

Lunds Universitets Naturgeografiska Institution

Seminarieuppsatser Nr. 86

**UPPSKATTNING AV
MÄNGDEN KOL I TRÄDFORM
- EN METODSTUDIE**

Johan Håkansson & Axel Körling



2002

Department of Physical
Geography,
Lund University
Sölvegatan 13, S-221 00
Lund, Sweden



ABSTRACT

As part of the undertakings of the Kyoto treaty, country-wise carbon balances must be brought forward. To do this, it is important to be able to make good estimations of the amount of carbon in forest areas. The reasons for this are to estimate the existing amounts as well as to prove changes over time.

The main goal of this study was to estimate the amount of carbon stored in trees in a hundred-year-old forest, more exactly Norunda in Uppland. The methods used involve relatively low requirements on equipment and prerequisite knowledge. The method is based on measurements, in a number of plots, of the diameter at breast height, the height and the crown length of the trees. The amount of dry biomass was calculated from these parameters by employing functions presented by Marklund (1988) and Johansson (2000). A vegetative classification, produced from aerial photographs, was used to upscale to larger areas. The amount of carbon was estimated to be half the amount of the biomass in dry weight.

Measurements were carried out in two forests of younger age, apart from the hundred-year-old forest. The measurements in these forests of the age of 30 and 60 years were carried out to test the method under different forestal preconditions.

The estimated amount of carbon above ground in the hundred-year-old forest sums up to 10.52 kg carbon/m² with an uncertainty of 18 %. We believe that the result gives a good value of the amount of carbon in the plots, although the value after upscaling to the whole area is too high. The high result can in part be explained by the fact that the amount of plots in study was too small. In comparison with the data collected by the Czech Institute of Forest Research in the same area our total result was 27.4 % higher.

In addition, Leaf Area Index (LAI) was calculated for the different forestal areas. The measurements were carried out using the instrument LI-COR LAI-2000 in the plots. To get an accurate LAI value the measured values were corrected with the use of some different methods. The use of LI-COR's own correction factor 1.65 probably gives a good result. Another way to estimate LAI was presented by Lagergren (2001). This method employs Specific leaf area as well as the weight of the needles per area unit. The weight of the needles can be estimated by using Marklund's functions. Also in this case, the upscaling of the results from the two methods of correction was carried out with the use of vegetative classification from aerial photographs. The two calculated results of LAI meant a mean value for Norunda of between 4.3-4.4 m²/m².

SAMMANFATTNING

Som ett led i de åtaganden som ställs på de länder som har undertecknat Kyoto-protokollet måste landvisa kolbudgetar fastställas. För att fastlägga bra kolbudgetar är det viktigt att kunna göra bra uppskattningar av kolmängden inom olika geografiska områden. Detta dels för att kunna uppskatta befintliga mängder och dels för att kunna påvisa förändringar över tiden.

Denna studie hade som huvudmål att uppskatta kolmängden i trädform inom ett 28,3 hektar stort, hundraårigt skogsområde vid Norunda i Uppland. Den metod som användes medför relativt låga krav på utrustning och förkunskaper. Metoden bygger på att trädens brösthöjdsdiameter, höjd och kronlängd mäts in inom ett antal mätplottar. Med dessa parametrar beräknades sedan mängden biomassa i torrsvikt med funktioner framtagna av Lars-Gunnar Marklund (1988) och Tord Johansson (2000). För att skala upp till större områden användes en beståndsindelning framtagen från flygbilder. I studien har kolmängden antagits vara hälften av mängden biomassa i torrsvikt.

Förutom det hundraåriga skogsområdet genomfördes även mätningar inom två områden med yngre skog. Dessa, inom ett 30- samt ett 60-årigt skogsområde, genomfördes för att testa fältmetoden under olika skogliga förutsättningar.

Utifrån mätningarna i Norunda beräknades mängden kol i trädform i plottarna. Denna beräkning skalades därefter upp till hela Norunda, vilket gav ett genomsnittligt värde på 10,52 kg kol/m² med en osäkerhet på 18 %. Beräkningen av kolmängden inom mätplottarna är relativt tillförlitlig, men uppskalningen medför troligen att värdet för hela området blir något högt. Det höga resultatet kan till viss del bero på att antalet i studien inmätta plottar var för få. Vid en jämförelse med data insamlade av det tjeckiska skogsforskningsinstitutet IFER inom samma område var vårt totalresultat 27,4 % högre.

I studien har även Leaf Area Index (LAI) i de olika skogsområdena beräknats. Mätningar genomfördes med instrumentet LI-COR LAI-2000 inom mätplottarna. För att ge ett rättvisande LAI-värde korrigerades mätvärdena med hjälp av ett par olika metoder. Användandet av LI-CORs egen korrigeringsfaktor 1,65 verkar ge ett bra resultat. En annan metod att uppskatta LAI presenteras av Lagergren (2001). Denna metod använder sig av Specific leaf area samt barrsvikt per ytenhet. Barrsvikt kan uppskattas med Marklunds funktioner. Uppskalning av resultaten från de två korrigeringsmetoderna skedde även i detta fall med beståndsindelning från flygbilder. De båda beräknade resultaten gav ett medel-LAI för det hundraåriga skogsområdet i Norunda på mellan 4,3-4,4 m²/m².

Följande skulle vi vilja tacka för stöd, hjälp och nya uppslag under arbetets gång:

Harry Lankreijer

Lars Eklundh

Richard Stenström

Karin Larsson

Maryland Cookies

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. INLEDNING	5
1.1 Syfte	6
2. BAKGRUND	7
3. TEORI - KOLLAGRING	9
3.1 Fotosyntes och respiration	9
3.2 Nettokolbalans	9
3.3 Skogsskötsel	10
4. OMRÅDESBESKRIVNING	11
4.1 Norunda	12
4.2 Skyttorp	12
4.3 Vegetation	13
5. TIDIGARE STUDIE	14
6. METOD	16
6.1 Möjliga metoder vid biomassauppskattning	16
6.2 Utnyttjad metod	16
6.2.1 Fältmätningar	17
6.2.2 Biomassafunktioner	19
6.2.3 Flygbildstolkning	21
6.2.4 LAI-mätningar	25
7. RESULTAT	27
7.1 Biomassa och kolmängd	27
7.2 Biomassa - omräkning av IFRs data	29
7.3 Trädfördelning	30
7.4 LAI	33
8. DISKUSSION	35
8.1 Beräkning av kolmängd/biomassa	35
8.2 Fältmätningar	35
8.3 Flygbildstolkning	36
8.4 LAI-mätningar	36
8.5 Felkällor	37
9. SLUTSATS	39
10. REFERENSER	40
APPENDICES	43

1. INLEDNING

Kol är nödvändigt för livet på jorden, då det är något alla levande organismer till stor del är uppbyggda av. Kol ingår i ett ömtåligt kretslopp, där såväl levande organismer som materia upptar och avger ämnet. Den förindustriella, av människan ostörda, kolbalansen är rubbad genom en ökning av utsläpp från antropogena källor, huvudsakligen i form av koldioxid från fossila bränslen. Koldioxid är en av de mest betydelsefulla växthusgaserna och halterna av ämnet i atmosfären har ökat markant, särskilt det senaste århundradet. Den förstärkta växthuseffekten kan ändra klimatförhållandena på jorden på både global och lokal nivå på för oss idag till stor del okända sätt. Dess viktigaste konsekvenser är förändringar i klimatsystemen, vilket medför ökad global medeltemperatur och förhöjd havsnivå. Klimatförändringarna medför även att betingelserna för växter och djur, liksom för människor, förändras (IPCC, 2001).

Den förstärkta växthuseffekten har diskuterades flitigt under flera år, och efter hand har dess existens blivit mer eller mindre allmänt accepterad. 1997 fastställdes det s k Kyotoavtalet, vilket skulle få till stånd minskningar i utsläppen av växthusgaser på global nivå. Det bestämdes då hur mycket de olika länderna skulle minska sina utsläpp av bland annat koldioxid. Utsläppsminskningen har enbart fastslagits i procent. För att veta hur mycket utsläppen ska minskas i reella tal måste varje land göra en kolbudget (IPCC, 2001).

Våra åtaganden enligt Kyotoprotokollet medför att vi behöver göra en nationell kolbudget. Dock är kunskapen om de processer som styr kolflödena idag för dålig för att kunna genomföra en sådan. Upprättandet av kolbudgetar är viktigt för att öka förståelsen för de processer som styr kolbalansen, samt för att utgöra underlag för åtgärder som måste vidtas för att minska ökningen av atmosfäriskt koldioxid (Morén et al., 2000).

För ett skogrikt land som Sverige är kollagringen i skogsområden av stor vikt, och där både i marken och i träden. För att kunna fastställa bra kolbudgetar är det viktigt att utveckla metoder för att uppskatta kolmängden, både ovan och under jord, inom större skogsområden. Det är i detta sammanhang denna studie kommer in. Studien har som ett av sina syften att undersöka en enkel metod för att uppskatta mängden kol bunden i trädform.

Metodiken i denna studie innebär att ett antal egenskaper hos träden mäts inom ett antal mätplottar. Genom användandet av funktioner för beräkning av mängden biomassa i träd kan sedan mätplottens biomassa uppskattas. Studieområdet delas utifrån flygbildstolkning in i beståndsklasser efter liknande egenskaper på flygbilderna. Mätplotten får representera ett ytmässigt större område genom att den tillfaller det bestånd den befinner sig inom. På så sätt kan en uppskalning av datan från mätningarna ske, och en uppskattning av biomassan i större områden blir därför möjlig.

1.1 Syfte

Huvudsyftet med denna studie är att undersöka en metod, som innehåller relativt enkla och lättillgängliga tillvägagångssätt, för att uppskatta mängden kol bundet i trädform. I denna studie uppskattas kolmängden från beräkningar av biomassan, då det finns ett enkelt samband mellan biomassa och kolmängd i träd. Kolmängden antas i det här fallet vara hälften av biomassan i torrsvikt. Den använda metoden innebär en beräkning av biomassan i torrsvikt gjord med träddata insamlade i fält. För att skala upp den beräknade biomassan till större områden utfördes en beståndsindelning med hjälp av flygbilds-tolkning. En metod som bygger på användning av flygbilder är jämförelsevis mer lättförståelig och lättillgänglig, samt lättare att genomföra, än en metod som bygger på exempelvis satellit- eller radarbilder.

Syftet är att beskriva den arbetsgång som studien haft samt de problem och felkällor som påträffats. Metoden ska också jämföras med avseende på tidsåtgång och resultat med en tidigare utförd beräkning av kolmängden i Norunda, i nordvästra Uppland. Den tidigare beräkningen genomfördes under försommaren 2001 av en grupp från Institute of Forest Research (IFER) i Tjeckien. Gruppen använde sig av systemet Field-Map, vilket bland annat är framtaget för att effektivisera fältarbete av den här typen. Som underlag för sin beräkning använde de en tidigare beståndsindelning.

Ett ytterligare syfte är att se hur väl metoden fungerar i olika skogar. Studien behandlar tre skogsområden med träd av olika genomsnittlig ålder; 30, 60 respektive 100 år. Områden av olika ålder studeras för att de representerar olika stadier i en skogs utveckling, och därmed har något olika egenskaper.

2. BAKGRUND

När växthuseffekten diskuteras är det viktigt att påpeka att den är en process som förekommer naturligt i atmosfären. Den förstärkta växthuseffekten är däremot en följd av påverkan från mänskliga aktiviteter. Den naturliga växthuseffekten är nödvändig för oss, eftersom jorden utan den hade varit en avsevärt mycket kallare och kanske till och med livlös planet. Växthuseffekten är en följd av växthusgaserna, vilka främst utgörs av vattenånga, men även av koldioxid och i mindre grad metan, freoner, ozon och lustgas. Förekomsten av dessa gaser medför att utstrålningen av långvågig värmestrålning från jorden minskar och att temperaturen därmed blir högre än den annars skulle ha varit. En ökad koncentration av växthusgaser, vilket är orsaken till den förstärkta växthuseffekten, medför därför att jordens medeltemperatur ökar. Koncentrationen av koldioxid i atmosfären har stigit drastiskt de senaste århundradena främst som en följd av människans ökande förbränning av fossila bränslen. Det finns dock en omfattande osäkerhet om hur den förstärkta växthuseffekten kan påverka det globala, liksom det lokala, klimatet (Ottosson & Ottosson, 1997).

Stora mängder kol finns bundet i världens skogar. Den allmänna åsikten inom forskarvärlden är att skogar normalt agerar som kolsänkor, vilket innebär att de fungerar som nettoupptagare av kol. Forskningen inom detta område är dock fortfarande relativt begränsad. Den här undersökta Norundaskogen ger exempelvis ifrån sig mer koldioxid än den tar upp (Morén et al., 2000). Upptag och utsläpp av kol från skogsområden kan variera till följd av bland annat skogens lokalitet, ålder, skogsskötsel och trädslag. Osäkerheten om hur mycket dessa olika faktorer påverkar kolbalansen är stor, och därför är det svårt att uppskatta om en särskild miljö har nettoupptag eller nettoutsläpp av kol (Walker & Steffen, 1997). Skogens kollagring sker både i den levande vegetationen och i marken. I marken lagras kol främst i form av döda växtdelar i olika grad av nedbrytning, men även till viss del i rötter. Det är svårare att beräkna mängden kol i marken än i träden, eftersom faktiska mätningar där endast med svårighet går att genomföra.

Det är viktigt att utöka förståelsen för kolets kretslopp för att kunna göra bättre uppskattningar och möjliggöra noggrannare framtidsprognoser. Beräkningar rörande kolinnehåll är av stor vikt för att visa på hur mycket av kolet i omlopp som är bundet i olika former. Vetskap om vilka former av kollagring som är viktiga, och hur denna lagring går till, ger förhoppningsvis insikter i vilka insatser som kan användas i bekämpningen av atmosfärens ökande koldioxidhalt (Morén et al., 2000).

År 1997 samlades världens ledare i Kyoto för att tillsammans få till stånd en minskning av utsläppen av växthusgaser, särskilt koldioxid. I det resulterande Kyotoavtalet bestämdes hur mycket av de olika växthusgaserna varje land fick släppa ut. Det fastslogs att i-ländernas utsläpp av växthusgaser skulle minskas med 5 % jämfört med 1990 års nivå. Detta åtagande ska uppnås någon gång under perioden 2008-2012. För u-länderna finns det enligt avtalet däremot inga krav på minskade utsläpp. Kyotoprotokollet började gälla då 55 länder hade undertecknat det, vilket skedde år 2001 (Ottosson & Ottosson, 1997; IPCC, 2001). USA, som står för en väldigt stor del av koldioxidutsläppen, valde tyvärr att inte underteckna Kyotoavtalet. Det har beslutats att det ska vara möjligt att tillgodoräkna sig den kolupplagring som sker vid vissa typer av skogsbruk. Ett land som genomför nyplanteringar av skog kan därför räkna med det som utsläppsminskningar. Möjligheten för i-länderna att handla

med utsläppskvoter för växthusgaserna har diskuterats. Tanken skulle då vara att ett land som inte utnyttjar hela sin utsläppskvot skulle kunna sälja delar av sin utsläppsrätt till länder som inte klarar sin kvot. Kyotoprotokollet innefattar även andra s k flexibla mekanismer för att minska utsläppen. Ett i-land ska t ex kunna tillgodoräkna sig utsläppsminskningar i ett u-land som uppkommit som en följd av investeringar gjorda där (www1).

Våra åtaganden enligt Kyotoprotokollet medför att vi behöver göra en nationell kolbudget. För att kunna göra en sådan krävs bättre förståelse för mekanismerna som styr ett ekosystems kolbalans. Dock är kunskapen om de processer som styr kolflödena idag för dålig för att kunna genomföra en sådan. Omfattande forskning sker dock för tillfället inom detta område. Möjligen är det så att de nordliga skogarna står för ett större upptag av koldioxid än tidigare beräknat (Morén et al., 2000).

