar. Dessutom borde det vara lättare att skatta diameter på exempelvis tall än på något lövträd på grund av de rakare och jämnare stammarna.

Diameterskattningen var den variabel som hade störst inbyggt avrundningsfel av alla variabler och hade alltså förenklats mest för att underlätta skattningen. Därför var skattningarna av denna variabel den mest intressanta att studera och i genomsnitt överskattades värdena i alla block, vilket skiljer sig från de andra variablerna. Överskattningar av diameter har i parcell 4 och 5 gjorts med över 100 %. Dessa parceller hade det lägsta stamantalet och analysen (fig. 2) pekar på att överskattning av diametern görs vid lågt stamantal. En tänkbar anledning kan vara att de enskilda grövre träden får för mycket fokus vid skattningarna då de klenare stammarna är relativt få.

Eftersom diametern systematiskt överskattades i alla parceller kan en lösning vara att man vid lågt stamantal viktar de olika diameterklasserna, med högst vikter för de klenaste diametrarna. För att förbättra nuvarande skattningar kan man eventuellt använda de funktioner som tagits fram i denna studie och presenteras i tabell 6. För samtliga skattade variabler återfanns signifikanta samband mellan objektivt och subjektivt skattade värden då samtliga block analyserades tillsammans, men sambanden återfanns inte vid analyser inom blocken. Korrektioner bör därför göras med försiktighet, särskilt om motsvarighet till blockindelning tillämpas. För framtagande av pålitliga korrektionsfaktorer vore bäst att göra om denna typ av studie fast i större skala, eftersom sambanden skulle kunna undersökas noggrannare med ett större datamaterial.

Blockindelningen hade en viktig effekt på förmågan att bedöma de olika variablerna, även om effekten inte var signifikant för alla variabler. Eftersom beräknad mängd TS hamnade närmast den objektiva skattningen i block 3 kan man säga att metoden fungerade bäst i bestånd med grövre och färre stammar. Detta skulle kunna förklaras av att bedömningsmetoden liknar den subjektiva skattningsmetoden som används vid skattning av vanliga skogsbestånd som nått gallringsålder.

4.2 Skattning från maskinhytten med hjälp av antalsräknare

Studien visar att skattning från maskinhytten förbättrade bedömningen av TS i nästan alla parceller. Den förbättrade TS-skattningen berodde framförallt på att skattningarna av stamantal och diameter förbättrades, i genomsnitt med 33 respektive 29 procentenheter. Att antalet stammar skulle komma närmare de objektivt skattade värdena var väntat, eftersom stammarna räknades vid skörden istället för att skattas. Att förbättringar dessutom skulle göras vid diameterskattningarna var dock mindre väntat. En förklaring till detta skulle kunna vara det faktum att person A hade utvecklat sitt tänkande och trimmat in bedömningsförmåga ännu mer sedan utbildningen. En annan trolig orsak till förbättring kan vara att skattning av höjd gjordes för varje diameterklass och inte en höjd för hela parcellen. Metodutvecklaren gjorde inte de subjektiva skattningarna från vägen men var väl införstådd i metodiken och därför kan man tänka sig att han skattade bättre än person A och B. En annan förklaring kan vara att när man sitter i maskinhytten kommer man upp något och får därmed en bättre överblick. Man skymms inte av småbuskar och annan lågväxande vegetation och därmed kan man göra bättre skattningar. Dessutom fås troligtvis en bättre känsla för beståndet sedan man har hanterat alla stammar och inte bara tittat på dem som en helhetsbild.