För att kunna fastställa ett områdes kolbudget behövs kunskap om dess kolflöden. Dessa kan bestämmas antingen genom mätning av de atmosfäriska flödena, eller genom beräkning av skillnaden i områdets kolmängd över tiden. För att få fram ett områdes kolmängd behöver beräkningar göras på kolmängden både över och under markytan. Under markytan sker kollagring av nedfallet organiskt material. Direkt mätning av kolflödena sker vanligtvis genom att koldioxidhalten uppmäts på olika platser, och utifrån det beräknas kolflödet (Bergh et al., 2000).

För att kunna beräkna förändringen i ett områdes kolmängd över tiden är det viktigt att utveckla metoder för att uppskatta den befintliga kolmängden inom området. Ett områdes kolmängd kan beräknas genom att dess biomassa uppskattas, vilket har gjorts i denna studie. Som en tumregel kan man säga att ett träds kolmängd är hälften av dess biomassa.

Skogens kolbalans och mekanismerna bakom den är numera ett hett forskningsområde. Det pågår ett antal EU-stödda forskningsprojekt under det samlande namnet CarboEurope. CarboEurope är uppbyggt av ett antal mindre delprojekt, vilka studerar kolbalansens mekanismer på olika rums- och tidsskalor. CarboEurope syftar till att öka kunskapen om kolbalansen i Europas skogar. Genom den ökade kunskapen hoppas man bättre kunna förstå, kvantifiera och förutse kolbalansen på lokal, regional och kontinental nivå, vid både nutida och framtida förhållanden (CarboEurope, 2000).

I CarboEurope ingår ett projekt som kallas Carbo-Age. Projektet syftar till att förbättra kunskapen om skogens nettokolbalans och dess beroende av åldern. Dessutom studeras hur skogens kollagring förändras av klimatförändringar, samt hur vi genom förändrad skogsskötsel kan påverka denna kollagring. De skillnader som finns i skogsskötsel mellan olika delar av Europa avspeglar sig i kollagringen. Målet för Carbo-Age är att kunna ge en bild av kolutbytet för olika typer av skogar under deras hela omloppstid. Mätningar pågår på olika lokaler i fem länder runt om i Europa. Norunda är en av dessa lokaler (CarboEurope, 2000).

Förutom dessa EU-projekt pågår även ett antal nationella projekt där man studerar skötselmetoder för att öka kollagringen i skogsmark, samt metoder att prognostisera för hur en möjlig framtida klimatförändring kan komma att påverka skogens kollagringförmåga (Bergh et al., 2000).

3. TEORI - KOLLAGRING

Skogens betydelse för kollagringen och för den globala kolbudgeten har diskuterats länge. Kollagringen styrs av hur dess nettokolbalans ser ut. En skogs nettokolbalans är dess upptag minus dess förlust av kol. Nettokolbalansen kan därför även definieras som fotosyntes minus respiration under en viss tid.

3.1 Fotosyntes och respiration

Skogens kolbalans styrs av de för all växtlighet grundläggande processerna fotosyntes och respiration. Fotosyntesen utnyttjas av växtligheten för att lagra energin från den inkommande solstrålningen i form av olika sockerarter. I processen omvandlas, med hjälp av energin i solljuset, atmosfäriskt koldioxid och vatten till syre och druvsocker. Respiration kan rent kemiskt beskrivas som omvänd fotosyntes. Genom respirationen omvandlar växten återigen sockerarten till energi, och omformar alltså druvsocker och syre till vatten och koldioxid. Energin utnyttjar växten för att upprätthålla sina livsnödvändiga funktioner, även under perioder då fotosyntesen är begränsad eller inte möjlig. Även marken respirerar, främst genom att mikroorganismer i marken bryter ned biomassa i form av döda växter och djur, samt genom respiration från rötter (Smith & Smith, 2000).

Både fotosyntesen och respirationen är väldigt väderberoende, vilket gör att utbytet av koldioxid mellan skogen och atmosfären kan variera kraftigt över både kortare och längre tidsperioder. Det finns ett för träd starkt samband mellan inkommande solstrålning och fotosyntes (Smith & Smith, 2000). Fotosyntesen ökar snabbt med stigande temperatur upp till 15-20°C, då den når sitt maximum. Under sommaren begränsas fotosyntesen i Sverige av inkommande solstrålning och vattentillgång, medan den under vintern begränsas av temperaturen och tjälen i marken. Det finns även ett starkt samband mellan respiration och temperatur, som innebär att respirationen ökar exponentiellt med temperatur. Detta medför att i princip all fotosyntes och respiration i det kalla svenska klimatet sker under sommarhalvåret (Bergh et al., 2000).

3.2 Nettokolbalans

Skogens tillväxt, och därmed även nettokolbalans, beror på en mängd olika faktorer som skogens ålder, utvecklingsfas, typ av skogsekosystem, skogsskötsel, klimat och väder (Morén et al., 2000). Människan påverkar kolbalansen genom skogsskötsel, och på senare tid även genom de rubbningar i världens klimatsystem, som de ökande utsläppen av växthusgaser gett upphov till (Walker & Steffen, 1997). Eftersom nettoflödet av kol är litet i förhållande till storleken på fotosyntesen och respirationen är det känsligt för miljö- och klimatförändringar. Sådana förändringar kan därför innebära att en skogs kolupplagring byts ut mot förlust (Morén et al., 2000).

I genomsnitt tar en skog upp atmosfäriskt koldioxid under sommaren, medan den förlorar under vintern. Eftersom all fotosyntes sker under dygnets ljusa timmar är det enbart då ett nettoupptag av kol sker (Morén et al., 2000). Ett skogsområdes kolbalans

är även starkt beroende av i vilken fas av trädens livscykel det befinner sig. Normalt har en skog positiv kolbalans sett på hela dess livstid, och binder därmed stora mängder kol, men under vissa faser kan kolbalansen vara negativ (Bergh et al., 2000).

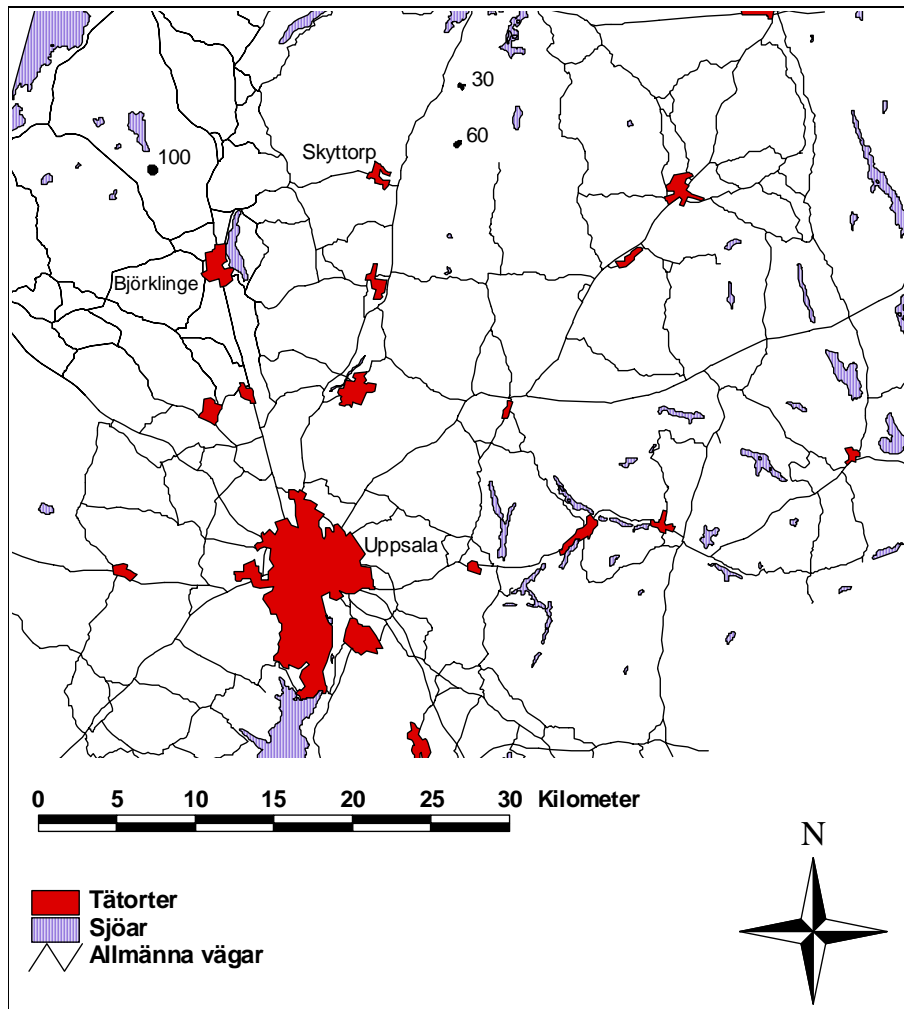
En skogs nettobalans är negativ under plantstadiet samt under den inledande delen av ungskogsstadiet. Detta är en följd av en kombination av låg fotosyntes och hög markrespiration. Den fotosyntes som sker under detta stadie är därför begränsad, och relativt liten i jämförelse med den i en sluten skog. Eftersom det i detta stadie av skogens utveckling inte finns så mycket skuggande träd blir marktemperaturen hög. Markens temperatur i kombination med dess lägre fuktighet innebär att markrespirationen blir hög. I och med att trädens tillväxt med tiden ökar, och beståndet därmed blir mindre öppet, sker en klart mer omfattande fotosyntes. Kollagringen är som störst i denna fas, när lägre marktemperatur, och därmed lägre markrespiration, kombineras med maximal biomassaproduktion. När skogen blir äldre minskar biomassaproduktionen åter, men kolupptaget fortsätter vanligtvis (Bergh et al., 2000). Hos äldre träd sker troligen en större del av tillväxten än tidigare i rötterna, medan trädet inte växer i lika stor grad ovanför markytan (Lankreijer, 2002).

3.3 Skogsskötsel

För att uppnå en stor kollagring i växtbiomassan bör man använda sig av skötselmetoder som upprätthåller en stor slutenhet inom skogen och där mängden fotosyntetiserande blad/barr är stor. Metoder som förkortar plant- och ungskogsfasen, som exempelvis viss typ av markberedning och plantering av snabbetablerande trädslag, påverkar skogens kolbalans positivt, sett över en skogs omloppstid (Bergh et al., 2000). Småskalig avverkning kan även ha samma effekt (Lankreijer, 2002). Dikning kan däremot medföra att en skog får negativ kolbalans under en följd av år. I en utdikad skog är markförhållandena nämligen mer syrerika än i en icke utdikad. Mindre fuktiga markförhållanden möjliggör för en större biologisk aktivitet i marklagret. Nedbrytningen går snabbare och i marken lägre liggande material påverkas och bryts ned. Norundaskogens negativa kolbalans kan därför bero på att marken där dikades för omkring 25 år sedan (Morén et al., 2000).

4. OMRÅDESBESKRIVNING

De studerade områdena är belägna i skogsmiljö i nordvästra Uppland omkring 30-40 km norr om Uppsala. Huvudstudien är gjord i Norunda (60°05'N, 17°29'E), en omkring hundraårig skog (ca 50 km från havet). Två ytterligare områden med trettio respektive sextio år gammal skog i närheten av Skyttorp har ingått i studien (Figur 1).



Figur 1: Översiktsskarta över undersökningsområdet med omgivningarna

Området där mätningarna genomförts ligger i den södra delen av den boreala zonen. Klimatet är relativt maritimt, dock kan en del somrar vara relativt torra och det förekommer riktigt kalla vintrar. Årsmedelnederbörden ett normalår är något större än avdunstningen. Uppsalas årsmedeltemperatur är 5,5 °C, nederbörden 527 mm/år och avdunstningen 454 mm/år (www2).

4.1 Norunda

Området som studien omfattar definieras som en cirkel med en radie på trehundra meter, med en 100 meter hög mast som mittpunkt. Masten används av Carbo-Age för mätningar av kolflöden på olika höjder för att bestämma kolutbytet mellan marken/vegetationen och atmosfären. Arean av cirkeln motsvarar 28,3 hektar. Området i vilket den hundraåriga skogen finns ligger på cirka 45 m.ö.h. och består till största delen av barrträd med en liten andel lövträd, främst björk och al. Skogsbruk har förekommit i området under de senaste 200 åren. Marktypen har klassificerats som en sandig-moig morän med en stor andel stenar och block (www2). Omgivningarna, särskilt norrut, upptas till stor del av sankmark. Även de norra och östliga delarna av området är till stor del fuktiga. Vår klassificering av blockighet och markfuktighet för de i denna studie inmätta plottarna kan ses i Appendix 1.

4.2 Skyttorp

Några kilometer nordost om Skyttorp har mätningar genomförts i två bestånd med olika åldrar; ett trettio- och ett sextioårigt. De två områdena kallas i studien för Skyttorp 30 respektive Skyttorp 60.

De två områdena är belägna i ett relativt flackt område på västra sidan av en höjdrygg ett fåtal kilometer öster om Fyrisåns dalgång. Utbredningen av hållar är relativt omfattande. Blockigheten synes vara lägre än i Norunda, i varje fall vad gäller blockens storlek. Den 60-åriga skogen ligger nästan 4 km söder om den 30-åriga. De båda områdena är belägna på omkring 60 m ö h. Den relativt dåliga dräneringen i omgivningarna medför att utbredningen av sankmark är omfattande, dock är andelen sankmark lägre i de av oss undersökta områdena. I Skyttorp 30 finns det partier med högre markfuktighet i områdets södra och västra delar. I de centrala delarna av Skyttorp 60 finns ett stråk (betecknas på Figur 6 som Område1) som är lägre beläget och fuktigare. I Skyttorpsområdena finns samma trädslag representerade som i Norunda, men med en ännu högre dominans av barrträd.

För bestånden vid Skyttorp bestämdes beståndsareorna med hjälp av skogsområdeskartor och tolkning av flygbilder. Eftersom beståndskartorna från markägaren, skogsbolaget Korsnäs, inte var särskilt exakta, och troligen bygger på tidigare av andra utförd flygbildtolkning, tog vi oss vissa friheter vid gränsdragningen. Detta innebär att vi till stor del försökte hitta särskiljande skogsbestånd på flygbilderna och utgick från dem. Beståndens areor för Skyttorp 60 och Skyttorp 30 är 12,4 respektive 9,4 hektar.

4.3 Vegetation

I undersökningsområdena finns huvudsakligen de fyra trädslagen gran, tall, björk och al representerade. Gran är tillsammans med tall absolut vanligast.

Gran (*Picea abies*) är det klart vanligaste trädslaget i Sverige. Den förekommer naturligt i hela landet förutom de allra sydligaste delarna, där den dock ofta finns inplanterad. Den växer helst på näringsrik och gärna fuktig mark. Eftersom granen har flera användnings-områden industriellt är större delen av granskogarna idag planterade (www3).