4.3 Invägda värden

Då det i denna studie även ingick jämförelser mellan den objektiva skattade mängden TS och den invägda mängden TS kan det konstateras att korrelationen dem emellan var förvånansvärt dålig. Detta kan bero på en rad olika faktorer, där en skulle kunna vara att TS har beräknats för björk trots att de egentliga lövträdslagen framför allt var al (övriga träslag) som trots allt inte har samma densitet som björk (Skogssverige 2008). Men en troligare orsak till avsaknaden av samband är nog det faktum att ett flisprov (5-liters hink) per parcell är för lite för att ge ett bra värde på fukthalten (Nylinder & Törnmark 1986, Hägg 2008), vilket är avgörande för bestämningen av mängden TS i den invägda flismängden.

4.4 Biomassa- och ekonomipotential

Utöver att utvärdera TJ-metoden var det i samband med studien av intresse att ta reda på vilka volymer som fanns i blocken för att få reda på ifall det finns vissa typer av bestånd som inte är lönsamma att skörda.

De parceller med lägst mängd TS enligt den objektiva skattningen innehöll ca 900 kg (tabell 2), vilket uträknat per kilometer och för bägge sidorna av vägen (skördebredd 5 m på var sida av vägen) skulle det innebära 36 ton TS/km. En total skördebredd på 10 m gör att en km motsvarar en hektar, dvs. att skördemängden också blir 36 ton TS/ha. Med ett energiinnehåll på 5,33 MWh per ton TS (Ringman 1995) skulle det innebära en energimängd på 192 MWh/km vilket kan jämföras med 7,6 MWh per km (skördebredd 5 m på var sida av vägen) vid skörd av gräs efter det allmänna vägnätet (Durling & Jakobsson 2000). Med ett pris på 180 kr/MWh (Johannesson 2007, pers. komm.) skulle denna energimängd skapa ett bruttovärde på 34 538 kr/km. Detta kan jämföras med parcell 8 (Block 3, grov diameter) som innehöll mest TS, vars dryga 194 ton TS/km skulle ge ett bruttovärde på 186 000 kr/km.

Det var ganska stora variationer såväl inom som mellan blocken i studien och troligtvis speglar det väl normalförhållandet längs vägarna. Troligtvis kommer det att vara svårt att hitta vägsträckor som innehåller enbart stora mängder TS, och det kommer nog snarare oftast vara en blandning av de olika typerna. Vid sammanslagning av alla studiens parceller fås en sådan blandning, vars invägda 21,5 ton (tabell 3) TS biomassa fördelat på 550 meter motsvarar ett medelvärde av 78 ton TS per kilometer vid en skördebredd av 5 m på var sida vägen. Detta är nästan det dubbla jämfört med den tidigare bedömda mängden 40 ton TS/km (Johannesson 2007, pers. komm.). I normalfallet är dock troligtvis mängden TS lägre än värdet i denna studie eftersom vägsträckor som saknar vägkantsvegetation också räknas in i den totala skördade vägsträckan.

För att beräkna lönsamheten måste intäkterna ställas mot kostnader för skörd och flisning. Detta kräver dock studier för att ta reda på skördesystemens effektivitet, vilket hittills saknas eftersom entreprenörernas ersättning betalas per timme utan krav på prestation. Som en fingervisning kan ändå nämnas att kostnaden för konventionell vägkantsröjning utan tillvaratagande av biomassa i genomsnitt är 680 kr/km (Johannesson 2007, pers. komm.). Kostnaden vid skörd torde dock vara betydligt högre än 680 kr/km och kanske till och med det tiodubbla p.g.a. det omfattande kranarbetet. Det beräknade bruttovärdet ligger dock såpass högt att den ekonomiska potentialen ändå verkar mycket lovande.

4.5 Felkällor

Inför denna studie identifierades subjektivt 12 parceller fördelade på tre olika block med avseende på diameter. Troligen hade noggrannare förberedande inventering, där även andra variabler än bara diameter hade tagits med, kunna förbättrat parcellernas likhet inom blocken. Med tanke på vägkantsbeståndens normala mosaikstruktur var det därför intressant att skillnader ändå återfanns mellan blocken.