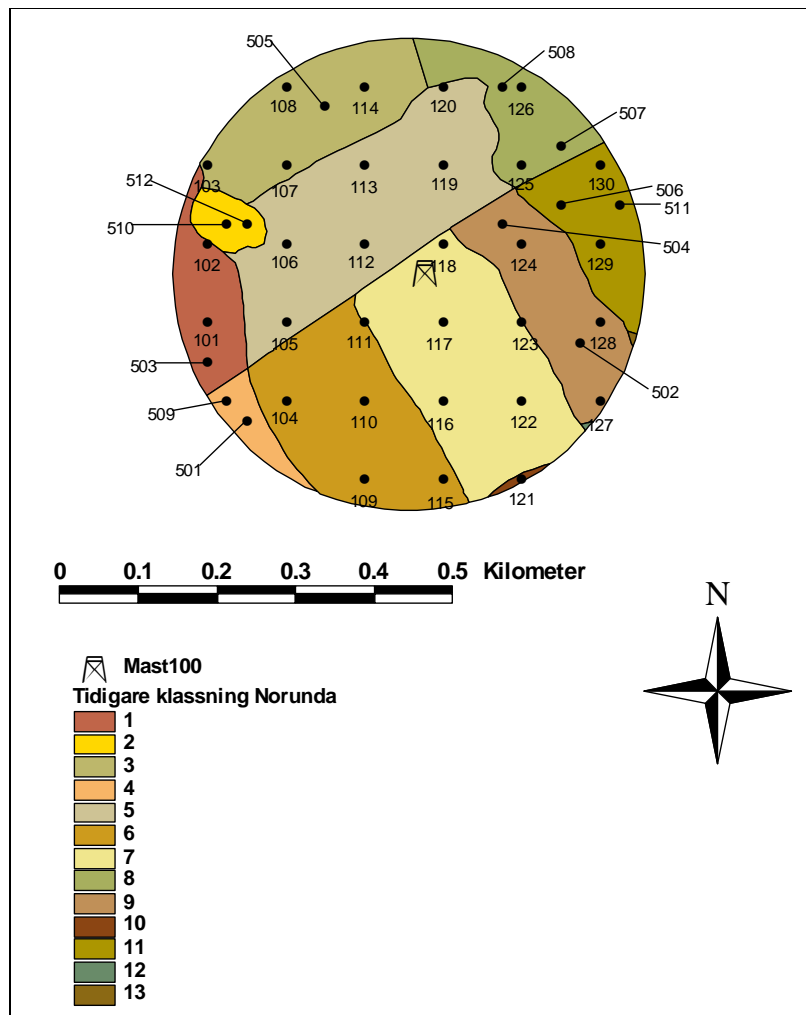
Tall (*Pinus sylvestris*) är efter granen det vanligaste trädslaget i Sverige. Den växer i princip i hela landet. Tallen är mer tålig än granen både vad gäller torrare och fuktigare förhållanden. Idag växer den mestadels på torra marker som hållmarker, sandmark och hedar. Även tallen är ofta planterad (www3).

I Sverige finns tre olika typer av björk representerade, glasbjörk (*Betula pubescens*), vårtbjörk (*B. pendula*) och dvärgbjörk (*B. nana*). Alla dessa typer kan även korsa sig med varandra. Både vårtbjörk och glasbjörk, vilka har stora likheter, växer i princip i hela landet. Vårtbjörken föredrar dock torrare marker medan glasbjörken vanligtvis växer i fuktigare områden. Dvärgbjörken växer däremot främst på myrmarker eller hedar i norra Sverige (www3). I undersökningsområden finns både vårtbjörk och glasbjörk representerade, ungefärligen i lika stor grad. Man kan anta att de största björkarna i området är vårtbjörkar, eftersom det är den mest storväxta typen.

I Sverige finns två typer av al representerade, klibbal (*Alnus glutinosa*) och gråal (*A. incana*). Klibbalen finns huvudsakligen i södra och mellersta Sverige söder om 65 N, medan gråalen främst förekommer i mellersta och norra delarna av landet. Identifieringen av de båda altyperna försvåras av att det även förekommer hybrider av dem. Alen förekommer särskilt i fuktiga skogsområden och i gränsområdet mellan skog och bebyggelse. Klibbalen har högre krav på markfuktighet och bördighet, medan gråalen växer även på magra marker. I det undersökta området, som ligger i Mellansverige, kan båda altyperna förekomma (www3). Klibbalen är dock enligt vad vi erfarit den absolut vanligaste i de undersökta områdena

5. TIDIGARE STUDIE

En tidigare utförd beräkning av biomassan i Norundaområdet gjordes under sommaren 2001 av en grupp från Institute of Forest Research i Tjeckien. Gruppen använde sig av systemet Field-Map som bland annat är framtaget för att effektivisera fältarbete av den här typen. Field-Map systemet innehåller ett antal instrument och en fältdator med vilken man redan i fält kan börja behandla insamlad data. I systemet ingår GPS, elektronisk inklinometer, elektronisk kompass, elektronisk klave samt en laseravståndsmätare. Till fältdatorn finns ett antal program för bearbetning av de olika instrumentens data. Data kan även läggas in direkt i ett GIS-datalager (IFER, 2001).



Figur 2: Plottar uppmätta av IFER på Peter Hjelms beståndsklassificering

Gruppen har inom det hundraåriga beståndet mätt in 42 plottar (se Figur 2). Dessa cirkulära plottar hade en radie på 12,6 m och täckte var och en nästan 500 m². Inom plottarna medräknades träd beroende av trädiameter och dess avstånd från plottens centrum. Upp till 3 m från mittpunkten medräknades alla med brösthöjdsdiameter (DBH) över 7 cm, upp till 7 m alla träd med DBH över 12 cm och upp till 12,6 m från plottcentrum alla med DBH över 25 cm. Man har använt sig av en tidigare utförd beståndsklassning av Norunda, för att skala upp till hela det berörda området. Denna

klassificering gjordes av Peter Hjelm, vid Hydrologiska Institutionen på Uppsala universitet. Samma beståndsklassning används även i Lundin et al. (1999).

För omräkning till biomassa användes funktioner framtagna av Lars-Gunnar Marklund (1988). Den sammanlagda arean av de inmätta plottarna motsvarar 7,4 % av totalarean. Resultatet presenterades i IFER (2001), där dock slutresultatet jämfört med våra värden var väl höga. Därför gjordes i denna studie en ny beräkning av kolmängden med samma data, vilket presenteras i resultatdelen. För att göra jämförelser möjliga med vårt resultat beräknades även kolmängden i trädform fram med vår beståndsindelning. Det visade sig dock att IFERs cirkel omkring masten i Norundaområdet låg något fel både i anpassning till våra och deras egna angivna koordinater för masten. IFERs cirkelcentrum låg 11 meter söder och 20 meter väster om den punkt som de angivit som tornet. Jämfört med vår mätning av masten låg IFERs cirkelcentrum 2 meter söder och 21 meter öster om. Detta fel kan delvis bero på bristande noggrannhet vid positionsbestämning med GPS. Felet gjorde att vid en jämförelse med vår flygbildstolkning hamnade tre av IFERs mätplottar (103, 503, 509) utanför cirkeln och har därför i jämförelsen ej medräknats.

6. METOD

6.1 Möjliga metoder vid biomassauppskattning

Det finns ett antal möjliga metoder att med hjälp av fjärranalys uppskatta mängden skoglig biomassa inom större områden. Några av dessa presenteras kort nedan:

Med satellitbilder och de spektrala signaturerna hos kända provytor kan uppskalningar göras. Satellitbilden klassas med provyternas spektrala signatur som underlag. På bilden kan sedan kNN-metoden (k-nearest neighbor) appliceras. Områden som initialt saknar provytsdata tilldelas det från de provytor de spektralt liknar mest. Data från provytor kan bland annat fås från riksskogstaxeringen (Fazakas et al., 1999; www4).

SAR-bilder (Syntetisk Apertur Radar) kan användas för biomassauppskattning. SAR är en radar som genom att kombinera ett stort antal bilder av samma bildfält förbättrar bildupplösningen. Ett exempel är det flygburna CARABAS-systemet som är utvecklat av FOA i Linköping. Fördelen med radar är att den till skillnad från optiska bilder fungerar i alla väder, samt att den ser genom krontäckningen. Med SAR kan mätningar göras direkt av de enskilda träden. CARABAS är bra på att uppskatta virkesförråd när skogen står på relativt plan mark. Vid lutande eller kuperad mark måste en del korrektioner genomföras. Systemet är dock relativt begränsat vid mätning av vissa skogsparametrar. Metodutveckling baserad på laserteknologi pågår dock för detektering av enskilda träd, mätning av beståndshöjd och kronslutenhet (www5; www6; Walter, 1999)

Nezry et al. (www7) visar en metod där man kombinerar optiska bilder och SAR-bilder från satelliter. I artikeln används en trekanals optisk bild från SPOT i kombination med SAR-bilder från RADARSAT och ERS. Genom att kombinera de olika typerna av satellitbilder kan bra vegetationsklassificeringar göras samtidigt som träden mäts. En annan fördel med metoden är att den kan kompensera för molntäckta ytor på satellitbilden med data från ej molntäckta ytor genom att jämföra SAR-data. På de sammanslagna bilderna tillsammans med en modell över skogen struktur genomförs en uppskattning av trädvolym med goda resultat vid jämförelse mot fälldata. Volymen kan sedan omräknas till biomassa.

6.2 Utnyttjad metod

Ett av syftena med den här studien var att undersöka en metod som utnyttjar relativt enkla medel och enkel metodik för uppskattning av kolmängd. I metoden ingår även att skala upp den uppskattade biomassan till större områden. Metodens tre delmoment är fältmätningar, flygbildstolkning och biomassberäkning. Dessutom har mätningar genomförts med LI-COR LAI-2000 för att beräkna områdenas medel-LAI (Leaf Area Index). Medel-LAI för bestånden beräknas på två sätt. Dels efter korrigerade mätvärden från mätningar med Li-Cor LAI-2000. Dels genom en metod som uppskattar LAI efter mängden barr. Syftet med detta är att se hur väl de olika metoderna överensstämmer med varandra samt att få ytterligare ett mått på barrmängderna inom områdena.

Som ett första steg innan fältmätningarna kunde inledas byggdes en GIS-databas i ArcView upp för området. Den tidigare beståndsklassificering över Norunda lades in tillsammans med vägar, sjöar och tätorter från röda kartan på CD-ROM.

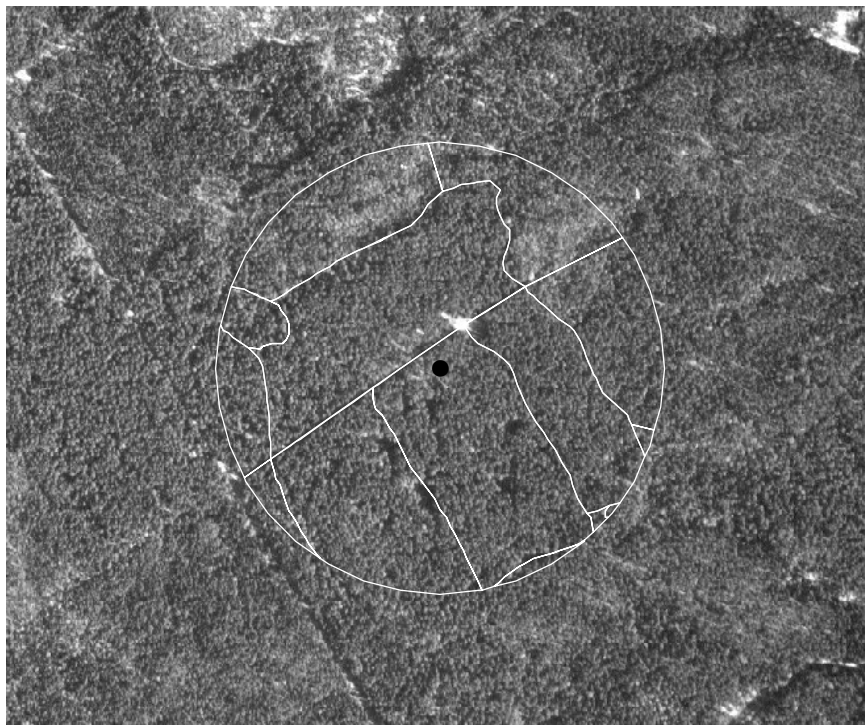
6.2.1 Fältmätningar

Inom var och en av de tre skogområdena placerades ett antal punkter ut för att fungera som positioner för fältmätningar. Utplaceringen gjordes på lite varierande sätt.

Inom Norunda användes en befintlig beståndsindelning, gjord av Peter Hjelm, som underlag för utplacering av sammanlagt 13 punkter. Figur 3 visar denna beståndsklassning samt den cirkel som motsvarar de 28,3 hektar som delstudien i Norunda omfattar. Som en jämförelse kan man i Figur 4 se den flygbildstolkning av området som utfördes i studien. Punkternas positioner slumpades först ut, men ett antal av dem korrigerades så att de bestånd som tillsammans upptar huvuddelen av ytan i den tidigare klassningen blev representerade.

I Skyttorp 30 och Skyttorp 60 valdes punkter ut efter en grov beståndsindelning gjord med hjälp av IR-flygbilder. Indelningen baserades på färgsammansättning, täthet och struktur på flygbilden. Efter ett från början större antal tänkta mätplottar användes slutligen tre stycken i vardera område.

Punkternas positioner finns redovisade i Appendix 2. De utslumpade eller utvalda punkterna motsvarar det nordöstra hörnet i en 25×25 meter (625 m^2) stor kvadrat. Sidorna på kvadraterna lades sedan i nord-syd öst-västlig riktning. I de tre områdena har förutom de redan nämnda plottarna även en plott på 30×30 meter (900 m^2) mätts in. Anledningen till att dessa plottar, benämnda plott A i alla tre områden, var större var för att täcka in träd som användes som provträd i projektet CarboAge.



Figur 3: Peter Hjelm's beståndsindelning av Norunda



0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 Kilometer

● Mast100



Figur 4: Den i studien framtagna beståndsindelningen efter flygbildstolkning

För att lokalisera punkternas position i fält användes en differentierad GPS. Själva mätningarna genomfördes sedan genom att plotten först mättes ut med hjälp av måttband. Träd som växte längs plottgränsen räknades med endast om de var lokaliserade på den norra eller östra sidan. Detta gjordes för att plottarna skulle bli så representativa som möjligt. Inom plottarna mättes trädens brösthöjdsdiameter (DBH), höjd samt kronhöjd. Vid mätningarna av DBH användes en elektronisk klave, Mantax Computer Caliper, vilken tillverkas av Haglöf Sweden AB (www8). Mantax är en lätthanterlig elektronisk klave med 1 MB minneskapacitet, som kan lagra stora mängder data i olika listor. Instrumentet har en lägsta gräns för mätbar traddiameter på 6 cm. Detta har medfört att mindre träd än så ej medräknats. Trädens höjd och kronhöjd mättes med en avstånds- och vinkelmätaren Vertex III och den tillhörande ultraljudsmottagaren Transponder T3. Instrumentet, som tillverkas av Haglöf Sweden AB (www8), använder ultraljud för uppmätning av avstånd till det aktuella objektet. Vid beräkning av höjder används förutom avståndet även den uppmätta vinkeln till toppen. Även trädslag samt markfuktighet och blockighet bestämdes inom plottarna.

Mätning av LAI gjordes inom de flesta av plottarna inom Norunda och Skyttorp 30 med LI-COR LAI-2000 Plant Canopy Analyzer. Instrumentet är tillverkat av LI-COR Inc. (Lincoln, NE, USA). Det är framtaget för att möjliggöra snabba och mot vegetationen skonsamma mätningar av LAI och andra vegetationsattribut, som exempelvis Mean Tip Angle (MTA). Instrumentet mäter inkommande solstrålning i fem jämt fördelade "ringar" med vinklar på mellan 0 – 74° gentemot zenitvinkeln (www9). Beräkningen av LAI från mätvärdena görs i en tillhörande programvara (C2000) vilken bygger på en modell för strålningstransport i vegetation. I Norunda området gjordes LAI-mätningar i alla plottar förutom plott C, beroende på en stor andel lövträd som vid mätningstillfället redan hade fällt sina löv. Samma sak gäller för plott D i Skyttorp 30.

Fältmätningarna genomfördes till största delen under sommarens andra del, en tid då inga drastiska förändringar sker hos de undersökta vegetationstyperna. Den för lövträd säsongskänsliga mätningen av LAI gjordes till så stor del som möjligt innan löven föll. De studerade områdena består dock, med vissa undantag, till största delen av barrskog.

6.2.2 Biomassafunktioner

Lars Gunnar Marklund (1988) på Institutionen på Skogstaxering på SLU i Umeå har utvecklat funktioner för gran, tall och björk, som kan användas för att på ett enkelt sätt uppskatta mängden biomassa i träd. Den beräknade biomassan motsvaras av träddelarnas torrsvikt. Funktionerna är giltiga för olika delar av träden; såsom stamved, stambark, levande och döda grenar, barr, stubbe samt rot. Det finns även funktioner som gäller för en kombination av träddelar, som stamved och stambark, stubbe och rot eller levande grenar och barr. För att få trädets totala biomassa summeras de olika träddelarna. Underlaget till funktionerna kommer från vägning och mätning av sammanlagt 1286 provträd, från i stort sett hela Sverige. Den artmässiga fördelningen dem emellan var: 493 tallar, 551 granar och 242 björkar.

Det är möjligt att använda olika många variabler i biomassafunktionerna och därigenom få något särskiljande resultat. De variabler som i studien används för att

med hjälp av funktionerna beräkna trädens storlek är först och främst DBH och höjd; men i vissa fall även kronlängd, höjd över havet och nordkoordinat. Generellt sett blir resultatet av Marklunds funktioner mer rättvisande ju fler variabler som används. Barktjocklek, ålder, kronradie och diametertillväxt är ytterligare variabler som kan användas vid beräkning av biomassa. Dessa variabler har dock inte använts här, då de är av mindre betydelse för biomassans storlek, och uppskattning av dem är alltför tidskrävande och komplicerad. Vi anser dock att mätning av trädens höjd, diameter och kronlängd, samt vetskap om höjd över havet och nordkoordinat ger en fullgod uppskattning av trädbiomassan.

Marklunds funktioner kan enkelt sammanfattas med följande grundläggande funktion: $\ln(y) = \text{konstant} + (\text{koefficient} * x)$, där y = beroende variabel, och x = oberoende variabel. Den beroende variabeln är i detta fall alltså biomassans torrviikt i kg. Konstanten och koefficienten skiljer sig åt mellan funktionerna eftersom de olika trädslagen och träddelarna har olika form, och variablerna därmed är av olika stor betydelse. Storleken på koefficienten avgör hur de olika variablerna viktas mot varandra.

Marklunds biomassafunktioner för björk är inte lika väl utvecklade som de för gran och tall, då det inte går att beräkna biomassa för björkens löv, rötter eller stam. I de undersökta områdena finns även vissa inslag av al. För detta trädslag har dock Marklund inte fastställt några funktioner. Tord Johansson (2000) på Institutionen för Skogshushållning på SLU i Uppsala har konstruerat funktioner för beräkning av biomassan hos både al och björk. I Johanssons funktioner beror biomassan enbart på en variabel, nämligen DBH. Den i funktionen ingående konstanten är beroende av vilket trädslag och vilken träddel det gäller. Till skillnad från Marklunds björkfunktioner är det med Johanssons möjligt att även beräkna björklövens biomassa.

Vi bestämde oss för att använda oss av Marklunds björkfunktion. Anledningen till detta var att lövens vikt är en procentuellt sett väldigt liten del av den totala biomassan, samt att enbart en parameter används vid beräkningen av biomassan med Johanssons funktion. De bygger inte heller på lika omfattande efterforskningar som Marklunds. Detta innebär därför att användandet av Johanssons funktioner vid beräkning av biomassa för björk troligen innebär en större osäkerhet. Dessutom kan det vara lämpligt att använda Marklunds björkfunktioner när vårt- och glasbjörk är ungefärligen lika frekvent förekommande, då dessa funktioner gäller båda underarter. Vi har däremot använt oss av Johanssons funktioner för al, då Marklund inte presenterar någon sådan funktion. Av alfunktionerna användes den för klibbal då det är den altyp som framför allt växer i området. Johanssons studie av klibbal infattar sammanlagt 79 stycken provträd.

6.2.3 Flygbildstolkning

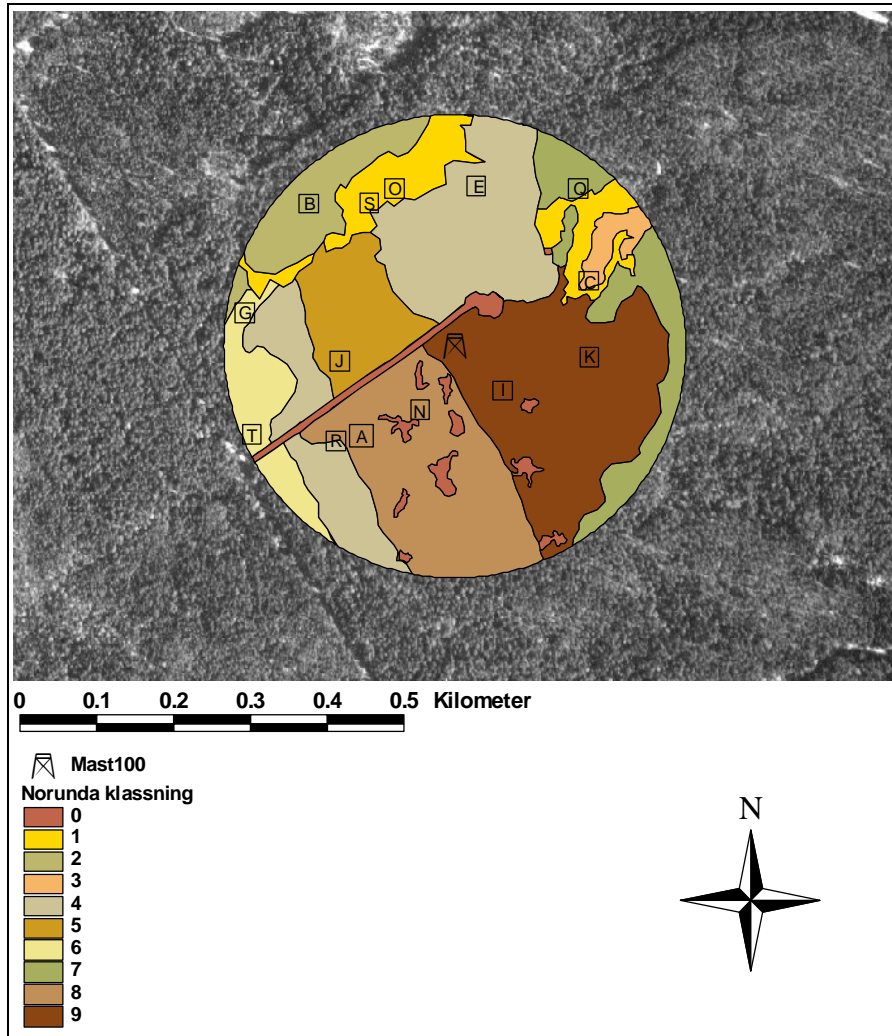
Manuell flygbildstolkning med stereoskop utfördes på flygbilder i skala 1:30 000. För Norunda användes svartvita flygbilder från 990519, medan i de övriga två bestånden IR-färgbilder från 990624 användes.

Före flygbildstolkningen inleddes inscannades en bild från vardera av de tre flygbildsparen. De inscannade flygbilderna geokorrigerades för att komma på rätt positioner i GIS-databasen. Som korrespondenspunkter användes 5 punkter i Skyttorp 30 och 4 punkter i Skyttorp 60, vilka bestämts med hjälp av differentierad GPS. För Norundabilden togs korrespondenspunkter från befintlig vägdata. De geokorrigerade flygbilderna i ArcView användes sedan som en bakgrund för digitalisering av den manuella flygbildstolkningen. Areal av de tolkade områdena togs sedan fram med ArcView.

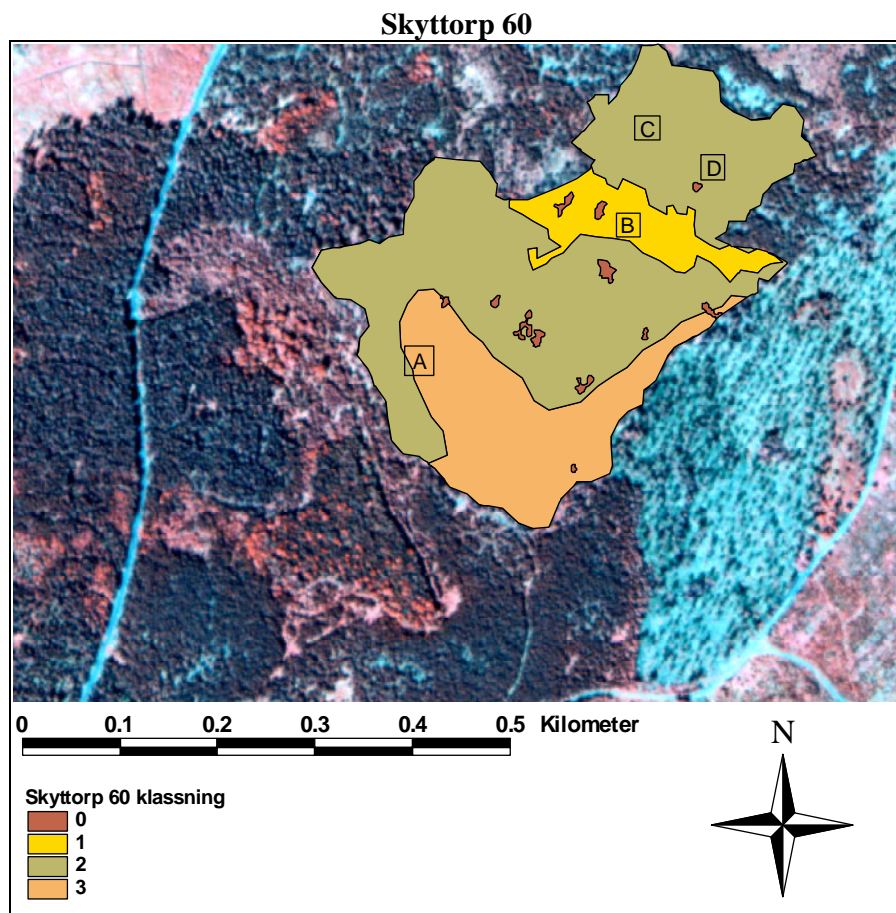
Flygbilderna klassades efter färgton (gråton för Norundabilden), struktur och textur. Områden där man med tydlighet kunde se att ingen skogsvegetation fanns, t ex hällar och vägar, tilldelades en egen klass (benämnd 0 i Fig 5-7). Antalet tolkade klasser styrdes till en viss del av antalet plottar som uppmätts, för att en resulterade biomassauppskattning skulle vara möjlig. I bestånden runt Skyttorp spelar dock inte det låga antalet plottar en så stort roll, då områdena i de båda bestånden var relativt homogena. Plottar som delvis låg i mer än en klass räknades till den klass de till största del tillhörde.

Den totala ytan av plottarna i de tre studerade områdena motsvarar endast en lite del av områdenas totala yta. För Norunda och Skyttorp 30 motsvarar de omkring 3 % av totalytan medan de för Skyttorp 60 motsvarar ca 2 %.

Norunda

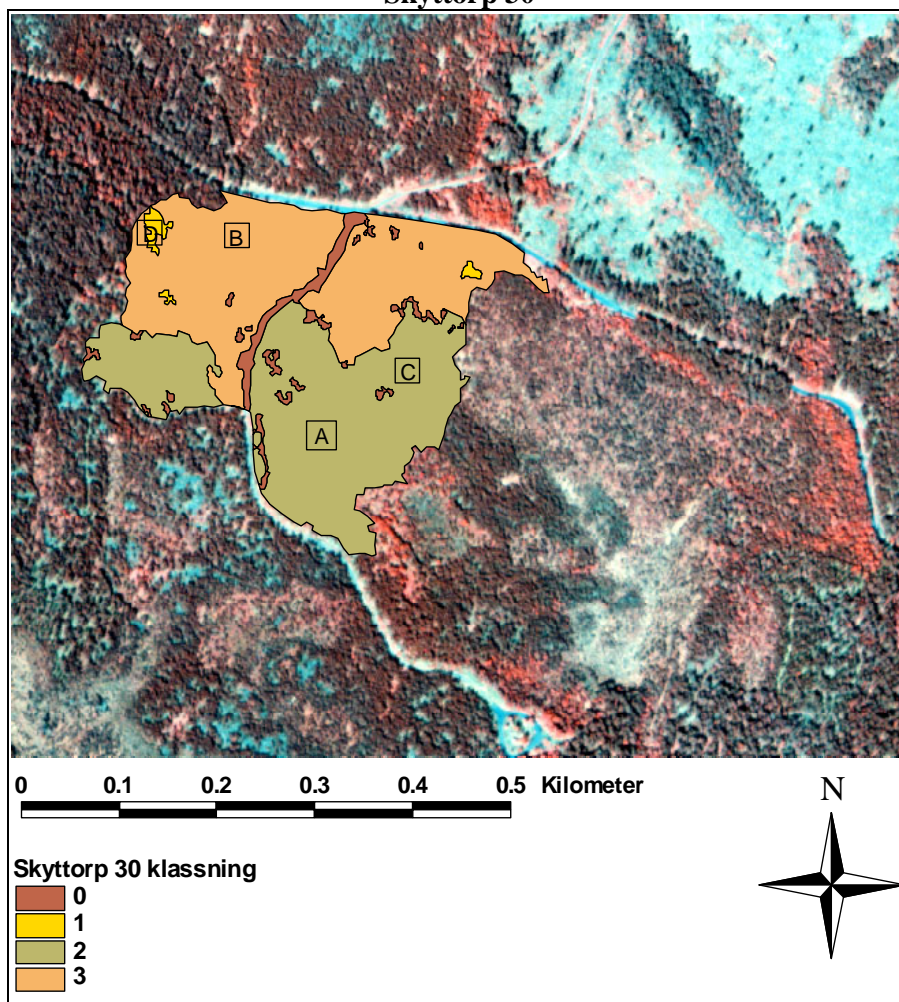


Figur 5: Norundaområdet med beståndsklassificering ovanpå en svartvit flygbild. Kvadraterna motsvarar plottarnas läge och utbredning.



Figur 6: Skyttorp 60-området med beståndsklassificering ovanpå en IR-flygbild. Kvadraterna motsvarar plottarnas läge och utbredning

Skyttorp 30



Figur 7: Skyttorp 30-området med beståndsklassificering ovanpå en IR-flygbild. Kvadraterna motsvarar plottarnas läge och utbredning

6.2.4 LAI-mätningar

I denna studie har LI-COR LAI-2000 Plant canopy analyser använts för indirekt mätning av Leaf Area Index (LAI). LAI definieras som den totala arean (en sida) av bladyta (m^2) per ytenhet av markyta (m^2) (Deblonde et al., 1994). Mättekniken bygger på att man mäter skillnaden mellan den ljusmängd som finns ovanför respektive under ett krontäcke, för att beräkna hur mycket som har absorberats av lövverket. I vårt fall har inga mätningarna gjorts direkt ovanför krontäcket, utan på en öppen plats i närheten. För att använda öppna platser och samtidigt mäta med instrumentets hela vertikala ”synfält” krävs en öppen sträcka till närmsta skogsbryn vilken motsvarar minst $3 \times$ trädhöjden (LI-COR, 1992). Vid användning av LAI-2000 användes endast ett 90° horisontellt ”synfält”, då tillgången av närliggande öppna platser var begränsad.

Teorin bakom instrumentet bygger på sannolikheten för en ljusstråle att obehindrat komma igenom ett bladverk vid en viss vinkel. Sannolikheten vid en viss infallsvinkel (θ)

ges av Chen et al. (1997);

$$P(\theta) = \exp[-G(\theta)\Omega L_t / \cos \theta] \quad (1)$$

$G(\theta)$ = Projektions koefficient för kronornas vinkelutbredning.

L_t = Plant Area Index (PAI), inkluderar löv/barr, samt stammar och grenar.

Ω = Clumping factor, vilken beskriver utbredningen av löven i rummet.

Ett antal problem uppkommer dock vid indirekta mätningar av LAI vilka måste kompenseras för:

- Okänd vinkelutbredning för kronan är ett problem, som går att komma förbi, men kräver då att strålningstransmittansen genom kronorna mäts för ett flertal infalls- vinklar. LI-COR LAI-2000 är väl anpassad för det här genom att den mäter $P(\theta)$ för diffust blått ljus för fem vinklar simultant. Enligt samma författare måste man dock använda transmittansmätningarna med en viss försiktighet då dessa kan innehålla ett fel på 10 % eller mer pga spridning (scattering) av blått ljus i trädkronan (Chen & Cihlar, 1995).
- Ett ytterligare problem är att skillnaden mellan ljusmängderna ovan och under ett krontäcke inte bara beror på att ljus har absorberats av löven. Instrumentet under kronan blir också skuggad av stam och grenar. Detta kallas för Plant Area Index (PAI).
- För att få ett bra värde på LAI måste man även kompensera för ”clumping”. När utbredningen av löven/barren kan anses som slumpartad är $\Omega = 1$. Om fördelningen är jämn är $\Omega > 1$. Extremfallet är att alla bladen ligger sida vid sida. Om bladen skulle ha en ihopklumpad utspridning är $\Omega < 1$. I extremfallet befinner sig alla bladen ovanför varandra. Lövverket är i allmänhet ihopklumpat och Ω kallas därför även för clumping index (Chen et al., 1997).