Att variabeln stamantal vid skattning från maskinhytten och med antalsräknare hade avvikelser på upp till 58% (bilaga 1) jämfört med objektiva skattat stamantal var oväntat. Diskrepansen kan bero på tre faktorer. Den första är att skördade träd och inventerade träd kan misstämmas med avseende på hur små träd som skulle skördas. Förarna instruerades

och kalibrerades för att få samma nedre gräns som den objektiva inventeringen, men det kan hända att det ändå misstämde i vissa fall under skörden. Faktor två är om räkningen av skördade stammar inte fungerade korrekt, endera genom att den automatiska klippräknaren eller att förarens korrigerings vid skörd av flera stammar samtidigt antal inte fungerade hundraprocentigt. Slutligen så kan diskrepansen även bero på stickprovsfelet i den objektiva inventeringen. Att en så stor andel som 20 % av arealen inventerades objektivt borde dock ge representativa värden för hela parcellen. Vid väldigt ojämn beståndsstruktur kan dock ännu mer omfattande inventering krävas. Vid den objektiva inventeringen upplevdes parcellerna i block två som mest ojämna, och det var även det block där skillnaderna mellan subjektiv skattning och objektiv inventering var som störst.

Utöver inventeringsnoggrannhet finns det ekonomiska skillnader att ta hänsyn till vid valet mellan inventeringsmetodik. Tidsåtgången vid objektiv inventering var ca tre timmar per parcell, medan den subjektiva inventeringen var betydligt snabbare (10 minuter per parcell) och därmed avsevärt billigare.

4.6 Metodutvecklingsförslag

Eftersom diameter och stamantal var de variabler som var svårast att skatta (tabell 5) kan förbättringar i utbildningen av TJ-metoden göras och som ett första steg för att kalibrera sitt ögonmått skulle man kunna ta hjälp av en 1 m² stor träram som sedan placeras på ett eller flera representativa ställen. Med en sådan ram skulle stamantalet lättare kunna skattas. Diameterskattningen skulle kunna förbättras genom mätningar på några representativa träd.

Dessutom behöver det ursprungliga TJ-protokollet modifieras på samma sätt som i denna studie, nämligen att när barrandel anges måste man även ange om det domineras av tall eller gran. Detta är nödvändigt eftersom TS-beräkningarna utförs för endera trädslag och inte kollektivt för barrträd.

4.7 Slutsatser

Förhoppningen om att mängden TS skattad enligt TJ-metoden skulle ligga inom $\pm 20\%$ jämfört med den objektiva bedömningen uppfylldes inte i denna studie. I block 1 överskattades mängden TS med 90 procentenheter, i block 2 med 362 procentenheter och i block 3 med 27 procentenheter vid den subjektiva markbaserade inventeringen. Generellt kan det sägas att de subjektiva skattningarna oftast ledde till överskattningar jämfört med de objektiva inventeringarna. I förhållande till målsättningen kan det således påvisas att metoden inte fungerar. Men frågan är om det är realistiskt att ange 20 % som gräns eftersom enbart den inbyggda felprocenten vad gäller stamantal i metoden är 14 procentenheter (tabell 12).

En subjektiv inventeringsmetod har sina fördelar och nackdelar jämfört med den objektiva inventeringsmetoden. En stor skillnad mellan dessa två metoder är kostnaden för att genomföra dem och kostnaden skall vägas mot kvaliteten i det utgående materialet (skattningen). Beroende på vad man tänkt använda materialet till bör man bestämma sig för vilken kvalitet man är ute efter. En annan skillnad mellan subjektiv och objektiv inventering är att den objektiva metoden är uppbyggd på ett sätt som gör att den inventerande personens inverkan på resultatet skall vara minimal. Den subjektiva metoden kan variera mer från person till person och därmed kan resultatet ibland variera stort. Men med en gedigen utbildning i TJ-metoden och med lite erfarenhet är det troligt att kvaliteten

i det subjektivt bedömda materialet skulle vara tillräckligt bra för att ge en uppfattning om vilka volymer det handlar om och ifall det finns tillräcklig mängd för att motivera skörd. Dessutom skulle den subjektiva metoden kunna kompletteras med kontrolltaxering utförd med en objektiv inventeringsform. Detta skulle ge inventeraren en chans att korrigera eventuella fel och därmed ge ett kvalitetssäkrat och bra datamaterial. Utifrån dessa utvecklingsmöjligheter anses det finnas stor potential i den snabba och därmed billiga TJ-metoden.