Det finns ett flertal metoder för hur man ska lösa ut LAI ur mätningar gjorda med LAI-2000 bland annat presenterade av Stenberg et al. (1994), Kucharik et al. (1998)

och Chen (1996). Den metod som presenteras här för att lösa ut LAI beskrivs i Chen et al. (1997). De uppmätta värdena från LAI-2000 kallas för effektiv LAI (L_e) och är produkten av Plant Area Index (L_t) och Clumping factor (Ω).

För att lösa ut LAI ur L_e används följande ekvation (Chen et al., 1997).

$$L = (1-\alpha) L_e / \Omega \quad (2)$$

$L = \text{LAI}$

$\alpha = \text{Woody-to-total area ratio}$

$L_e = \text{Effektiv LAI } (\Omega \times L_t)$

$\Omega = \text{Clumping factor}$

där: $(1-\alpha)$ kan ersättas med $(1-W/L_t)$

$W = \text{Woody area index (WAI)}$

$$\Omega = \Omega_E / \gamma_E$$

Den slutliga ekvationen från Chen et al., (1997);

$$L = (1-\alpha) L_e \gamma_E / \Omega_E \quad (3)$$

$\gamma_E = \text{Needle-to-shoot area ratio, kvantifiering av clumping-effekten inom ett skott}$

$\Omega_E = \text{Inkluderar clumping-effekten i större skalor än inom ett skott}$

I brist på egna värden på γ_E , Ω_E och $(1-\alpha)$ togs värden för dessa från en studie i Kanada (Chen et al., 1997). Från artikeln har värden plockats från två mätområden, vilka kallas för N och S efter deras inbördes förhållande till varandra i nord-sydlig riktning.

I denna studie har även två andra metoder använts för korrigering av mätningar med LAI-2000:

LI-COR Inc. har själva angivit en korrigeringsfaktor på 1,65 för boreala skogar.

Lagergren (2001) presenterar en metod att räkna ut LAI beroende på barmängden per ytenhet. Barmängden i varje plott uppskattas för gran och tall med Marklunds funktioner i kg/m^2 . Denna mängd multipliceras sedan med ett värde för specific leaf area. De värden som Lagergren angav för specific leaf area för gran och tall är 4,5 respektive 7,3 m^2/kg . De resultat som framräknades med den här metoden kallas i fortsättningen för LAI-Barmängd. Lövträden är i den här metoden ej medräknade. Men den låga andelen lövträd i de flesta plottarna gör att det uträknade värdet är ett bra riktvärde.

7. RESULTAT

7.1 Biomassa och kolmängd

Tabell 1-4 visar värden för biomassa, bunden i trädform, inom respektive område. Områdena motsvarar de tolkade bestånden från de utförda flygbildstolkningarna (se figur 5-7). Osäkerhet för de presenterade värdena är beräknad efter den osäkerhet Marklund (1988) anger för sina funktioner.

Tabell 1: Trädbiomassa för Norunda

Område	Area (m ²)	Biomassa (10 ³ kg)	Biomassa (kg/m ²)
0	8970	-	-
1	22766	302 ± 53	13,3 ± 2,3
2	17466	406 ± 68	23,2 ± 3,9
3	4406	63 ± 12	14,3 ± 2,7
4	62128	1322 ± 214	21,3 ± 3,4
5	20876	546 ± 82	26,2 ± 3,9
6	15066	334 ± 52	22,1 ± 3,5
7	23257	400 ± 68	17,2 ± 2,9
8	46732	1080 ± 76	23,1 ± 3,8
9	61076	1492 ± 242	24,4 ± 4,0
Totalt	282743	5945 ± 1070	21,0 ± 3,8

Den totala trädbiomassan för Norunda uppskattades till 5,9 tusen ton (Tabell 1). Dock är osäkerheten för totalvärdet stor. Det finns stora skillnader inom fördelningen av biomassan per kvadratmeter. Värdena varierar från 13,28 (kg/m²) till ungefär det dubbla. Detta tyder på en stor heterogenitet inom området. De två områden (1 och 3) som har lägst biomassa upptar dock endast 9 % av den totala arean och är endast representerade av ett litet antal plottar.

Tabell 2: Omräkning av IFERs trädbiomassa efter beståndsindelning från vår flygbildstolkning.

Område	Area (m ²)	Biomassa (10 ³ kg)	Biomassa (kg/m ²)
0	8970	-	-
1	22766	314	13,8
2	17466	246	14,1
3	4406	38	8,7
4	62128	1041	16,8
5	20876	353	16,9
6	15066	318	21,1
7	23257	355	15,2
8	46732	862	18,4
9	61076	1140	18,7
Totalt	282743	4667	16,5

Tabell 2 visar samma saker som Tabell 1 fast med omräknade värden från IFERs data. Den totala mängden biomassa i trädform för hela Norunda-området uppskattas till ungefär 4,7 tusen ton. Skillnaden av mängden biomassan per kvadratmeter är rätt så stor mellan de två uppskattningarna: 21,03 (kg/m²) för våra data jämfört med 16,50 för IFER.

Tabell 3: Biomassa för Skyttorp 60 i trädform.

Område	Area (m ²)	Biomassa (10 ³ kg)	Biomassa (kg/m ²)
0	2028	-	-
1	11699	92 ± 16	7.9 ± 1.4
2	30737	412 ± 80	13.4 ± 2.6
3	80278	1199 ± 243	14.9 ± 3.0
Totalt	124742	1703 ± 340	13.3 ± 2.7

Den totala biomassan i trädform för det 12,4 hektar stora Skyttorp 60 uppskattades till 1,7 tusen ton (Tabell 3). Medelbiomassan per kvadratmeter uppskattades till 13,3 kg/m².

Tabell 4: Biomassa för Skyttorp 30 i trädform.

Område	Area (m ²)	Biomassa (10 ³ kg)	Biomassa (kg/m ²)
0	4520	-	-
1	1014	11 ± 2	11,0 ± 1,9
2	43811	400 ± 81	9,1 ± 1,8
3	44316	505 ± 106	11,4 ± 2,4
Totalt	93661	916 ± 189	9,8 ± 2,0

Området som vi har kallat Skyttorp 30 är det till ytan minsta, ca 9,4 hektar (Tabell 4). Det innehåller också den yngsta skogen och därmed den lägsta biomassan per kvadratmeter.

Kolmängden i den här studien antas vara hälften av biomassan i torrsvikt. Tabell 5 visar den beräknade kolmängden i trädform för de tre områdena samt omräkningen av IFRSs data.

Tabell 5: Kolmängd för respektive område

Bestånd	Kolmängd (kg/m ²)	Kolmängd (10 ³ kg)
Norunda (Vår)	10,52 ± 1,90	2972 ± 535
Norunda (IFER)	8,25	2333
Skyttorp 60	6,65 ± 1,33	852 ± 170
Skyttorp 30	4,89 ± 1,01	458 ± 94

Kolmängden i vår uppskattning är 27 % högre än den uppskattning som är gjord på omräknade IFRS-data (Tabell 5).

7.2 Biomassa - omräkning av IFERs data

I IFERs rapport (2001) angavs den totala biomassan i den 28,3 ha stora cirkeln vara 10722 tusen ton. Denna totalsiffra inkluderar dock inte lövträd. I Tabell 6 nedan redovisas det av oss omräknade värdet från IFERs data till 6028 tusen ton, dvs ca 56 % av det värde som angavs i rapporten. Detta inkluderar dessutom lövträd. Det är svårt att säkert säga vad som orsakat denna stora skillnad, men det finns exempel på räknefel från IFERs sida. De har bl a använt Marklunds funktion felaktigt på något ställe. Vid omräkningen har två små områden, som inte är representerade av några plockar, lagts samman med var sitt angränsande område av liknande karaktär.

Tabell 6: Omräkning av IFERs data med den tidigare beståndsklassificeringen.

Område	Area (m ²)	Biomassa (10 ³ kg)	Biomassa (kg/ m ²)
1	15406	418	27,1
2	5581	122	21,9
3	31898	543	17,0
4	5994	133	22,2
5	60179	1199	19,9
6	42571	982	23,1
7	53233	1355	25,4
8	19039	368	19,3
9	28607	621	21,7
10	583	12	19,9
11	19429	274	14,1
Totalt	282520	6028	21,3

Den kolmängden som IFER presenterar är 5361 tusen ton, dvs 50 % av biomassan i torrsvikt (Tabell 7). Med de omräknade värdena blir kolmängden 3014 tusen ton. För att se hur stor roll de olika beståndstolkningarna (Figur 3 & 4) spelar gjordes även en beräkning av de omräknade värdena från IFER med vår flygbildstolkning. Tabell 7 visar dessa värden.

Tabell 7: Omräkning av IFERs data med beståndstolkning från flygbildstolkning.

Område	Area (m ²)	Biomassa (10 ³ kg)	Biomassa (kg/ m ²)
0	8970	-	-
1	22766	381	16,8
2	17466	312	17,9
3	4406	48	10,8
4	62128	1300	20,9
5	20876	444	21,2
6	15066	398	26,4
7	23257	443	19,0
8	46732	1080	23,1
9	61076	1419	23,2
Totalt	282743	5825	20,6

Skillnaden av totalmängd biomassa i torrsvikt mellan de två beräkningarna var inte så stor: ca 3,5 %, eller motsvarande ca 200 ton. På grund av att IFERs mittpunkt inte överensstämde med flygbildsklassificeringens hamnade tre mätplottar (103, 503, 509) utanför och har därför ej medtagits i denna beräkning.

7.3 Trädfördelning

Trädfördelningen efter andelen i träd bunden kolmängd för de olika bestånden visas i Tabell 8-11. Kolumnen Löv motsvarar summan av björk och al. I Appendix 3 finns de olika plottarnas inbördes fördelning i biomassa/ytenhet (kg/m²) för varje träslag.

Tabell 8: Fördelning av kolmängd efter träslag i Norunda med våra data (%)

Område	Gran	Tall	Björk	Al	Löv
0	-	-	-	-	-
1	32,3	47,6	15,7	4,6	20,2
2	28,9	57,6	13,4	-	13,4
3	30,8	36,7	28,3	4,3	32,6
4	18,2	79,8	0,3	1,7	2,0
5	26,4	67,5	0,6	5,5	6,2
6	44,2	55,3	0,5	-	0,5
7	29,5	55,7	10,7	4,1	14,9
8	48,5	51,5	-	-	-
9	42,5	57,5	-	-	-
Totalt	34,3	61,3	2,9	1,4	4,3

Den totala fördelningen i Norunda av träslag visar på under 5 % lövskog (Tabell 8).

Tabell 9: Fördelning av kolmängd efter träslag i Norunda med IFERs data (%)

Område	Gran	Tall	Löv
0	-	-	-
1	22,2	57,5	20,2
2	32,0	68,0	-
3	11,8	59,4	28,8
4	38,5	60,0	1,4
5	25,0	75,0	-
6	54,1	44,7	1,2
7	50,0	46,4	3,7
8	49,2	50,8	-
9	42,3	57,2	0,5
Totalt	38,5	57,0	4,5

Trädfördelningen är lik den i Norunda, med största andel kol bundet i tall (Tabell 9). I båda fallen finns ca 95 % barrträd. Det finns dock skillnader i trädfördelningen mellan delområdena.

Tabell 10: *Fördelning av kolmängd efter trädslag i Skyttorp 60 (%)*

Område	Gran	Tall	Björk	Al	Löv
0	-	-	-	-	-
1	3,1	66,9	18,4	11,6	30,0
2	20,1	79,9	-	-	-
3	74,9	21,9	3,2	-	3,2
Totalt	57,8	38,3	3,3	0,6	3,9

En stor del av biomassan finns bundet i lövträd i område 1 (Tabell 10). Ytan av detta är dock bara 1,6 % av den totala ytan så dess vikt blir liten. Skyttorp 60 har jämförelsevis en större andel gran än de övriga undersökta områdena.

Tabell 11: *Fördelning av kolmängd efter trädslag i Skyttorp 30 (%)*

Område	Gran	Tall	Björk	Al	Löv
0	-	-	-	-	-
1	40,2	5,0	34,7	20,1	54,8
2	0,4	99,6	-	-	-
3	52,5	47,5	-	-	-
Totalt	29,6	69,7	0,4	0,2	0,7

I område 1 är majoriteten av kolmängden bunden i lövträd (Tabell 11). Detta område representerar dock endast 4,8 % av hela Skyttorp 30 vilket medfört det låga värdet för löv totalt. En tydlig talldominans kan ses i område 2, där hela 99,6 % av kolmängden i trädform finns i tall. I de två plottarna inom området har endast 4 granar mätts in mot 214 tallar.

Tabell 12: *Diameter, höjd och stamdensitet för träden i Norunda fördelat på bestånden.*

Område	Medeldiameter (cm)	Medelhöjd (m)	Stamdensitet (st/ha)
0	-	-	-
1	16,1	12,5	1080
2	19,8	17,1	1120
3	14,7	12,8	1952
4	21,9	18,5	880
5	26,8	21,6	720
6	25,9	20,6	528
7	18,0	14,3	1088
8	24,4	21,3	791
9	22,9	20,0	872
Totalt	21,4	18,0	870

Tabell 13: Diameter, höjd och stamdensitet för träden i Skyttorp 60 fördelat på bestånden.

Område	Medeldiameter (cm)	Medelhöjd (m)	Stamdensitet (st/ha)
0	-	-	-
1	14,1	10,0	1360
2	16,5	14,8	1528
3	18,8	18,0	1000
Totalt	17,8	16,4	1148

Tabell 14: Diameter, höjd och stamdensitet för träden i Skyttorp 30 fördelat på bestånden.

Område	Medeldiameter (cm)	Medelhöjd (m)	Stamdensitet (st/ha)
0	-	-	-
1	13,8	12,6	1504
2	15,0	12,4	1404
3	14,9	12,2	1520
Totalt	14,9	12,3	1392

Såväl diametern och höjden, liksom stamdensiteten, varierar avsevärt mellan de olika områdena. Diametern och höjden kan ses som två olika mått på trädets storlek, och de värdena följs därför vanligen åt. Generellt sett är det så att i de skogar vi undersökt har områdena med störst träd oftast den lägsta stamdensiteten. Anledningen till att skogar med större träd är glesare är att dessa äldre skogar har glesats ut, beroende på konkurrens mellan träden och som en följd av skogsskötselåtgärder som gallring och röjning. Av de tre undersökta skogsområdena har följaktligen den 100-åriga skogen de största träden och den lägsta stamdensiteten, medan den 30-åriga skogen har de minsta träden och den högsta stamdensiteten.

Tabell 15: Diameter, höjd och stamdensitet för träden i Norunda fördelat på trädslag.

Trädslag	Medeldiameter (cm)	Medelhöjd (m)	Stamdensitet (st/ha)
Gran	15,9	14,2	489
Tall	31,2	24,5	296
Löv	15,8	14,7	279
Totalt	21,4	18,0	870

Tabell 16: Diameter, höjd och stamdensitet för träden i Skyttorp 60 fördelat på trädslag.

Trädslag	Medeldiameter (cm)	Medelhöjd (m)	Stamdensitet (st/ha)
Gran	15,8	15,3	634
Tall	20,1	17,7	448
Löv	23,0	16,2	66
Totalt	17,8	16,4	1148

Tabell 17: Diameter, höjd och stamdensitet för träden i Skyttorp 30 fördelat på trädslag.

Trädslag	Medeldiameter (cm)	Medelhöjd (m)	Stamdensitet (st/ha)
Gran	9,6	9,1	499
Tall	17,7	13,1	886
Löv	15,6	14,1	7
Totalt	14,9	12,3	1392

Vid jämförelse mellan förekomsten och storleken på de olika trädslagen i de olika skogsområdena går det att se några tydliga skillnader.

I Norunda finns både områden med planterad gran och tall. Utöver de stora planterade träden finns det även mycket gran och lövträd av mindre storlek. Den rika förekomsten av lövträd generellt sett i Norunda är en följd av att vissa ofta fuktiga delar har väldigt mycket lövträd, både al och björk. I stora delar av Norunda 100 har det under de höga trädens lövverk skjutit upp nya mindre träd, särskilt gran och björk. Granarna och björkarna är därför klart mindre än tallarna i området.

I Skyttorp 60 finns det också både tall- och granplanteringar. Här konkurrerar dock de icke planterade lövträden storleksmässigt med barrträden, om än inte kvantitetsmässigt. Även här förekommer en stor del av lövträden i de fuktigare delarna.

Skyttorp 30 domineras av tallplanteringar, medan granplanteringar också förekommer. Mycket av granarna, liksom lövträden, konkurrerar med de planterade träden.

7.4 LAI

Tabell 18-21 visar medel-LAI för områdena. Dels korrigerade värden uppmätta med LAI-2000 och dels ett värde uträknat efter uppskattad barmängd och SLA.

Tabell 18: Medel-LAI Norunda

Norunda	LI-COR (1,65)	LAI-Barmängd	Chen et al. (N)	Chen et al. (S)
Medel LAI	4,38	4,30	3,55	3,82

Vid beräkandet av LAI har plott O ej medtagits då dess mätvärden troligen är felaktiga beroende på att det vid mättillfället var för mörkt för mätning med LAI-2000. Plotten har dock medräknats i det presenterade värdet för LAI uträknad med barmängd. Med i medelvärdes-beräkningarna är dels den area som upptas av ytor som ej är skogbevuxta samt det område där LAI-mätning saknas. Dessa två typer av ytor upptar mindre än 5 % av den totala arealen.

Tabell 19 visar motsvarande för Skyttorp 30. För beståndsklass 1 saknas LAI mätningar då löven redan vid mättillfället fallit i den enda plotten inom detta område. Klass 0 och 1 upptar något mindre än 6 % av den totala ytan.

Tabell 19: *Medel-LAI Skyttorp 30*

30-åriga	LI-COR (1,65)	LAI-Barrmängd	Chen et al. (N)	Chen et al. (S)
Medel LAI	3,34	4,37	2,61	2,93

Tabell 20 innehåller endast uträknad LAI från uppskattad mängd barr då inga mätningar med LAI-2000 gjorts inom området.

Tabell 20: *Uträkning av Medel- LAI Skyttorp 60*

60-åriga	LAI-Barrmängd
Medel LAI	4,34

I Appendix 4 finns resultaten av alla LAI-mätningar redovisade.

8. DISKUSSION

8.1 Beräkning av kolmängd/biomassa

Den uppskattade mängden kol i trädform för Norundaområdet är $10,52 \text{ kg/m}^2$, med en osäkerhet på 18%. Detta värde är 27% högre än det omräknade värdet från IFERs data (2001) på $8,26 \text{ kg/m}^2$. Det är svårt att veta hur bra en uppskattad mängd kol stämmer överens med den egentliga mängden. Mängden kol i skogen är beroende av en mängd lokala förutsättningar som exempelvis växtbetingelser, årliga klimatvariationer och skogsskötsel. Lars-Gunnar Marklunds funktioner (1988), som använts vid biomassa-beräkningarna i både denna studie och i IFERs, är baserade på sammanlagt 1286 träd av tre olika trädslag från hela Sverige. Frågan är hur väl dessa funktioner stämmer för det aktuella områdena i Uppland och de lokala förutsättningar där. Om förutsättningarna för trädens tillväxt skiljer sig alltför mycket från normalfallet i de av Marklund undersökta skogarna ger funktionerna resultat som kanske inte stämmer med verkligheten. Det enda sättet att få ett svar på hur bra funktionen fungerar för de aktuella områdena skulle vara genom destruktiv sampling, d v s genom insamling och uppmätning av alla träd. Även om detta gjordes inom ett antal provytor så skulle ändå problemet med uppskalning kvarstå. Samma problematik gäller funktionerna för al framtagna av Tord Johansson (2000). Hans funktioner bygger dessutom på mätningar av färre träd än Marklunds, och är därför mer osäkra.

8.2 Fältmätningar

De fältmätningar som har gjordes för den här studien var relativt tidskrävande. Det tog trots användning av GPS och elektroniska mätinstrument tid att hitta rätt i terrängen, att märka ut plottgränser och att mäta alla träd. Normalt mättes ungefär två mätplottar in under en arbetsdag.

Gruppen från IFER, vilken använde sig av Field-Map, mätte in sex av sina jämförelsevis mindre plottar per dag. Field-Map har stora fördelar genom att det är enklare att både spara data från de olika mätinstrumenten i fält och att sedan komma åt den sparade datan. Detta innebär att den på mätningarna efterföljande databehandlingen underlättas med Field-Map. Det ska dock tilläggas att IFER-gruppen hade fler deltagare vid mätningarna och att de dessutom hade större erfarenhet av fältmätningar.

En av de största anledningarna till skillnaden i totalresultatet mellan de studierna är troligen det särskiljande antalet inmätta plottar. I denna studie mättes endast fjorton plottar in i Norunda. Eftersom IFER mätte in 42 plottar får var och en av dessa en lägre vikt för slutresultatet. Fler plottar i varje bestånd, och därmed större rumslig spridning på mätningarna, innebär lägre risk för att en del av ett bestånd, som till viss del skiljer sig från det övriga, får för stor vikt i datan. Detta innebär normalt att den data som samlas in blir mer representativ för området. Det olika antalet plottar kan också delvis förklara de stora skillnader som finns i mängden biomassa mellan motsvarande områden i de två uppskattningarna. En annan orsak, som troligen har en marginell påverkan på värdena, är var gränsen för vilka träd som räknas med är satt. I studien räknades alla träd med DBH större än 6 cm medan IFERs nedre gräns låg vid 7 cm.

Biomassans fördelning på olika trädslag i de två studierna i Norundaområdet visar liknande värden. Runt 60 % av biomassan är bunden i tall, 35-40 % i gran samt ca 4 % i lövträd. Fördelningen av olika arter är sålunda rätt så lika i de två studierna. Det finns dock skillnader i de två insamlade datamängderna, vilket kan ses i den statistiska analysen i Appendix 5. De i studien insamlade mätvärdena är något högre än IFRs för alla trädslag. Störst är avvikelserna mellan de uppmätta tallarna. De uppmätta granarna kan dock statistiskt sett anses vara från samma population.

8.3 Flygbildstolkning

Det upplevdes som att det gick bra att tolka flygbilderna trots beståndens ringa storlek. Det var dock enklare att se områdesgränser på IR-färgbilder än på svart-vita, som var den typ som fanns till hands för Norunda-området. Digitaliseringen av flygbildstolkningen genomfördes i samband med att bilderna tolkades. Vissa svårigheter fanns ibland när det gällde att lokalisera en plats i både stereoskopet och på skärmen.

Flygbildstolkningarna har ej kvalitetsutvärderats i fält, vilket innebär att de från flygbilderna tolkade beståndsgrensarna inte är kontrollerade på plats. Hur pass väl tolkningarna överensstämmer med verkligheten har alltså inte testats. Tolkningar av var beståndsgrensarna går och vilka områden som har liknande karaktär är av nödvändighet subjektivt färgade. Detta leder till en viss osäkerhet om tillförlitligheten av de i studien presenterade resultaten. En jämförelse gjordes mellan den tidigare beståndsindelningen och den för studien framtagna indelningen av Norunda (Figur 3 och 4) med användande av IFRs data. Beräkningar visade att skillnaden i total biomassa då inte var större än 3,4 %, eller runt 200 ton. Hur väl någon av klassificeringarna stämmer med verkligheten vet vi dock inte.

8.4 LAI-mätningar

Mätningar med LAI-2000 kan endast göras vid diffus solinstrålning eftersom instrumentet kräver att det inte finns någon direkt solstrålning. Dessa mätningar förutsätter därför molnigt väder eller tillfällen då solen står lågt. Eftersom mätningarna kräver specifika förutsättningar kan de bli tidskrävande. När väl förutsättningarna är de rätta och instrumenteringen är på plats går dock själva mätningarna fort.

Det är svårt att jämföra LAI-värden uppmätta i Norunda med värden från andra områden, då LAI delvis beror på ett antal områdesspecifika parametrar, som till exempel trädens ålder, växtbetingelser och skogsskötsel. Det kan även vara svårt att jämföra LAI-värden från samma områden uppmätta med olika metoder och/eller vid olika tidpunkter. Skillnader i LAI för ett område kan delvis bero på att barrproduktionen varierar från år till år. Barrproduktionen, och därmed även LAI, är exempelvis lägre året efter ett torrår.

Det värde som IFR presenterar som medel-LAI inom Norunda ligger på 5,07. Detta värde kommer inte från IFRs mätningar utan från tidigare LAI-mätningar utförda i

området. Detta värde är högre än det som uppmättes i denna studie, och sannolikt även något för högt. Det LAI-värde för Norunda som togs fram genom våra fältmätningar och korrigerades med leverantörens egen korrigeringsfaktor ligger på 4,38. Detta stämmer väl överens med det barmängdsbaserade medel-LAI-värdet på 4,30.

I det trettioåriga beståndet är skillnaderna större mellan det uppmätta LAI-värde som korrigerades med LI-CORs korrektionsvärde och det som beräknades utifrån mängden barr. Det korrigerade värdet 3,34 ligger troligen närmare sanningen än det barmängdsbaserade på 4,37. Det sistnämnda värdet är troligen lite högt för en trettioårig skog, och är av samma storlek som värdena för så väl det hundra- som det sextioåriga bestånden. En anledning till det höga värdet kan vara att uppskattningen av mängden tallbarr inom området är för hög. Uppskattningen är gjord efter Marklunds funktion som beräknar barmängden för enskilda träd. Den relativt höga stamdensiteten i området (se Tabell 17) medför större skuggeffekter mellan träden, vilket i sin tur kan leda till att det blir färre barr på trädens lägre grenar. På så sätt kan barmängden för varje träd ha överskattats och därmed påverkat det resulterande LAI-värdet.

Inom Skyttorp 60 gjordes ej några mätningar med LI-COR LAI-2000. Medel-LAI inom området beräknades dock med LAI-Barmängd till 4,34. Detta värde är i samma storleksordning som för den hundraåriga skogen. Den högre andelen gran i Skyttorp 60, samt den högre stamdensiteten, kan medföra ett förhöjt LAI-värde. Granens påverkan på LAI-värdets storlek orsakas av att den jämfört med tall har en större mängd barr per mängd trädbiomassa.

De korrigeringar av LAI som gjordes med data tagen från Chen et al (1997) genomfördes för att beskriva och testa deras metod. Data för γ_E , Ω_E och $(1-\alpha)$ togs från mätningar utförda på platser i Kanada. Resultaten av dessa korrigeringar ska ej fästas någon större vikt vid, eftersom det finns svårigheter med att använda lokalspecifika parametrar på en annan plats än de är uppmätta på.

8.5 Felkällor

Det finns ett stort antal felkällor i det resultat som har presenterats. De viktigaste diskuteras här nedan. I vilken omfattning och i vilken riktning de har påverkat resultatet låter vi vara osagt.

1. För att lokalisera plottarna i fält användes en differentierad GPS. Den osäkerhet som finns inbyggd i användandet av GPS kan ha medfört att plottarnas faktiska position vid mätningen skiljer några meter från deras position i GIS-databasen.

2. Vid flygbildstolkningen digitaliserades de tolkade gränserna direkt in på ett lager i ArcView. Underlaget till digitaliseringen var en inscannad flygbild som även använts vid tolkningen. Problem uppstår när man ska hitta motsvarande platser på flygbilden och på skärmen. Flygbilden är i centralprojektion, d.v.s. tagen rakt ovanifrån bildcentrum. Detta medför att vinkeln till objekt som avbildas blir större ju längre ut från bildcentrum de är. Det blir därmed svårare att bedöma trädens höjd och att hitta beståndsgränser i bildens utkant.

3. En ytterligare felkälla är att flygbilderna kan vara något förskjutna i förhållande till resten av lagren i ArcView. Bilderna geokorrigerades efter GPS-punkter tagna på platser som var lätta att känna igen både på bilderna och i verkligheten. Dock togs endast ett fåtal punkter för varje bild och för Norunda-bilden användes istället befintliga vägdata vid geokorrigeringen.
4. Flygbildstolkningarna är ej kvalitetsutvärderade. Beståndsindelningen är osäker p g a beståndsgränserna är otydliga, bestånden små och att det rent generellt finns svårigheter att precis definiera sådana gränser.
5. Antagandet att hälften av biomassan i torr vikt är kol är bara en approximation, vilket säkert bidrar till osäkerhet i totalmängden. I brist på annan kunskap om förhållandet dem emellan har detta antagande använts.
6. Det är svårt att veta hur väl Marklunds och Johanssons funktioner stämmer för den aktuella lokalen i nordvästra Uppland, eftersom trädens tillväxt till viss del styrs av lokala betingelser. Även lokala skogsskötselåtgärder, t ex röjning och gallring, som påverkar skogens täthet är av stor vikt. Skogens täthet kan påverka trädens grenstruktur och lövmängd, och därmed kan även deras tillväxt och biomassa överskattas.

9. SLUTSATS

Den använda metoden gav i Norunda en uppskattad mängd kol bunden i trädform på 10,52 kg/m². Inom detta cirkulära område med en radie på 300 meter uppskattades kolmängden till nära tre miljoner kg.

De biomassa-funktioner som använts i studien innebär en viss osäkerhet vid uppskattningen. Detta beror på att funktionerna bygger på samband, vilka utvecklades från data insamlade i hela Sverige. De medräknar därmed inte de lokala förutsättningar som påverkar trädens växtförhållanden.

Biomassa-funktionerna ger ett mindre osäkert resultat vad gäller biomassa för stammar än för grenar, löv/barr samt rötter. Alternativa metoder för att beräkna biomassan för löv/barr kan innefatta användandet av fjärranalysmetoder.

Mätningar med LAI-2000 gjordes och korrigerades för att beräkna LAI. Korrigeringsfaktorn på 1,65 verkar ge ett bra resultat vid en jämförelse med en metod där LAI beräknas utifrån en uppskattad barrmängd. Dock gjordes i vår studie för få mätningar av LAI för att kunna ge ett säkert svar. Att uppskatta barrbiomassan från beräkningar av LAI genom att använda samma metod omvänt är dock svårare, eftersom det då krävs kunskap om ett flertal skogliga parametrar för det aktuella området.

Beståndsklassningen gjordes utifrån tolkning av flygbilder och innehåller därmed ett visst mått av subjektivitet. Tolkningen ger en förenklad bild av verkligheten, och hur tolkningen utförs skiljer sig delvis från person till person. Skillnader däri beror bland annat på olika erfarenhet av tolkning, och personliga intryck av bildens innehåll. Även olika kriterier, som vilken grad av noggrannhet som används vid tolkningen, spelar in på tolkningsresultatet.

Den använda beståndsindelningen borde ha utvärderats i fält. Den kanske även borde ha genomförts i ett tidigare skede av studien än vad som nu skedde, utan istället innan alla plottar mätts in. Om beståndsindelningen tagits fram vid en tidigare tidpunkt skulle det ha möjliggjort för en bättre fördelning och spridning av mätplottarna.

Ett för lågt antal mätplottar mättes in för att ge en representativ bild av Norundaområdet. Ett fåtal plottar fick därmed representera stora områden. De områden som vid flygbildstolkningen klassats som samma klass är inte helt homogena. Ett större antal ytmässigt mindre plottar hade inneburit att fler delar av Norunda representerats och att resultatet blivit mer rättvisande.