Referenser

Litteraturkällor

- Anon. 1984. Svensk standard SS 18 7171:1, Biobränslen – Bestämning av askhalt. Standardisering i Sverige (SIS), Stockholm.
- Anon. 1997. Svensk standard SS 18 71 70, Biobränslen och torv – Bestämning av total fukthalt. Standardisering i Sverige (SIS), Stockholm.
- Anon. 2004. Skogsstatistisk årsbok. Skogsstyrelsen, Jönköping.
- Bergkvist, I., Lundmark, T. Rytter, L., & Thor, M. 2006. Uttag av biobränsle i ungskog. Arbetsrapport nr 611, Skogforsk, Uppsala.
- Bergström, D., Bergsten, U., Nordfjell, T. & Lundmark, T. 2007. Simulation of geometric thinning systems and their time requirements for young forests. *Silva Fennica* 41, 137-147.
- Durling, M., Jakobsson, K. & Svensson, S.E. 2000. Avsättning för väggkantsvegetation på Öland genom kompostering eller förbränning – förstudie. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för lantbruksteknik, Alnarp. Institutionsmeddelande 2000:07.
- During, M & Jacobsson, K. 2000. Slätter av vägkanter med upptagande slagslätteraggregat – energianvändning och kostnader vid upptagning, transport och behandling. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för lantbruksteknik, Alnarp. Institutionsmeddelande 2000:05.
- Hägg, K. 2008. Mätning av träddelar och flis på Dåvamyran, Umeå energi. Examensarbete (D-uppsats). Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig resurshushållning, Umeå. Arbetsrapport 223.
- Marklund, L.G., 1988. Biomassafunktioner för tall, gran och björk i Sverige. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för Skogstaxering, Umeå. Rapport nr 45.
- Nylinder, M. & Törnmark, J. 1986. Mätning av bränsleflis, spån och bark. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för virkeslära, Uppsala. Rapport nr 173.
- Ringman, M. 1995. Trädbränslesortiment – definitioner och egenskaper. Sveriges lantbruksuniversitet. Fakta Skog nr. 5.

Elektroniska källor

Katrinelund energi 2008. Elförbrukning och kostnader. 2008-03-20.

http://www.keab.se/keab/kundservice/fragor_och_svar/elforbrukning_och_kostnad/

Skogssverige 2008. Densiteten i några vanliga träslag. 2008-03-20.

<http://www.skogssverige.se/skog/skogen/swe/lathund.cfm>

Muntliga referenser

Tomas Johannesson, 2007. Projektledare, SCA Norrbränsle. Strand 455, 833 95
Strömsund.

Lars-Åke Olofsson, 2007. Maskinförare, Hallviken Skog AB. Nordringen 20, 833 35
Strömsund

Kristina Ulvcróna, 2008. Enheten för Skoglig Fältforskning, SLU. Svartbergets Fältstation,
922 91 Vindeln