Den studerade metoden är tidskrävande och arbetsintensiv, men lättförståelig och utnyttjar relativt enkla medel.

10. REFERENSER

Bergh, J., Linder S, Morén A-S, Grelle A., Lindroth A. & Roberntz P. (2000) Skogens kolbalans – många faktorer inverkar, *FAKTA Skog*, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala.

CarboEurope (2000); *CarboEurope – A cluster of projects to understand and quantify the carbon balance of Europe*, CarboEurope European Office, Jena, Tyskland.

Chen, J.M. Cihlar, J. (1995); Quantifying the Effect of canopy Architecture on Optical Measurements of Leaf Area Index Using Two Gap Size Analysis Methods. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, vol 33 no 3, pp777-787.

Chen, J.M. (1996); Optically-based methods for measuring seasonal variation of leaf area index in boreal conifer stands. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol 80, pp135-163.

Chen, J.M. Rich, P.M. Gower, S.T. Norman, J.M. Plummer S (1997); Leaf area index of boreal forests: Theory, techniques, and measurements. *Journal of geophysical research*, vol 102, pp29429-29443.

Deblonde, G. Penner, M. Royer, A. (1994); Measuring leaf area index with the LICOR LAI-2000 in pine stands. *Ecology*, 75(5) pp1507-1511.

Fazakas, Z., Nilsson M., Olsson H. (1999); Regional forest biomass and wood volume estimation using satellite data and ancillary data. *Agricultural and Forest Meteorology*, 98-99 (1999) 417-425

Håkansson, M. & Steffen C. (red.) (1994); *Praktisk skogshandbok* (14:e ed), Sveriges skogsvårdsförbund, Djursholm.

IFER, (Cienciala, E. Russ, R. Blazek, P. Cerny, M.), (2001): Norunda central tower site – Field-map survey 2001. Institute of Forest Ecosystem Research Ltd., Jílové u Prahy, Tjeckien.

IPCC, (2001); *Climate change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, och C.A. Johnson (red.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Storbritannien och New York, USA

Johansson, T., (1998); Al som skogsträd – växer snabbt i rätt miljö, *FAKTA Skog*, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala.

Johansson, T., (1999); Biomass equations for determining fractions of pendula and pubescent birches growing on abandoned farmland and some practical implications, *Biomass & bioenergy*, vol 16, pp223-238.

Johansson, T. (2000); Biomass equations for determining fractions of common and grey alders growing on abandoned farmland and some practical implications, *Biomass & bioenergy*, vol 18, pp147-159.

Kucharik, C.J., Norman, J.M. & Gower S.T. (1998); Measurements of branch area and adjusting leaf area index indirect measurements. *Agricultural and Forest Meteorology*, 91 69-88

Lagergren, F. (2001); *Effects of thinning, weather and soil moisture on tree and stand transpiration in Swedish forest*. Silvestria 231, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.

Lankreijer, H. (2002); personlig kommentar.

Lundin L.-C., Halldin S., Lindroth A., Cienciala E., Grelle A., Hjelm P., Kellner E., Lundberg A., Mölder M., Morén A.-S., Nord T., Seibert J., Stähli M. (1999); Continuous long-term measurements of soil-plant-atmosphere variables at a forest site. *Agricultural and Forest Meteorology*, 98-99 (1999) 53-73

Marklund, L.G. (1988); *Biomassfunktioner för tall gran och björk i Sverige*, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogstaxering, Rapport 45

Morén A., Grelle A. & Lindroth A. (2000); Kolbalansen i svenska skogar, *FAKTA Skog*, Nr 2 2000, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala.

Ottosson, M. & Ottosson Å. (red.) (1997); *Jorden vi värmd*, Naturskyddsföreningen, Stockholm.

Smith R.L. & Smith T.M. (2000); *Elements of ecology* (4 ed.), Benjamin Cummings, San Francisco

Stenberg P., Linder S., Smolander H., Flower-Ellis J. (1994); Performance of the LAI-2000 plant canopy analyser in estimating leaf area index of some Scots pine stands. *Tree Physiology* 14 pp981-995.

Walker B. & Steffen W (red.) (1997); *IGBP Science* No. 1 – The terrestrial biosphere and global change: implications for natural and managed ecosystems, A synthesis of GCTE and related research, IGBP, Stockholm.

Walter F. (1999); Extraction of Forest Stand Parameters from CARABAS VHF SAR Images, *Silvestria* 1115, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.

Hemsidor, med datum för sista besök

www1: <http://www.miljorapporten.se/pub/miljorapporten/for.asp> 2002-04-17

www2: <http://www.spek.slu.se/forskning/norunda.htm>, 2002-03-14

www3: <http://linnaeus.nrm.se/flora/welcome.html>, 2002-03-15

www4: <http://knn.gis.umn.edu/> 2002-05-14

www5: <http://www.smsk.slu.se/fortb/riu01/Walther.pdf> 2002-05-14

www6: <http://heureka.slu.se/> 2002-05-18

www7: <http://www.treemail.nl/download/sci-00.pdf>, 2002-02-22

www8: <http://www.forsonline.org/haglof.htm>, 2001-11-19

www9: <http://env.licor.com/> 2001-11-19

APPENDIX 1

Plottbeskrivning

Vid mätningarna i plottarna noterades även markfuktighet och blockförekomst se Tabell 21. Blockförekomst klassades efter SGUs indelning av blockighet, och markfukt efter en markfuktighetsskala, båda funna i Håkansson & Steffen (1994).

Tabell 21: Blockighet och markfuktighet

Norunda		
Plott	Blockighet	Markfuktighet
A	Blockrik, storblockig i sänkor	Frisk, tendens till fuktig
B	Blockrik, storblockig	Frisk
C	Storblockig, normal- till rikblockig	Fuktig till blöt
E	Blockrik	Frisk med sänkor med fuktig
G	Normalblockigt	Frisk till fuktig
I	Storblockigt, rikblockigt	Frisk
J	Blockrikt, storblockigt	Frisk
K	Blockrikt, storblockigt	Frisk
N	Varierande mot normalblockigt	Frisk, delvis fuktig
O	Normalblockigt	Fuktig
Q	Normalblockigt	Frisk, delvis fuktig
R	Blockrikt, storblockigt	Frisk
S	Blockrikt, storblockigt	Frisk delvis fuktig
T	Normalblockigt	Frisk delvis fuktig
Skyttorp 60		
A	Blockrik	Frisk
B	Blockrik	Frisk
C	Normalblockig	Frisk
D	Blockfattig	Frisk delvis fuktig
Skyttorp 30		
A	Blockrik	Frisk delvis fuktig
B	Normalblockigt	Frisk
C	Rikblockig delvis storblockig	Frisk
D	Blockfattig	Fuktigt (två dräneringsdiken i plotten)

APPENDIX 2

Koordinater för de inmätta plottarna finns i Tabell 22. Koordinaterna motsvarar nordöstra hörnet av varje plott. A-plottarnas storlek är 30 * 30 meter (900 m²) medan övriga är 25 * 25 meter (625 m²).

Tabell 22: De inmätta plottarnas position

Skyttorp 30				
ID	Rikets nät		lat long	
	x	y	x	y
A	1612830	6669493,8	17 50 06,9	60 07 42,7
B	1612740,7	6669694,7	17 50 01,5	60 07 49,3
C	1612915	6669557,9	17 50 12,5	60 07 44,7
D	1612758,1	6669295,5	17 50 01,9	60 07 36,4
Skyttorp 60				
ID	Rikets nät		lat long	
	x	y	x	y
A	1612420,9	6665842,6	17 49 33,2	60 05 45,2
B	1612632	6665978	17 49 47,1	60 05 49,4
C	1612651,6	6666076,6	17 49 48,6	60 05 52,5
D	1612719,4	6666036,8	17 49 52,9	60 05 51,2
Norunda				
ID	Rikets nät		lat long	
	x	y	x	y
A	1593079,1	6664163,3	17 28 40,5	60 05 08,4
B	1592999,9	6664461,2	17 28 34,9	60 05 18,1
C	1593363,8	6664360,5	17 28 58,3	60 05 14,6
E	1593217,6	6664484	17 28 49,0	60 05 18,7
G	1592917,6	6664319,1	17 28 29,3	60 05 13,6
I	1593252,7	6664219,1	17 28 50,8	60 05 10,1
J	1593040,5	6664257,2	17 28 37,2	60 05 11,5
K	1593365	6664262,1	17 28 58,2	60 05 11,4
N	1593145,3	6664194,1	17 28 43,9	60 05 09,4
O	1593112,4	6664481	17 28 42,2	60 05 18,6
Q	1593350,6	6664480,3	17 28 57,6	60 05 18,4
R	1593035,6	6664154,2	17 28 36,7	60 05 08,2
S	1593079,5	6664461,8	17 28 40,0	60 05 18,1
T	1592927	6664162	17 28 29,7	60 05 08,5

APPENDIX 3

I vårt syfte med studien framgår att vi ska försöka beräkna trädbiomassan för den 28,3 ha stora cirkeln runt masten i Norunda. För att kunna jämföra vårt slutresultat med de mätningar som tidigare har genomförts av IFER så har deras data även räknats ut utan stubbe och rötter. I tabell 23 och 24 nedan vissas mängderna biomassa i torr vikt per kvadratmeter per plott.

Tabell 23: Biomassa fördelning för olika trädslag i kg/m² utan stubbe inom studiens plottar.

Plott	Gran kg/m ²	Tall kg/m ²	Lövträd kg/m ²	Totalt kg/m ²
A	13,5	10,38	-	23,88
B	6,72	13,39	3,12	23,22
C	4,40	5,25	4,67	14,29
E	3,87	16,99	0,43	21,29
G	7,64	9,13	0,23	17,00
I	9,41	13,58	-	22,99
J	6,90	17,67	1,62	26,17
K	11,33	14,53	-	25,86
N	11,22	11,9	-	23,12
O	4,42	2,52	1,16	8,10
Q	5,08	9,58	2,56	17,2
R	15,16	8,15	-	23,32
S	4,16	10,12	4,21	18,49
T	11,94	15,35	-	27,29

Tabell 24: Biomassa fördelning för olika träslag i kg/m² utan stubbe inom IFERs plottar.

Plott	Gran kg/m ²	Tall kg/m ²	Lövträd kg/m ²	Totalt kg/m ²
101	6,56	13,24	0,97	20,78
102	16,45	7,07	-	23,53
103	2,35	10,13	-	12,48
104	13,24	7,89	-	21,13
105	11,55	9,47	-	21,02
106	4,48	12,45	-	16,92
107	6,57	10,58	-	17,15
108	2,45	8,60	-	11,06
109	7,52	12,96	-	20,48
110	9,25	10,43	-	19,68
111	4,51	12,54	-	17,05
112	3,98	12,91	-	16,89
113	1,84	9,66	-	11,50
114	0,53	8,25	0,96	9,74
115	9,09	4,57	-	13,66
116	13,47	9,96	-	23,43
117	9,58	8,58	0,92	19,08
118	2,88	13,78	-	16,66
119	5,19	13,54	-	18,73
120	0,59	8,78	1,23	10,60
121	4,37	11,45	-	15,83
122	13,04	10,42	-	23,46
123	10,29	9,59	-	19,88
124	6,41	11,63	-	18,05
125	5,62	9,25	2,54	17,41
126	11,34	5,23	-	16,57
127	7,75	6,78	0,67	15,20
128	7,45	11,24	-	18,69
129	2,90	11,13	-	14,03
130	-	8,45	1,73	10,18
501	13,99	7,39	-	21,38
502	14,04	8,23	-	22,27
503	9,47	11,67	-	21,14
504	4,13	8,34	-	12,47
505	5,82	10,25	1,05	17,12
506	2,05	1,92	3,31	7,29
507	0,28	3,93	6,61	10,82
508	7,51	10,94	-	18,45
509	4,27	7,77	2,08	14,12
510	8,70	10,07	-	18,76
511	3,76	9,20	1,00	13,96
512	6,50	8,94	0,92	16,36

APPENDIX 4

Mätvärde och korrigering av LAI för de inmätta plottarna visas i Tabell 25.

Tabell 25: Korrigerade LAI-värden efter olika metoder.

Norunda						
Plott	L_e	SEL	LI-COR	LAI-Barrmängd	LAI(N)	LAI(S)
A	3,40	0,11	5,61	5,99	4,84	5,15
B	3,02	0,10	4,98	5,20	4,08	4,27
C	-	-	-	2,66	-	-
E	2,45	0,09	4,04	4,44	3,09	3,48
G	3,26	0,10	5,38	3,92	4,47	4,81
I	2,61	0,07	4,31	4,50	3,49	3,85
J	2,98	0,09	4,92	2,43	3,89	4,23
K	3,27	0,06	5,40	5,23	4,43	4,85
N	2,05	0,17	3,38	4,64	2,60	2,95
O	5,46	0,70	9,01	2,85	8,00	7,85
Q	1,78	0,10	2,94	3,92	2,43	2,45
R	2,87	0,07	4,74	5,56	4,20	4,40
S	3,78	0,16	6,24	3,92	5,15	5,09
T	2,88	0,11	4,75	5,36	3,88	4,26
Skyttorp 30						
Plott	L_e	SEL	LI-COR	LAI-Barrmängd	LAI(N)	LAI(S)
A	1,88	0,05	3,10	4,00	2,18	2,59
B	2,46	0,09	4,06	5,20	3,40	3,68
C	1,80	0,03	2,97	4,09	2,10	2,49
D	-	-	-	2,80	-	-
Skyttorp 60						
Plott	L_e	SEL	LI-COR	LAI-Barrmängd	LAI(N)	LAI(S)
A	-	-	-	4,94	-	-
B	-	-	-	1,79	-	-
C	-	-	-	3,54	-	-
D	-	-	-	4,52	-	-

L_e = Effektiv LAI - dvs det okorrigerade värdet från LAI-2000

SEL = Standard Error LAI. Standard avvikelsen inom en mätserie

LI-COR = Korrigerat värde efter LI-CORs egna korrigeringsfaktor (1,65)

LAI-Barrmängd = LAI beräknat efter barruppskattning

LAI(N) = Korrigerat med värden för γ_E, Ω_E och $(1-\alpha)$ tagna från Chen et al. (1997)

LAI(S) = Korrigerat med värden för γ_E, Ω_E och $(1-\alpha)$ tagna från Chen et al. (1997)

APPENDIX 5

För att se om det finns några skillnader mellan våra mätningar och de gjorda av IFER gjordes t-test av parvisa t-tester observationer (paired t-test). Testet gjordes för den totala biomassan per ytenhet inom samma område. Det vill säga att medelvärde för biomassa per kvadratmeter inom samma område enligt flygbildstolkningen. Medelvärden beräknades också enligt samma kriterier där biomassan var uppdelad efter trädslag. Dessa medelvärden genomgick sedan en t-test av parvisa observationer med följande hypotesprövning:

H_0 = Det finns inte någon skillnad mellan mätningarna.

H_1 = Det finns skillnad mellan mätningarna.

Tabell 26 visar de medelvärden för mängden biomassa i torrsvikt som uppmäts inom de områden som klassats vid flygbildstolkning.

Tabell 26: Biomassa i torrsvikt fördelning för olika trädslag utan stubbrot i kg/m^2 .

Område	Gran Vår	Gran IFER	Tall Vår	Tall IFER	Löv Vår	Löv IFER	Totalt Vår	Totalt IFER
1	4,29	3,06	6,32	7,92	2,68	2,79	13,29	13,77
2	6,72	4,51	13,39	9,59	3,12	-	23,23	14,10
3	4,40	1,03	5,25	5,19	4,67	2,52	14,32	8,73
4	3,87	6,45	16,99	10,06	0,43	0,24	21,29	16,75
5	6,90	4,23	17,67	12,68	1,62	-	26,19	16,91
6	9,79	11,43	12,24	9,44	0,12	0,24	22,15	21,11
7	5,08	7,62	9,58	7,07	2,56	0,56	17,22	15,24
8	13,29	9,08	10,14	9,37	-	-	23,44	18,45
9	10,37	7,89	14,06	10,67	-	0,10	24,43	18,66

Resultaten av de parvisa T-testerna följer nedan:

Totalt

	Antal	Medelvärde	Standard- avvikelse	Medelfel
Totalt – vår	9	20,62	4,58	1,53
Totalt IFER	9	15,93	3,57	1,19
Differans	9	4,69	3,41	1,14

95% konfidensintervall för medel differans: (2,06; 7,31)

T-Test av medel differans = 0 (vs inte = 0): T-Värde = 4,12 P-Värde = 0,003

$t_{0,05; 8} = 2,31$

$t = 4,12$

$4,12 > 2,31$

H_0 förkastas.

Gran

	Antal	Medelvärde	Standard- avvikelse	Medelfel
Gran – vår	9	7,19	3,28	1,09
Gran IFER	9	6,14	3,24	1,08
Differans	9	1,05	2,62	0,87

95% konfidensintervall för medel differans: (-0,964; 3,058)

T-Test av medel differans = 0 (vs inte = 0): T-Värde = 1,20 P-Värde = 0,264

$t_{0,05; 8} = 2,31$

$t = 1,20$

$1,20 < 2,31$

H_0 förkastas ej.

Tall

	Antal	Medelvärde	Standard- avvikelse	Medelfel
Tall – vår	9	11,74	4,33	1,44
Tall IFER	9	9,11	2,16	0,72
Differans	9	2,63	2,60	0,87

95% konfidensintervall för medel differans: (0,630; 4,624)

T-Test av medel differans = 0 (vs inte = 0): T-Värde = 3,03 P-Värde = 0,016

$t_{0,05; 8} = 2,31$

$t = 3,03$

$3,03 > 2,31$

H_0 förkastas.

Löv

	Antal	Medelvärde	Standard- avvikelse	Medelfel
Löv- vår	9	1,69	1,67	0,56
Löv IFER	9	0,72	1,12	0,37
Differans	9	0,97	1,25	0,42

95% konfidensintervall för medel differans: (0,008; 1,934)

T-Test av medel differans = 0 (vs inte = 0): T-Värde = 2,33 P-Värde = 0,048

$t_{0,05; 8} = 2,31$

$t = 2,33$

$2,33 > 2,31$

H_0 förkastas.

Endast biomassa gran/m² klarade hypotesprövningen vid 95 % konfidensintervall. Att biomassa löv/ m² var så nära att klara testet kan till stor del bero på att det i båda proven finns ett antal (två resp. tre av nio) områden där inga lövträd har mätts in se Tabell 25.

Det man kan tolka ur testerna är att mätningarna av mängderna av tall och löv biomassa samt totalmängderna biomassa i torrsvikt per kvadratmeter inte kan sägas komma från samma population. Det finns alltså skillnader mellan mätningarna. Vad dessa kan bero på är svårt att säga dock så har mätteknikerna stora skillnader

Lunds Universitets Naturgeografiska Institution Seminarieuppsatser. Uppsatserna finns tillgängliga på Naturgeografiska Institutionens bibliotek, Sölvegatan 13, 223 62 Lund.

The reports are available at the Geo-Library, Department of Physical Geography, University of Lund, Sölvegatan 13, S-223 62 Lund, Sweden.

- 1 **Pilesjö, P.** (1985): Metoder för morfometrisk analys av kustområden.
- 2 **Ahlström, K. & Bergman, A.** (1986): Kartering av erosionskänsliga områden i Ringsjöbygden.
- 3 **Huseid, A.** (1986): Stormfällning och dess orsakssamband, Söderåsen, Skåne.
- 4 **Sandstedt, P. & Wällstedt, B.** (1986): Krankesjön under ytan - en naturgeografisk beskrivning.
- 5 **Johansson, K.** (1986): En lokalklimatisk temperaturstudie på Kungsmarken, öster om Lund.
- 6 **Estgren, C.** (1987): Isälvsstråket Djurfälla-Flädermo, norr om Motala.
- 7 **Lindgren, E. & Runnström, M.** (1987): En objektiv metod för att bestämma läplanteringsläverkan.
- 8 **Hansson, R.** (1987): Studie av frekvensstyrd filtringsmetod för att segmentera satellitbilder, med försök på Landsat TM-data över ett skogsområde i S. Norrland.
- 9 **Matthiesen, N. & Snäll, M.** (1988): Temperatur och himmelsexponering i gator: Resultat av mätningar i Malmö.
- 10a **Nilsson, S.** (1988): Veberöd. En beskrivning av samhällets och bygdens utbyggnad och utveckling från början av 1800-talet till vår tid.
- 10b **Nilsson, G.**, (1988): Isförhållande i södra Öresund.
- 11 **Tunving, E.** (1989): Översvämning i Murcia provinsen, sydöstra Spanien, november 1987.
- 12 **Glave, S.** (1989): Termiska studier i Malmö med värmebilder och konventionell mätutrustning.
- 13 **Mjölbo, Y.** (1989): Landskapsförändringen - hur skall den övervakas?
- 14 **Finnander, M-L.** (1989): Vädrets betydelse för snöavsmältningen i Tarfaladalen.
- 15 **Ardö, J.** (1989): Samband mellan Landsat TM-data och skogliga beståndsdata på avdelningsnivå.
- 16 **Mikaelsson, E.** (1989): Byskeälvens dalgång inom Västerbottens län. Geomorfologisk karta, beskrivning och naturvärdesbedömning.
- 17 **Nilén, C.** (1990): Bilavgaser i gatumiljö och deras beroende av vädret. Litteraturstudier och mätning med DOAS vid motortrafikled i Umeå.
- 18 **Brasjö, C.** (1990): Geometrisk korrektion av NOAA AVHRR-data.
- 19 **Erlandsson, R.** (1991): Vägbanetemperaturer i Lund.
- 20 **Arheimer, B.** (1991): Näringsläckage från åkermark inom Brååns dräneringsområde. Lokalisering och åtgärdsförslag.
- 21 **Andersson, G.** (1991): En studie av transversalmoräner i västra Småland.
- 22a **Skillius, Å.**, (1991): Water harvesting in Bakul, Senegal.
- 22b **Persson, P.** (1991): Satellitdata för övervakning av höstsådda rapsfält i Skåne.
- 23 **Michelson, D.** (1991): Land Use Mapping of the That Luang Salakham Wetland, Lao PDR, Using Landsat TM-Data.

- 24 **Malmberg, U.** (1991): En jämförelse mellan SPOT- och Landsatdata för vegetationsklassning i Småland.
- 25 **Mossberg, M. & Pettersson, G.** (1991): A Study of Infiltration Capacity in a Semiarid Environment, Mberengwa District, Zimbabwe.
- 26 **Theander, T.** (1992): Avfallsupplag i Malmöhus län. Dränering och miljöpåverkan.
- 27 **Osaengius, S.** (1992): Stranderosion vid Löderups strandbad.
- 28 **Olsson, K.** (1992): Sea Ice Dynamics in Time and Space. Based on upward looking sonar, satellite images and a time series of digital ice charts.
- 29 **Larsson, K.** (1993): Gully Erosion from Road Drainage in the Kenyan Highlands. A Study of Aerial Photo Interpreted Factors.
- 30 **Richardson, C.** (1993): Nischbildningsprocesser en fältstudie vid Passglaciären, Kebnekaise.
- 31 **Martinsson, L.** (1994): Detection of Forest Change in Sumava Mountains, Czech Republic Using Remotely Sensed Data.
- 32 **Klintenberg, P.** (1995): The Vegetation Distribution in the Kärkevagge Valley.
- 33 **Hese, S.** (1995): Forest Damage Assessment in the Black Triangle area using Landsat TM, MSS and Forest Inventory data.
- 34 **Josefsson, T. och Mårtensson, I.** (1995). A vegetation map and a Digital Elevation Model over the Kapp Linné area, Svalbard -with analyses of the vertical and horizontal distribution of the vegetation
- 35 **Brogaard, S och Falkenström, H.** (1995). Assessing salinization, sand encroachment and expanding urban areas in the Nile Valley using Landsat MSS data.
- 36 **Krantz, M.** (1996): GIS som hjälpmedel vid växtskyddsrådgivning.
- 37 **Lindgård, P.** (1996). VINTERKLIMAT OCH VÅRBAKSLAG. Lufttemperatur och kådflödessjuka hos gran i södra Sverige.
- 38 **Bremborg, P.** (1996). Desertification mapping of Horqin Sandy Land, Inner Mongolia, by means of remote sensing.
- 39 **Hellberg, J.** (1996). Förändringsstudie av jordbrukslandskapet på Söderslätt 1938-1985.
- 40 **Achberger, C.** (1996): Quality and representability of mobile measurements for local climatological research.
- 41 **Olsson, M.** (1996): Extrema lufttryck i Europa och Skandinavien 1881-1995
- 42 **Sundberg, D.** (1997): En GIS-tillämpad studie av vattenerosion i sydsvensk jordbruksmark.
- 43 **Liljeberg, M.** (1997): Klassning och statistisk separabilitetsanalys av marktäckningsklasser i Halland, analys av multivariata data Landsat TM och ERS-1 SAR.
- 44 **Roos, E.** (1997): Temperature Variations and Landscape Heterogeneity in two Swedish Agricultural Areas. An application of mobile measurements.
- 45 **Arvidsson, P.** (1997): Regional fördelning av skogsskador i förhållande till mängd SO₂ under vegetationsperioden i norra Tjeckien.
- 46 **Akselsson, C.** (1997): Kritisk belastning av aciditet för skogsmark i norra Tjeckien.
- 47 **Carlsson, G.** (1997): Turbulens och supraglacial meandering.
- 48 **Jönsson, Camilla.** (1998): Multitemporala vegetationsstudier i nordöstra Kenya med AVHRR NDVI. [(1998): Multitemporala vegetationsstudier i nordöstra Kenya med AVHRR NDVI.
- 49 **Kolmert, Susanne.** (1998): Evaluation of a conceptual, semi-distributetd hydrological model : a case study of Hörbyån.

- 50 **Persson, Andreas.** (1998): Kartering av markanvändning med meteorologisk satellitdata för förbättring av en atmosfärisk spridningsmodell.
- 51 **Andersson, Ulrika och Nilsson, Daniel.** (1998): Distributed hydrological modelling in a GIS perspective : an evaluation of the MIKE SHE model.
- 52 **Andersson, Kristin och Carlstedt, Jenny.** (1998): Different GIS and remote sensing techniques for detection of changes in vegetation cover : a MFS study in Nam Ngum and Nam link catchment areas in the Lao PDR.
- 53 **Andersson, Jenny** (1999): Användning av globala satellitdata för uppskattning av spannmålsproduktion i västafrikanska Sahel.
- 54 **Flodmark, Anders Erik** (1999): Urban geographic information systems : the city of Berkely Pilot GIS.
- 55A **Lyborg, Jessica & Thurfjell, Lilian.** (1999): Forest damage, water flow and digital elevation models : a case study of the Krkonose National Park, Czech Republic.
- 55B **Tagesson, Isabel och Wramneby, Anna.** (1999): Kväveläckage inom Tolångaåns dräneringsområde : modellering och åtgärdssimulering.
- 56 **Almkvist, Esben** (1999): Högrekventa tryckvariationer under de senaste århundradena.
- 57 **Alstorp, P. & Johansson, T.** (1999): Översiktlig buller- och luftföroreningsinventering i Burlövs kommun år 1994 med hjälp av geografiska informationssystem : möjligheter och begränsningar.
- 58 **Mattsson, Fredrik** (1999): Analys av molnklotter inom det termala infraröda våglängdsområdet med IRST-data.
- 59 **Hallgren, Lisa och Johansson, Anna** (1999): Analysing land cover changes in the Caprivi Strip, Namibia, using Landsat TM and Spot XS imagery.
- 60 **Granhäll, Thomas** (1999): Aerosolers dygnsvariationer och långväga transporter.
- 61 **Kjellander, Carin** (1999): Variations in the energy budget above growing wheat and barley, Ilstorp 1998: a gradient-profile approach.
- 62 **Moskvitina, Marianna** (1999): GIS as a tool for environmental impact assessment : a case study of EIA implementation for the road building project in Strömstad, Sweden.
- 63 **Eriksson, Helena** (1999): Undersökning av sambandet mellan strålningstemperatur och NDVI i Sahel.
- 64 **Elmqvist, Bodil & Lundström, Josefine** (2000): The utility of NOAA AVHRR data for vegetation studies in semi-arid regions : a minor field study in the Hoanib Catchment of Namibia.
- 65 **Wickberg, Jimmy** (2000): GIS och statistik vid dräneringsområdesvis kväveläckagebeskrivning i Halland.
- 66 **Johansson, Margareta** (2000): Climate conditions required for re-glaciation of cirques in Rassepautasjtjåkka massif, northern Sweden.
- 67 **Asserup, Per & Eklöf, Martin** (2000): Estimation of the soil moisture distribution in the Tamne River Basin, Upper East Region, Ghana.
- 68 **Thern, Jonas** (2000): Markvattenhalt och temperatur i sandig jordbruksmark vid Ilstorp, centrala Skåne : en mättnings- och modelleringsstudie.
- 69 **Andersson, Claes & Lagerström, Malin** (2000): Nitrogen leakage from different types : a comparison between the watersheds of Graisupis and Vardas, Lithuania.
- 70 **Svensson, Magnus** (2000): Miljökonsekvensbeskrivning med stöd av geografiska informationssystem (GIS) : bullerstudie kring Malmö-Sturup flygplats.
- 71 **Hyltén, Annika H & Ugglå, Eva** (2000): Rule-based land cover classification and erosion risk assessment of the Krkonose National Park.

- 72 **Cronquist, Lova & Elg, Sofia** (2000): The usefulness of coarse resolution satellite sensor data for identification of biomes in Kenya.
- 73 **Rasmusson, Anna-Karin** (2000): En studie av landskapsindex för kvantifiering av rumsliga landskapsmönster.
- 74 **Olofsson, Pontus & Stenström, Richard** (2000): Estimation of leaf area index in southern Sweden with optimal modelling and Landsat 7 ETM+Scene.
- 75 **Uggla, Henrik** (2000): En analys av nattliga koldioxidflöden i en boreal barrskog anseende spatial och temporal variation.
- 76 **Andersson, Elisabet & Andersson, Sofi** (2000): Modellerade och uppmätta kväveflöden i energiskog som bevattnas med avloppsvatten.
- 77 **Dawidson, Elisabeth & Nilsson, Cecilia** (2000): Soil organic carbon in Upper East Region, Ghana : measurements and modelling.
- 78 **Bengtsson, Marianne** (2000): Vattensänkningar : en analys av orsaker och effekter.
- 79 **Ullman, Mattias** (2000): El Niño southern oscillation och dess atmosfäriska fjärrpåverkan.
- 80 **Andersson, Agneta** (2000): The wind climate of northwestern Europe in SWECLIM regional climate scenarios.
- 81 **Lalloo, David** (2000): Undersökning av djupvariation i BO01-området, Västra hamnen, Malmö, samt utveckling av en matematisk formel för beräkning av PAH-koncentrationer från ett kontinuerligt utsläpp.
- 82 **Almqvist, Jonas & Fergéus, Jenny** (2001): GIS-implementation in Sri Lanka. Part 1: GIS-applications in Hambantota district Sri Lanka : a case study. Part 2: GIS in socio-economic planning : a case study.
- 83 **Berntsson, Anna** (2001): Modellering av reflektans från ett sockerbetsbestånd med hjälp av en strålningsmodell.
- 84 **Umegård, Jessica** (2001): Arctic aerosol and long-range transport.
- 85 **Rosenberg, Robert** (2002): Tetratermmodellering och regressionsanalyser mellan topografi, tetraterm och tillväxt hos sitkagran och lärk : en studie i norra Island.
- 86 **Håkansson, Johan & Körling Axel** (2002): Uppskattning av mängden kol i trädform. – en metodstudie
- 87 **Arvidsson, Håkan** (2002): Coastal parallel sediment transport on the SE Australian inner shelf : a study of barrier morphodynamics.
- 88 **Bemark, Maria** (2002): Köphultssjöns tillstånd och omgivningens påverkan