Bilaga 1. Subjektivt skattade värden fördelat på parceller

Block	Parcell	Antal träd (n/ha) <i>Number of trees (n/ha)</i>			Medel- diameter (cm pb dbh) <i>Mean diameter (cm pb dbh)</i>			Medelhöjd (dm) <i>Mean height (dm)</i>		
		Person		Maskinhytts- skattning	Person		Maskinhytts- skattning	Person		Maskinhytts- skattning
		A	B		A	B		A	B	
1	1	10000	8800	6640	7,5	6,8	6,1	55	60	61
1	2	10400	8000	6760	6,8	6,8	5,4	60	60	56
1	3	8000	11200	-	8,5	7,8	-	60	60	-
2	4	5200	5200	3000	16,5	13,5	13,5	70	70	70
2	5	4000	3200	2840	13,5	15,5	11,5	70	80	76
2	6	7600	5120	5240	10,5	13,5	9,5	70	70	84
3	7	3200	4280	3600	15,8	15,5	10,8	100	100	100
3	8	2400	2520	2800	19,5	19,5	15,5	110	100	88
3	9	1600	2400	2320	18,8	18,5	16,5	110	100	96
1	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	11	-	-	4720	-	-	12,5	-	-	69
3	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Bilaga 2. Beräknade torrsubstansmängder (kg) fördelat på skattningsmetod och parcell

Block	Parcell	Objektivt skattat		Flisning	Subjektivt skattat				Maskinhyttskattning	
		Marklund	Ulvcrona		Skattning från mark		Maskinhytts- skattning	Maskinhytts- skattning		
				Marklunds funk.	Ulvcronas funk.	Marklunds funktion			Ulvcronas funktion	
		Person	Person	A	B					
1	1	968	1002	1200	2483	1957	2306	1894	1263	1263
1	2	1211	1312	1244	2313	1779	2239	1722	992	999
1	3	1935	2089	2119	2928	3672	2675	3352	-	-
2	4	912	1005	1715	8369	5596	7942	5261	3228	3035
2	5	983	1309	2323	4439	4971	4253	5266	2476	2638
2	6	3619	4345	3342	4778	5510	4554	5180	3078	3311
3	7	4750	5454	2816	6137	7565	6792	8232	3394	3996
3	8	4848	5441	3199	6350	6445	7281	6215	4905	5554
3	9	4821	5695	2986	4201	5796	4170	5535	4585	5351
1	10	1355	1450	-	-	-	-	-	-	-
2	11	3180	3977	4004	-	-	-	-	4486	4552
3	12	3166	5457 ^a	2984	-	-	-	-	-	-

^a Två grova lövträd (det ena 24 cm i brösthöjdsdiameter och ca 18 m högt) drog upp biomassavolymen beräknad med Ulvcronas funktion, vilken är framtagen för riktigt kläna träd. Uppräknat för hela parcellen innebar enbart de två träden en skillnad på två ton torrsubstans mellan de två beräkningarna.

Bilaga 3. Variansanalyser

Signifikansnivå (p-värde) för variansanalyserna samt förklarad andel av variationen (R^2 och justerat R^2). Om inte annat anges var error-termens frihetsgrader 6 för både modeller med fyra faktorer och med en faktor

Variabel	Personer	Block	Personer× Block	Replikat(Block)	R^2 (%)	Justerat R^2 (%)
Medeldiameter (%)	0,882	0,156	0,714	0,058	88,39	67,11
Stamantal (%)	0,720	0,044	0,241	0,012	96,01	88,69
Medelhöjd (%)	0,979	0,013	0,122	0,046	96,76	90,82
TS (%)	0,473	0,132	0,618	0,008	94,94	85,62
Mhs. ¹ medeldiameter (%)	-	0,335	-	-	30,56	7,41
Mhs. ¹ stamantal (%)	-	0,063	-	-	60,31	47,08
Mhs. ¹ medelhöjd (%)	-	0,251	-	-	36,91	15,88
Mhs. ¹ TS (%)	-	0,229	-	-	38,80	18,40
TS objektivt (Ulvcrona vs Marklund) ²	-	0,322	-	-	24,66	5,82
TS invägd vs TS objektivt enl. Marklund ³	-	0,041	-	-	55,00	43,76

¹) Mhs. = Maskinhyttskattat

²) Errortermens frihetsgrader var 9.

³) Errortermens frihetsgrader var 8.